
CONVENTION CADRE « GISER »

GESTION INTEGREE SOL EROSION RUISSELLEMENT

RAPPORT FINAL DE LA PREMIÈRE ANNÉE
(VERSION PROVISOIRE)

MARS 2012

Pr C. Bielders¹, Dr A. Degré²,
Ir P. Demarcin^{1,2}, Ir A. Dewez^{1,2}, Ir A. Maignard¹, Ir N. Pineux²

¹Université catholique de Louvain (UCL)
Earth & Life Institute

Croix du Sud 2, L7.05.02
B-1348 Louvain-la-Neuve

010/47 37 83
charles.biielders@uclouvain.be
alexandre.maignard@uclouvain.be

²Université de Liège - Gembloux Agro-Bio
Tech (ULg-GxABT)
Hydrologie et Hydraulique agricole
Génie rural et environnemental

Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux

081/62 21 87
aurore.degre@ulg.ac.be
nathalie.pineux@ulg.ac.be

pierre.demarcin.ext@spw.wallonie.be
arnaud.dewez@giser.be



Table des matières

Volet expertise.....	1
1 Calendrier des réunions	2
2 Méthodologie d'action.....	3
2.1 Auprès des communes	3
2.2 Auprès des agriculteurs.....	5
3 État d'avancement.....	5
Volet recherche.....	7
1 Bassin versant pilote.....	8
2 Instrumentation du bassin versant pilote.....	12
2.1 Bilan financier.....	16
3 Acquisition du MNS initial	17
4 Réponse à la directive inondation pour le ruissellement.....	20
4.1 Méthode française, solution 1 (Ifsttar)	20
4.1.1 Contexte et objectifs	20
4.1.2 Echelle d'analyse.....	20
4.1.3 Détails de la méthode.....	20
4.1.4 Test de la méthode	22
4.2 Méthode française, solution 2 (Cemagref)	23
4.2.1 Contexte et objectifs	23
4.2.2 Echelle d'analyse.....	23
4.2.3 Détails de la méthode.....	23
4.3 Méthode française, solution 3 (DPPR)	26
4.3.1 Contexte et objectifs	26
4.3.2 Echelle d'analyse.....	26
4.3.3 Détails de la méthode.....	27
4.4 Royaume-Uni (Environment Agency, (JBA Consulting)	29
4.4.1 Contexte et objectifs	29
4.4.2 Echelle d'analyse.....	29
4.4.3 Détails de la méthode.....	29

4.5	Méthode italienne, solution 1	30
4.5.1	Contexte et objectifs	30
4.5.2	Echelle d'analyse.....	30
4.5.3	Détails de la méthode.....	30
4.5.4	Test de la méthode	31
4.6	Méthode Italienne, solution 2	33
4.6.1	Contexte et objectifs	33
4.6.2	Echelle d'analyse.....	33
4.6.3	Détails de la méthode.....	33
4.7	Récapitulatif bibliographique	35
4.7.1	Test du classement des micro-bassins versants en fonction du débit de pointe	36
4.7.2	Test du classement des micro-bassins versants en fonction du débit de pointe : option sécuritaire	36
4.8	Méthodologie retenue pour la directive inondation	38
4.8.1	Choix de 3 périodes de retour pour les précipitations.....	38
4.8.2	Choix de la durée de pluie	38
4.8.3	L'effet hydrologique de la couverture du sol.....	39
4.8.4	Matrice de l'aléa de ruissellement	39
4.8.5	Classification des débits de pointe par pixel	40
4.8.6	Représentation cartographique.....	41
4.8.7	Résultats du test sur la Mehaigne	41
5	Intégration du facteur « cultural » (facteur C) de l'équation USLE au calcul de l'érosion potentielle	43
5.1	Rappel des acquis de la convention GISER 2009-2011.....	43
5.1.1	Calcul de l'érosion potentielle	43
5.1.2	Facteur C.....	43
5.2	Détermination des rotations culturales 2007-2009 sur les parcelles agricoles en Région wallonne	45
5.3	Détermination du facteur C des rotations 2007-2009 des parcelles agricoles en Région wallonne	48
5.4	Détermination de l'érosion « réelle » des parcelles agricoles en Région wallonne	51
5.5	Conclusions.....	53

6	Identification des seuils d'incision	54
6.1	Rappel des acquis de la convention GISER 2009-2011.....	54
6.1.1	Constitution d'une base de données « Orthophotoplans ».....	54
6.1.2	Présentation de la base de données « Orthophotoplans ».....	57
6.2	Traitement de la base de données.....	57
6.2.1	Différences entre régions agricoles.....	57
6.3	Evaluation de la récurrence des ravines	64
6.4	Définition du seuil d'incision	68
6.4.1	Seuils d'incision topographique	68
6.4.2	Intégration de facteurs environnementaux au seuil d'incision	74
6.4.3	Intégration du facteur pluie au seuil d'incision.....	77
6.5	Perspectives	79
6.5.1	Intégration du facteur pluie au seuil d'incision.....	79
6.5.2	Détection automatisée des ravines sur base d'orthophotoplans.....	79
7	Efficacité de rétention en sédiment des bandes enherbées.....	80
7.1	Rappel des acquis de la convention GISER 2009-2011.....	80
7.2	Approche générale	82
7.3	Variables et gammes de valeurs à tester	85
7.3.1	Hyétogramme de pluie	85
7.3.2	Hydrogramme de ruissellement.....	85
7.4	Automatisation de la procédure pour la création des fichiers d'entrée et les runs du modèle VFSMOD	91
7.5	Création de métamodèles.....	93
7.6	Perspectives	102
8	Propositions de taux d'érosion maximum souhaitables pour les sols de wallonie sur base de la carte numérique des sols	103
	Volet communication.....	106
1	Journées d'étude, colloques.....	107
2	Conférences d'information.....	108
3	Actions dans la presse	109
4	Partenariats	110
5	Site web	110

Bibliographie.....	112
Annexes.....	114
Annexe 1 : Valeurs moyennes annuelles du facteur C toutes régions confondues et pour la Région Limoneuse ainsi que les valeurs de la littérature (Gabriels et al., 2003 et Verstraeten et al., 2001) pour les monocultures (gisser 2009-2011).	115
Annexe 2 : Valeurs moyennes annuelles du facteur C toutes régions confondues et pour la Région Limoneuse ainsi que les valeurs de la littérature (Gabriels et al., 2003 et Verstraeten et al., 2001) pour les rotations à 2 cultures (GISER 2009-2011).	116
Annexe 3 : Valeurs moyennes annuelles du facteur C toutes régions confondues et pour la Région Limoneuse ainsi que les valeurs de la littérature (Gabriels et al., 2003 et Verstraeten et al., 2001) pour les rotations à 3 cultures (GISER 2009-2011).	117
Annexe 4 : Curve Number pour les cultures (Chow, 1964).....	118
Annexe 5 : Curve Number les terres agricoles autres que cultures (Chow, 1964).....	119
Annexe 6 : Curve Number pour les zones urbaines (Chow,1964).....	120

VOLET EXPERTISE

1 CALENDRIER DES RÉUNIONS

La cellule GISER a participé depuis septembre 2011 aux réunions suivantes :

6 septembre 2011	Jodoigne	Séance d'informations avec les agriculteurs
22 septembre 2011 (20h)	Orp-Jauche	Réunion d'une partie de la commission agricole communale
11 octobre 2011	Wavre	Séance d'informations organisée par le CR Dyle-Gette
09 novembre 2011	Gembloux	Conférence PAC 2014
13 décembre 2011 (am)	Orp-Le-Grand	Réunion présentant les aménagements GISER dans le cadre du remembrement d'Orp-Jauche
14 décembre 2011	Jodoigne	GAL culturalité réunion concernant l'appel à projet relatif au « Renforcement du maillage écologique intercommunal et lutte contre l'érosion" sur le canton de Jodoigne »
	Wavre	Gouverneur du BW « Table Ronde inondation »
15 décembre 2011	Pont-à-Celles	Journée érosion avec les conseillers MAE
15 décembre 2011 (20h)	Pont-à-Celles	Séance d'information érosion à destination des agriculteurs de la commune
21 décembre 2011 (am)	Jambes	Réunion de collaboration projet PROSENSOLS.
12 janvier 2012 (20 h)	Wavre (AWE)	conférence du CPAR « Parcelles en pente (R10-R15) : obligations, recours et réduction du risque érosif »
10 février 2012 (am)	Céroux-Mousty	Réunion agricole de la commune d'Ottignies – Louvain-La-Neuve
16 février 2012 (am)	Jodoigne	Journée annuelle de l'UAW du BW « Erosion, coulées de boues... Du lynchage médiatique et systématique des agriculteurs aux responsabilités partagées »
16 février 2012 (pm)	Clabecq	Contrat de rivière Senne : groupe de travail érosion
20 février 2012 (10 h)	Jambes	Réunion avec la direction de l'archéologie
31 janvier 2012	Jehay	Journée d'étude et visites d'aménagements sur le thème « Lutte contre l'érosion et les coulées de boues : quelles solutions pratiques en grandes cultures ? »
01 mars 2012 (20h)	Walcourt	Séance d'information érosion à destination des agriculteurs de la commune

06 mars 2012 (19h)	Nivelles	AG de la FIWAP « Maîtriser l'érosion et le ruissellement : un défi pour l'avenir de la pomme de terre en Wallonie ! »
07 mars 2012 (pm)	Jodoigne	Réunion de sélections des projets relatifs au « Renforcement du maillage écologique intercommunal et lutte contre l'érosion" sur le canton de Jodoigne »

Les dates liées à la démarche avec les communes sont reprises dans le chapitre 3 (état d'avancement)

2 MÉTHODOLOGIE D'ACTION

2.1 AUPRÈS DES COMMUNES

Suite au dernier comité d'accompagnement et sur base de l'expérience acquise, un schéma de travail avec les communes a été défini. Ce dernier est représenté à la Figure 1.

Le plan de travail présenté indique clairement la marche à suivre :

- 1^e) Demande de la commune ;
- 2^e) Réunion à la commune suivie d'une visite de terrain (GISER) ;
- 3^e) Remise du rapport GISER 1 (R1) reprenant le diagnostic et des recommandations générales ;
- 4^e) Lancement de la concertation agricole par la commune. GISER est présent lors des réunions. Les agriculteurs détiennent souvent des éléments extérieurs qui n'ont peut-être pas été mis en évidence par GISER (surface de toit de 100 m² allant vers le champ, eaux de ruissellement provenant de la route, ...) ;
- 5^e) Remise du rapport GISER 2 (R2) : recommandations détaillées pour chacun des SIGISER (sites d'intérêt GISER) ;
- 6^e) Propositions de solutions aux agriculteurs : présentation aux agriculteurs des recommandations. Cette présentation peut se réaliser de deux façons :
 - en soirée et en groupe : GISER est présente à chacune des réunions ;
 - en journée et de manière individuelle : GISER accompagne pendant une journée (« briefing ») la personne en charge de la thématique au sein de la commune (souvent l'éco-conseiller).

7e) Sélection des actions avec les agriculteurs : la commune et les agriculteurs discutent des aménagements prioritaires à mettre en place en domaine public communal et en domaine privé (terre agricole) ;

8e) accompagnement de GISER lors de la mise en œuvre de certains SIGISER ;

9^e et 10^e) initiative plan PLUIES et étude agro-hydrologique : si la commune souhaite obtenir un subside dans le cadre de l'AGW du 18 janvier 2007 pour la réalisation d'un ouvrage plus conséquent sur un bassin versant où les solutions de type agronomique ne seront pas suffisantes, la cellule peut réaliser une étude agro-hydrologique complète et appuyer la commune dans la rédaction du cahier des charges des travaux. Ces deux dernières étapes sont donc facultatives.

En complément à cette démarche générale, GISER propose :

- des formations d'une journée à la personne en charge de la thématique au sein de l'administration communale ;
- des explications du (des) rapport(s) ;
- une aide administrative (convention type, cahier des charges, ...).

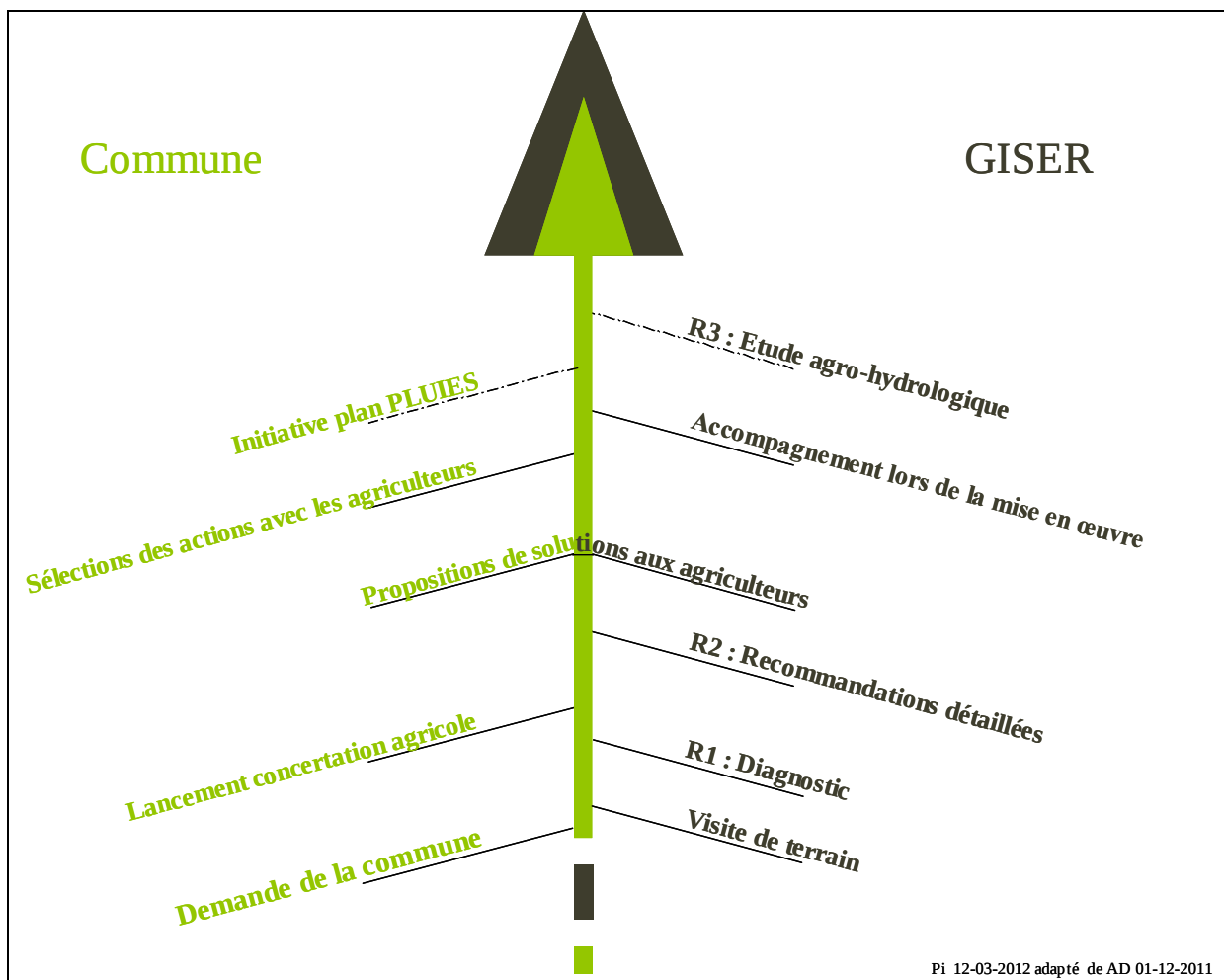


FIGURE 1 : PLAN DE TRAVAIL AUPRÈS DES COMMUNES

2.2 AUPRÈS DES AGRICULTEURS

En parallèle à la démarche centrale, l'appui aux communes, GISER souhaite entreprendre une démarche de fermes pilotes en matière de lutte contre l'érosion. Cette dernière permettra de toucher plus facilement le public agricole et de favoriser la transmission des techniques d'agriculteur à agriculteur.

Actuellement, cette démarche est entreprise avec M. E. Pussemier (Bois-Seigneur-Isaac).

3 ÉTAT D'AVANCEMENT

L'état d'avancement général depuis le 1^{er} septembre 2011 est repris dans le Tableau 1. Dans les communes où il y a présence de nombreux SIGISER (site d'intérêt GISER), nous souhaitons agir de manière prioritaire sur 5 à 7 SIGISER.

Les communes d'Orp-Jauche et de Jodoigne sont les deux communes où le processus est le plus avancé. Dans la première, la cellule a co-rédigé une convention « fascine », permettant de définir les obligations de la commune et de l'exploitant, et un cahier spécial des charges de réalisation de fascines. Ces textes seront maintenant utilisés dans différentes communes suite à l'accord réalisé avec la commune d'Orp-Jauche.

La commune de Lens a réalisé une concertation pour un des SIGISER sans passer par un deuxième rapport, car le cas se prêtait facilement à la discussion (2 agriculteurs cultivant 80 % du versant).

La commune d'Ottignies – Louvain-La-Neuve a fait appel à un bureau d'étude pour solutionner trois cas d'inondation par ruissellement, sans connaître l'existence de GISER. Par la suite, la commune a fait appel à nous et nous a demandé de travailler dans la zone agricole. GISER ne se mêlera pas des propositions faites (ZIT, ...) par le bureau d'étude et ne s'occupera que de la concertation autour des aménagements GISER.

La commune de Walcourt a souhaité se défaire de la démarche GISER et va résoudre les problèmes via l'INASEP. Nous avons informé la commune que nous ne nous occuperons pas de la concertation des aménagements proposés par l'INASEP.

Suite à un rapport antérieur à septembre 2011, la commune de Braine-Le-Château a repris récemment contact avec nous pour effectuer la concertation relative aux aménagements proposés à l'époque par la cellule.

TABLEAU 1 : ÉTAT D'AVANCEMENT DU PROCESSUS DE TRAVAIL AU SEIN DES COMMUNES

Commune	Réunion à la commune	Visite de terrain	R1	Lancement concertation	Nombre de SIGISER prioritaires	Nombre total de SIGISER	R2	Explication(s) rapport(s)	Concertation		Choix des aménagements	R3
									Nombre SIGISER	date		
Beauvechain	23/01/2012	23/01/2012 ...			8	15						
Braine-Le-Comte	23/11/2011	6/01/2012	20/01/2012		4	?						
Brugelette	19/10/2011	19/10/2011 20/10/2011	25/11/2011		9	9	25/11/2011					
Chiny	31/01/2012	31/01/2012	8/03/2012		3	3						
Court-Saint-Etienne	21/02/2012	21/02/2012 ...			7	12						
Hélocine	10/01/2012	10/01/2012 18/01/2012	9/02/2012	14/03/2012	6	10						
Jodoigne	30/08/2011	22/11/2011 07/12/2012 13/12/2012 14/12/2012	4/01/2012	antérieurement à GISER	7	21	4/01/2012	1/02/2012	4	13/03/2012 21/03/2012		
Lens	20/10/2011	20/10/2011	9/12/2011	20/10/2011	2	2			1	24/02/2012		
Orp-Jauche	30/08/2011	19/08/2011 23/08/2011	30/09/2011	26/10/2011 03/11/2011	4	22	30/09/2011		5	28/02/2013 29/02/2012 02/03/2012 07/03/2012		
Ottignies - Louvain-La-Neuve	6/03/2012	6/03/2012 ...			4	7						
Pont-à-Celles	11/10/2011	11/10/2011 20/10/2011	28/10/2011	15/12/2011	6	6	28/10/2011	6/01/2012				
Rebecq	29/09/2011	7/10/2011	14/10/2011		4	4	14/10/2011	24/10/2011				
Saint-Hubert	10/04/2012				1	1						
Thuin	16/01/2012	16/01/2012	20/02/2012		2	2						
Visé	2/04/2012				?	?						

VOLET RECHERCHE

1 BASSIN VERSANT PILOTE

Les critères de sélection des bassins versants ont été les suivants. Le bassin versant expérimental doit :

1. être situé entre Gembloux et Louvain-la-Neuve (dans un rayon de 20 km)
2. être situé en zone agricole (90% au moins)
3. pouvoir être parcouru raisonnablement en une journée (100-250 ha)
4. être représentatif de la région en termes de sol donc à sols limoneux
5. comprendre le moins possible de forêts
6. comprendre le moins possible de territoires artificialisés
7. présenter la plus forte pente possible (percentile 75).

Ces critères ont été appliqués à la carte des micro-bassins versants réalisées dans le WP2 ULg-GxABT du précédent projet GISER.

Treize bassins versants correspondant aux critères ont ainsi été identifiés (Figure 2).

Des visites de terrain ont été réalisées sur les 13 bassins versants afin d'observer certains points notamment la facilité d'accès, la fréquentation et les possibilités de cacher les appareils de mesure (afin de se prémunir d'un éventuel vandalisme), les possibles reprises de ruissellement par la route (qui obligeraient de redessiner le bassin et les axes de ruissellement) et leur comportement suite aux fortes pluies du 28 juin 2011.

Sur base de cette prospection et des critères cartographiques, 3 bassins ont été visités par l'équipe et un choix a finalement été opéré.

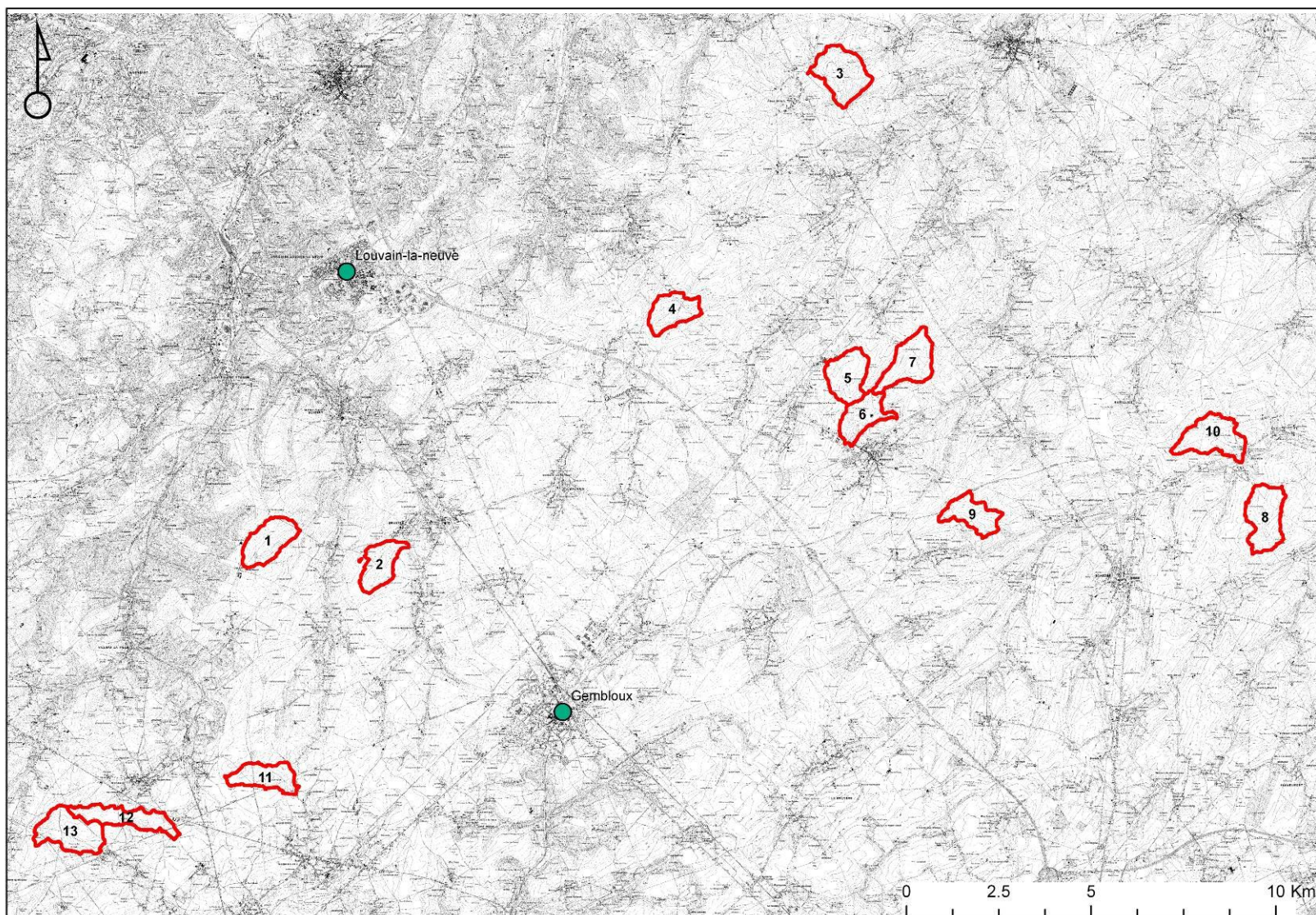


FIGURE 2. LES 13 BASSINS VERSANTS SÉLECTIONNÉS

Le bassin versant d'Héவில்lers (Chastre) a finalement été choisi comme bassin pilote pour différents aspects :

- zone calme, possibilité de cacher le matériel
- facilité d'accès à l'exutoire pour la pose des appareils et la prise des mesures
- pas de reprise de ruissellement par la route
- un historique de l'UCL existe sur ce bassin versant
- le bassin versant qui le jouxte pourra servir de référence au moment où les aménagements antiérosifs seront apposés dans le bassin pilote (Figure 3)
- son faible nombre de propriétaire qui s'avère être un groupement (domaine du Chenais)
- sa proportion élevée de terres arables et de sols limoneux
- sa faible proportion de territoires artificialisés et de forêts.

Les caractéristiques chiffrées de ce bassin versant sont présentées au Tableau 2.

TABLEAU 2. CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN VERSANT PILOTE

sols limoneux (%)	98
forêts et milieux semi-naturels (%)	0.11
territoires artificialisés (%)	0.25
pente (P75) (%)	4.15
terres arables (%)	98
superficie du micro-BV (en ha)	124
nombre de propriétaires	6
K	50.96
temps de route de Gembloux (min)	15
temps de route de l'UCL (min)	15
temps de concentration (heures)	1.26
débit de pointe (m ³ /s)	4.72
volume ruisselé (m ³)	11448
rendement en sédiments (tonnes)	12

L'estimation du temps de concentration, du débit, du volume ruisselé et du rendement en sédiments a été réalisée par le module SCS-Giser du WP4 ULg-GxABT sur base d'une pluie de 24h, avec période de retour de 100 ans, et des conditions antérieures d'humidité moyenne.

Ces estimations théoriques peuvent être complétées par les données historiques que possède l'UCL sur ce bassin versant.



FIGURE 3. BASSIN VERSANT PILOTE ET SON VOISIN

2 INSTRUMENTATION DU BASSIN VERSANT PILOTE

L'exutoire du bassin pilote n'est pas directement exploitable car une partie de l'eau est déviée et ne se retrouve pas à l'endroit de l'exutoire identifié mais passe au dessus de la route (cours d'eau de catégorie 3 dont le nettoyage des exutoires encrassés par la commune ne s'effectue qu'une fois tous les 3 ans).

Pour pallier ce problème, quatre points exutoires seront instrumentés sur le site pilote choisi (Figure 4). Par ailleurs des contacts avec la commune ont permis d'avancer à 2012 l'entretien des pertuis.

Le point 1 permettra d'effectuer des mesures à l'échelle parcellaire tandis que le point 4 permettra de récolter ce qui s'écoule des 2 bassins. Par différence avec le point 2, il sera possible d'obtenir les données pour le bassin voisin uniquement.

Le point 3 sera instrumenté en 2013 car les exploitants vont déplacer le fossé afin qu'il corresponde davantage à l'axe de concentration naturel c'est-à-dire ce qu'il se passe réellement sur le terrain (voir sur la Figure 4 3 3 le décalage de l'axe par rapport au fossé).

Les différents appareils identifiés pour répondre à l'objectif de validation et d'amélioration des modèles de quantification du ruissellement, des pertes en sol et des rendements en sédiments, sont présentés dans le

Tableau 3.

Pour la mesure de débit, équiper tous les exutoires par des canaux jaugeurs avec sonde de pression (solution de départ envisagée) n'est pas possible car les simulations des débits de pointe attendus aux différents points sont supérieures aux débits que peuvent mesurer ces canaux.

La solution technique retenue combine donc des mesures de hauteur d'eau par capteur de pression (qui nécessitent une courbe de tarage) ainsi que des débitmètres de type Doppler de fond qui mesurent à la fois la vitesse de l'eau et sa hauteur.

Les débitmètres placés en année 1 permettront d'établir des courbes de tarage. Ce débitmètre Sigma 950-AV calcule le débit à partir de la mesure de la hauteur d'eau et de la vitesse (celle-ci est effectuée par effet Doppler). Une fois la relation hauteur vitesse établie de manière robuste, nous envisagerons, l'année suivante, une mesure de niveau d'eau sera suffisante pour en déduire le débit.

Ceci nous permettra a posteriori d'utiliser ce débitmètre au point 3 et pour effectuer des mesures sur l'exutoire d'un autre bassin versant identifié comme intéressant lors de la campagne de prospection des sites (1. Bassin versant pilote).

Notons que si la firme OTT a été choisie à plusieurs reprises, c'est sur base de retours d'expérience positifs du réseau Aqualim, de prix compétitifs et du fait que leur service technique est très réactif.

Afin de tester le comportement du débitmètre (appareil assez récent), une sonde de niveau d'eau (OTT) a été installée sur le site au point 4 par l'intermédiaire de la Direction des Cours d'Eau non navigables (Figure 5). Des mesures au courantomètre (OTT) à ce point (notamment en période de crue, dont nous sommes alertés par sms) permettent de relier des hauteurs d'eau à une vitesse et ainsi d'établir une courbe de tarage (Figure 6).



FIGURE 4. POINTS INSTRUMENTES SUR LE SITE PILOTE DE CHASTRE

TABLEAU 3. POINTS DU BASSIN INSTRUMENTÉS

	année 1	année 2
1. Point en amont	Canal jaugeur avec sonde de pression  (Eijkelkamp)	
	dispositif de stockage et de transfert automatique de l'information vers un serveur par modem GPRS (CR1000, Campbell)	
	Echantillonneur (OTT) 	
2. Point intermédiaire	Débitmètre (Sonde hauteur/vitesse, OTT)	Sonde de niveau d'eau (OTT)
	CR1000	
	Echantillonneur (OTT)	
3. Point exutoire du bassin pilote		Débitmètre (OTT)
		CR1000
		Echantillonneur (OTT)
4. Point exutoire des 2 bassins	Débitmètre (OTT)	Sonde de niveau d'eau (OTT)
	CR1000	
	Echantillonneur (OTT)	



FIGURE 5. SONDE DE HAUTEUR D'EAU INSTALLEE DANS LE COURS D'EAU DU BASSIN PILOTE

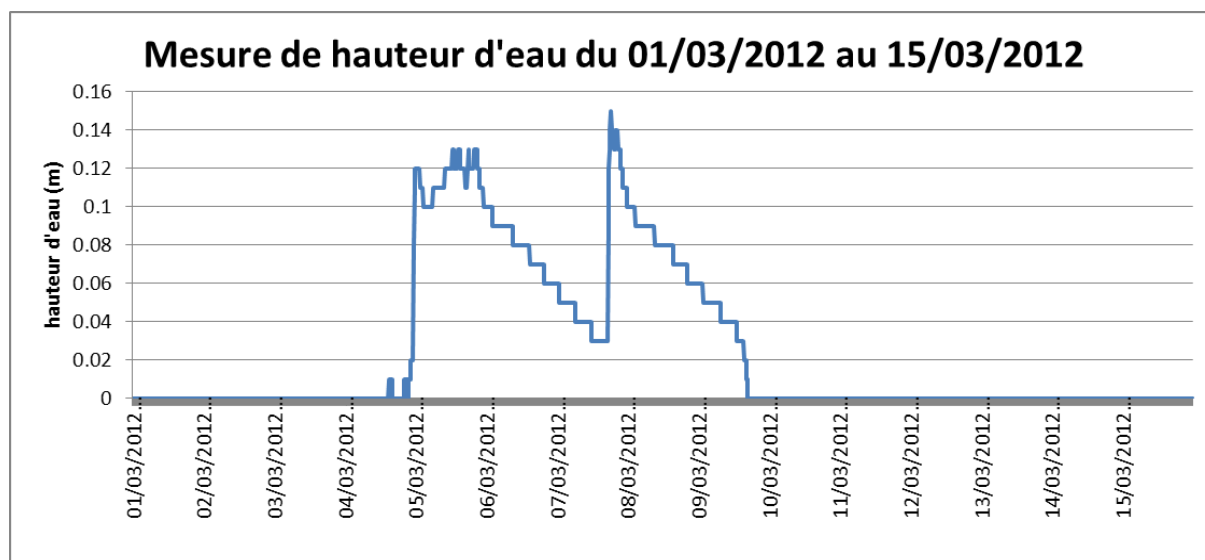


FIGURE 6. DONNEES ISSUES D'AQUALIM A CE JOUR

En outre, afin d'établir à terme le bilan hydrologique du bassin versant, une station météorologique (Campbell) et le disdromètre (OTT) sont aussi présent sur le site afin de connaître les paramètres de pluie, vitesse du vent, d'humidité relative et d'insolation (Figure 7).



FIGURE 7. STATION METEO ET DISDROMETRE

Des mesures au pied des bandes enherbées déjà présentes sur le site seront également réalisées par des pluviomètres (Campbell).

2.1 BILAN FINANCIER

Parmi les différents appareils présentés ci-dessus, les choix actuels permettent une première estimation financière (Tableau 4).

TABLEAU 4. BILAN FINANCIER

	<u>UCL</u>	<u>GxABT</u>
Budget équipement disponible (avec les différents transferts)	34 925€	44 925€
Budget dépensé	34 407.49€	44 731,05€

3 ACQUISITION DU MNS INITIAL

Le MNS initial de résolution fine du bassin versant (Figure 9) a été obtenu par le drone Gatewing X100 de l'unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels de GxABT. Deux vols ont été nécessaires pour couvrir toute la zone et ont été réalisés à 200m d'altitude (contrainte liée à l'antenne électrique présente sur le bassin). Ils ont permis d'obtenir une fauchée ¹ de 247m et une résolution de 6,76 cm en X-Y. Les photos ont été prises avec 80% de recouvrement.

Le géoréférencement de l'orthophotomosaïque (résultat de l'assemblage de toutes les images aériennes Figure 8) a été effectué à l'aide de points de contrôle au sol. Pour cela, des panneaux blancs ont été placés avant les vols et leurs coordonnées relevées avec un GPS RTK (Real Time Kinematic, précision planimétrique 1cm, altimétrique 2cm). La précision du MNS résultant est de 1 à 2 pixels en planimétrie et de 3 à 4 pixels en altimétrie.

Une zone couvrant le petit bassin versant étudié en amont (point 1 Figure 4) a été réalisée à plus faible hauteur (100m d'altitude) vu que la contrainte de l'antenne n'était plus présente à cet endroit et avec le recouvrement maximal (90%) (Figure 10). Ainsi, la fauchée était de 123m et la résolution de 3.38cm (Figure 11).

Les traitements photogrammétriques furent effectués (par l'unité de GRFMN) au moyen du logiciel Agisoft Photoscan 0.84.

¹ Bande de terrain observée sur une image dont l'axe est parallèle à la trace du véhicule aérien



FIGURE 8. ORTHOPHOTOMOSAIQUE DU VOL DU DRONE SUR LE BASSIN VERSANT PILOTE EN MODE INFRAROUGE

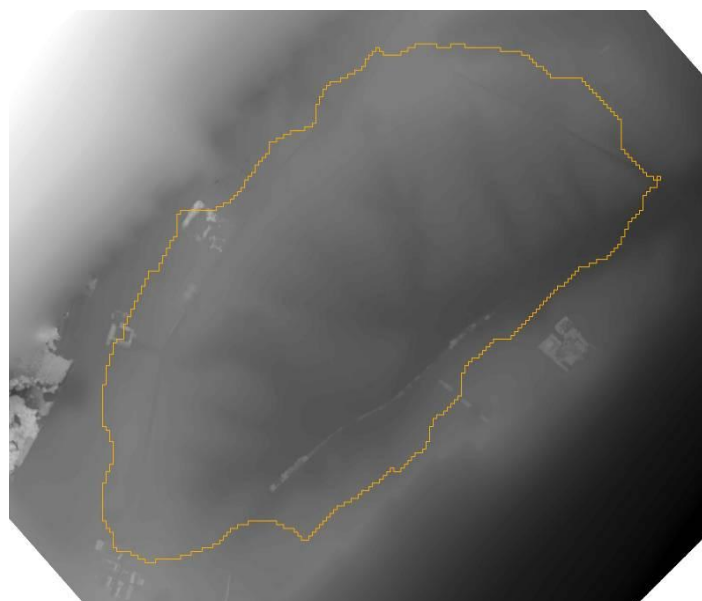


FIGURE 9. MNS BASSIN PILOTE CHASTRE

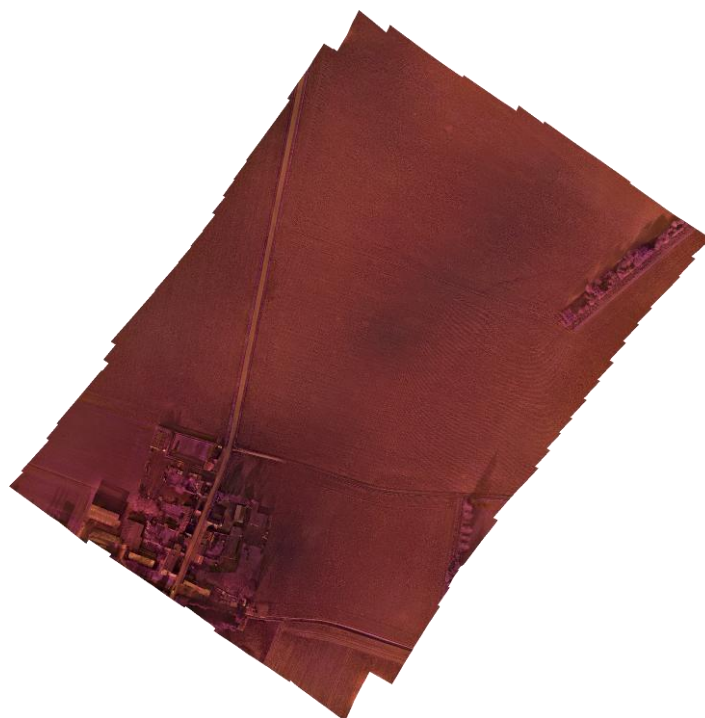


FIGURE 10. ORTHOPHOTOMOSAIQUE DU VOL DU DRONE SUR LE PETIT BASSIN AMONT EN MODE INFRAROUGE

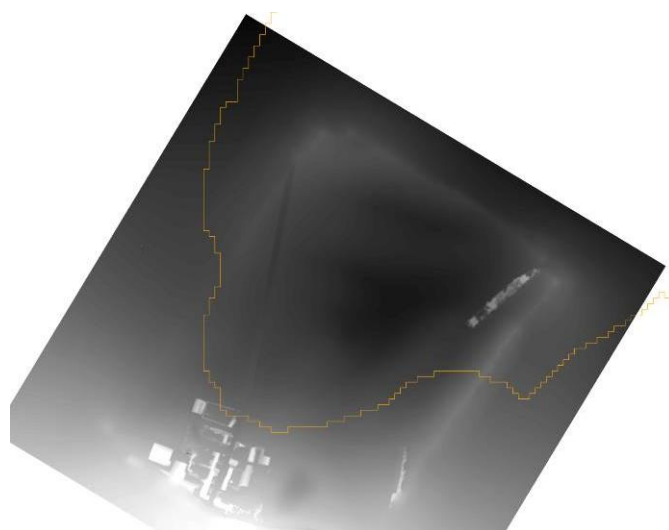


FIGURE 11. MNS PETIT BASSIN AMONT CHASTRE

4 REPONSE A LA DIRECTIVE INONDATION POUR LE RUISSELLEMENT

Dans le cadre de la directive 2007/60/CE, une cartographie des zones inondables doit être présentée à l'UE. Le groupe transversal inondation a demandé à la cellule GISER une contribution visant à intégrer la cartographie de l'aléa de ruissellement aux cartes actuelles qui reprennent le débordement de cours d'eau.

Dans les paragraphes qui suivent, une revue bibliographique des méthodologies existantes de cartographie de l'aléa d'inondation par ruissellement est présentée.

Certaines de ces méthodes ont été testées sur le bassin versant de la Gette, fortement touchée par les inondations de cet été 2011.

4.1 METHODE FRANÇAISE, SOLUTION 1 (IFSTTAR)

4.1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'Ifsttar (institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux) a effectué une mission de réflexion sur la prise en compte des phénomènes de ruissellement (dans le cadre de l'application de la directive Européenne Inondations et de l'Evaluation Préliminaire du Risque (EPRI) associée) et de proposition d'une méthodologie pour la réalisation de l'EPRI volet "ruissellement ».

La mission « ruissellement et crues soudaines » comporte les types d'aléas suivants :

- ruissellement (écoulements en dehors du réseau hydrographique)
- débordement de cours d'eau intermittents
- débordement de petits cours d'eau à réaction rapide
- débordement de torrents de montagnes.

L'objectif proposé par la mission est avant tout d'identifier les territoires pour lesquels le risque de type ruissellement et crues rapides peut être significativement plus élevé qu'ailleurs.

4.1.2 ECHELLE D'ANALYSE

Les choix ont été fait de limiter l'analyse aux surfaces drainées supérieures à 1 km² et que l'échelle d'analyse du risque proposée pour l'EPRI soit celle de la commune. Le raster utilisé présente une résolution au sol de 25m.

4.1.3 DÉTAILS DE LA MÉTHODE

Il s'agit d'une méthode uniquement topographique.

4.1.3.1 Construction d'un indicateur communal de risque ruissellement et répartition des communes en classes de risque

Indicateur communal de risque = Nb Catnat*Surface Bâtiments

A) Déclaration Catnat

Cette déclaration est une déclaration des communes de la date et du type d'inondation (par une crue (débordement de cours d'eau), par ruissellement et coulée de boue, par lave torrentielle (torrent et talweg), par remontées de nappes naturelles, par submersion marine). Il s'agit de données nationales disponibles concernant les phénomènes dommageables observés dans le passé. Elles sont reprises dans une base de données appelée GASPAR.

B) Calcul par commune de la surface de bâtiments exposés

Le principe de calcul proposé est le suivant :

1. Sélection des emprises identifiées via la méthode EXZECO : Relèvement de 1m des talwegs pour les surfaces drainées supérieures à 1 km².

Il s'agit d'une méthode de délimitation des zones de concentration des écoulements à partir d'un modèle numérique de terrain (au pas d'espace de 25m, précision altimétrique de 2-10m) et du tracé du réseau hydrographique correspondant. Le logiciel i-ExZEco est un code d'EXtraction des Zones d'ECOulement. Le principe est d'identifier tous les pixels du MNT qui se trouvent à une altitude inférieure à +H mètres du talweg le plus proche (zone inondée si la hauteur d'eau dans le talweg est de H mètres (H = 1m)) et de ne retenir que les pixels correspondant à un seuil minimum de surface drainée de 1 km². Cette méthode a le mérite de faire ressortir les zones situées à une faible altitude par rapport aux talwegs mais ne peut, en aucun cas, être considérée comme une cartographie de la zone inondable. **Elle est basée uniquement sur une approche topographique et n'intègre encore aucune donnée hydrologiques (pluviométrie, caractéristique des sols...).** Cette méthode est équivalente au remplissage des fonds de talwegs avec une certaine hauteur d'eau comme paramètre d'entrée. Les zones basses hydrographiques créées sont une approximation des zones potentiellement inondables dans les parties amont des bassins versants.

2. Fusion avec les emprises de zones inondables connues ;
3. Masquage des emprises retenues pour l'évaluation du phénomène débordement de cours d'eau ;
4. Calcul sur chaque territoire communal de la surface de bâtiments située dans l'emprise obtenue.

4.1.3.2 Correction et complément de la répartition

Cette étape peut s'effectuer de deux façons :

- par la mobilisation des connaissances détenues par les services locaux (dégâts occasionnés lors des événements historiques)
- ou par la réalisation d'enquêtes de terrain en cas d'incohérence entre les différentes informations produites à l'échelle nationale :
 - communes présentant une valeur élevée de l'indicateur de surface de bâtiments en zones basses sans que des événements historiques en nombre significatif soient connus localement :
 - nombre d'arrêtés CATNAT < 3 et surface de bâtiments en zones basses supérieure à 10.000 m²
 - nombre d'arrêtés CATNAT > 6 et surface de bâtiments en zones basses inférieure à 1000 m².

- communes présentant un niveau de sinistralité important avec les catnat sans qu'un risque potentiel important soit identifié ou qu'un risque avéré soit déjà connu des services locaux.

4.1.4 TEST DE LA MÉTHODE

L'étape d'extraction des zones d'écoulement de l'Ifsttar a été appliquée à la zone fortement touchée du bassin de la Gette. Cette délimitation des zones potentiellement inondées par ruissellement a été effectuée par l'extension FloodArea dans ArcGis.

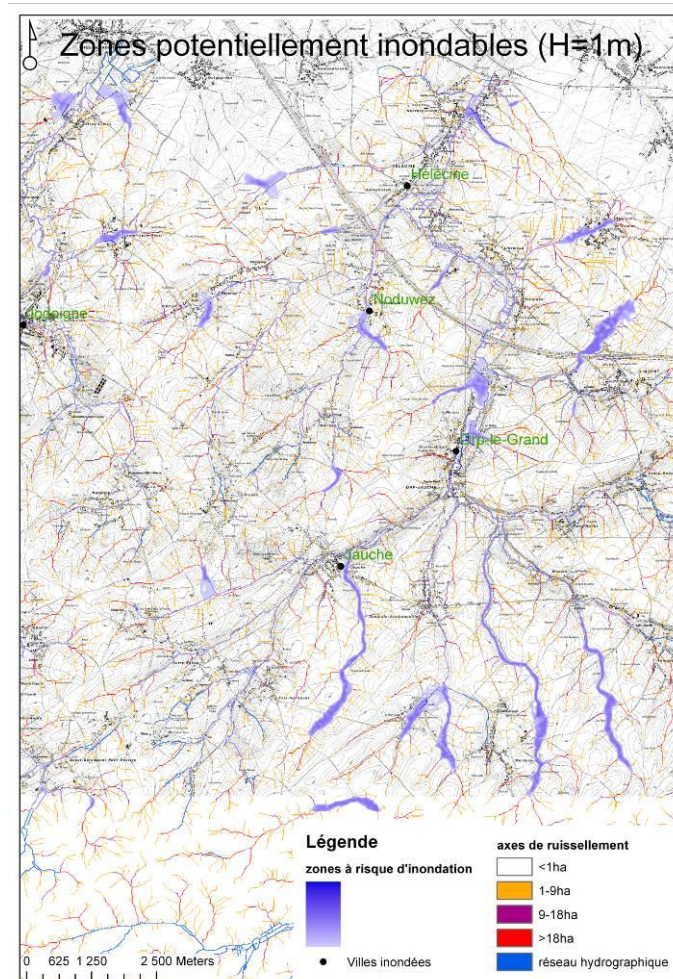


FIGURE 12. ZONES POTENTIELLEMENT INONDABLES EXTRAITES

La Figure 12 présente les zones identifiées par la méthode Ifsttar (dégradé de bleu) superposées à la carte des zones à risque de ruissellement concentré issue du projet ERRUISSOL. On voit que le seuil de 1km^2 de bassin versant, défini arbitrairement dans la méthodologie, conduit à ignorer bon nombre de vallons secs. Par ailleurs, il faut noter que cette technique, purement topographique, ne prend pas en considération les aspects hydrologiques et est fortement dépendante de la qualité des données altimétriques.

4.2 MÉTHODE FRANÇAISE, SOLUTION 2 (CEMAGREF)

4.2.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'approche IRIP (indicateur de l'aléa inondation par ruissellement intense pluvial) est d'étudier séparément l'**aléa (temporel) pluie** (durée, fréquence, intensité, extension spatiale) et l'**aléa spatial** qui seront croisés ensuite pour obtenir l'aléa inondation par ruissellement proprement dit pour créer une carte d'aptitude au ruissellement. Le croisement de cette carte avec les niveaux de vulnérabilité exposés au transfert et à l'accumulation permet de créer une carte de risque d'inondation par ruissellement.

Cette démarche vise donc à d'étudier le risque à partir de l'aléa spatial ruissellement, indépendamment de l'aléa pluie. Les auteurs mentionnent que la prise en compte de l'aléa temporel n'est pas réaliste sur de grands territoires dans le cadre de l'étude du ruissellement et doit être réservé aux études locales pour lesquelles les données nécessaires pourront être acquises.

4.2.2 ECHELLE D'ANALYSE

IRIP a été conçu pour les applications au niveau local avec des collectivités, et répond à des questions auxquelles les méthodes uniquement topographiques ne peuvent apporter des réponses. Un raster de résolution 25m au sol est utilisé, la méthode est transposable à des pixels de plus grande taille.

Cette méthode est potentiellement applicable à toute la France. Des tests ont déjà été effectués sur de très grands bassins (7.000 à 10.000 km²).

4.2.3 DÉTAILS DE LA MÉTHODE

L'évaluation de l'aléa **spatial** inondation par ruissellement est une analyse au sol des conditions de sensibilité au ruissellement. Il s'agit donc de zonage comme il existe des exemples en géomorphologie ou en analyse d'images et cette évaluation est structurée en 2 grandes étapes (d'amont en aval):

4.2.3.1 La cartographie des zones de production du ruissellement

L'approche utilisée actuellement est très similaire à ce qui a été développé dans le projet ERRUISSOL (Gembloux Agro-Bio Tech 2006-2008) (mais moins précise, notamment en zones agricoles) (Figure 13).

Cinq facteurs (l'occupation des sols², l'épaisseur des sols, l'imperméabilité des sols, l'érodibilité des sols et le relief) sont simplement chiffrés sur une échelle arbitraire et additionnés, leur poids est équivalent. Il s'agit donc d'une addition des cinq cartes relatives aux facteurs retenus.

² L'occupation est classée en fonction de son aptitude à favoriser la production du ruissellement. Les zones imperméabilisées prennent donc la valeur maximale (1) et les zones ayant des couverts végétaux (végétation plus ou moins pérenne) prennent au contraire la valeur minimale (0). Les zones agricoles peuvent augmenter la prédisposition d'une zone à la production du ruissellement. Sur de grands territoires les informations permettant de différencier différentes parcelles agricoles sont soit imprécises soit indisponibles. Par défaut dans la méthode, les zones agricoles sont considérées comme ruisselantes (principe de précaution à vérifier sur les zones à risque).

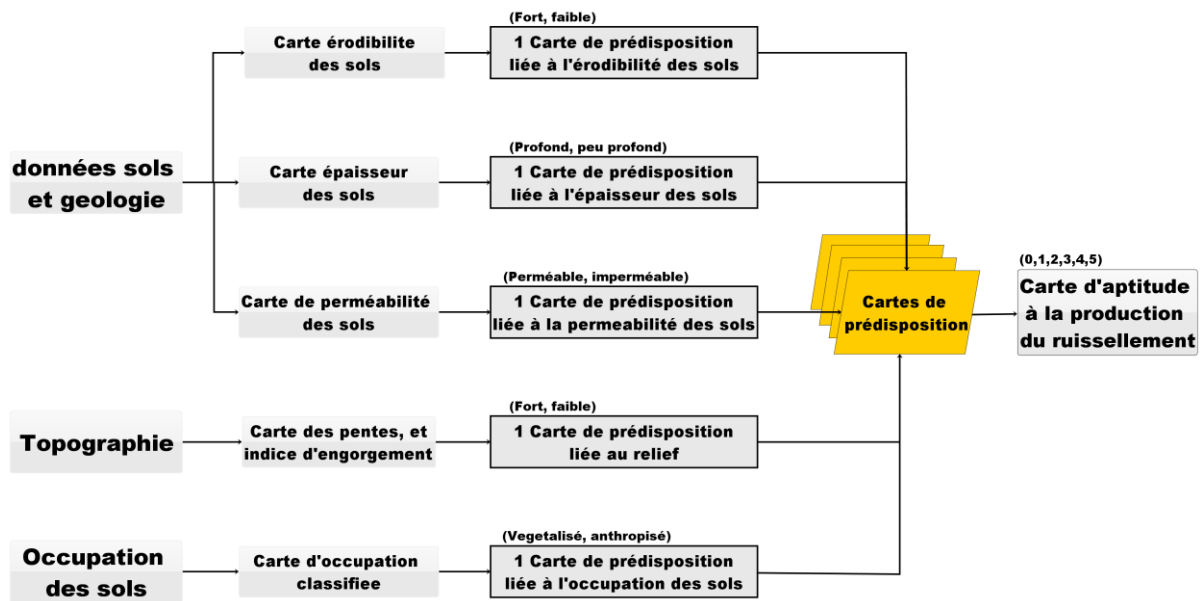


FIGURE 13. CARTOGRAPHIE DE LA CARTE DE L'APTITUDE A LA PRODUCTION DU RUISSELLEMENT

4.2.3.2 La cartographie des zones de transferts et d'accumulation

Ce sont les zones réellement impactées par le ruissellement et qui ne sont pas forcément situées dans les zones de production ou d'érosion.

Ici la notion de transfert et de dynamique amont aval a été intégrée en utilisant une approche basée sur des indicateurs de cette dynamique. Un ensemble d'indicateurs de sensibilité au transfert et à l'accumulation du ruissellement a donc été formulé et utilisé :

- pentes locales,
- morphométrie des surfaces drainées,
- ruptures de pentes,
- production à l'amont dans la surface drainée,
- indices d'engorgement.

Les auteurs font l'hypothèse que l'exposition au ruissellement est liée à une conjonction de facteurs de sensibilité et non pas à un facteur unique.

4.2.3.3 Transfert

La méthode consiste à générer, pour chaque pixel situé sur des éléments de voirie ou de talwegs, les descripteurs de la sensibilité liés à la production du ruissellement, plus ceux relatifs à la forme (indice de Gravelius) et la pente des surfaces drainées (**Figure 14**). La rupture de pente prise en compte est celle qui accélère les flux (passage d'une pente faible à une pente forte).



FIGURE 14. CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE AU TRANSFERT DU RUISSELLEMENT

4.2.3.4 Accumulation

Dans le cadre de la cartographie de l'accumulation, la rupture de pente utilisée est celle qui ralentit les écoulements (passage d'une pente forte à une pente faible).

L'indice d'engorgement est un indicateur du type indice topographique qui traduit ici la capacité d'une zone à se saturer plus souvent qu'une autre. Il est calculé par le logarithme du rapport entre la surface drainée et la pente. (Figure 15).

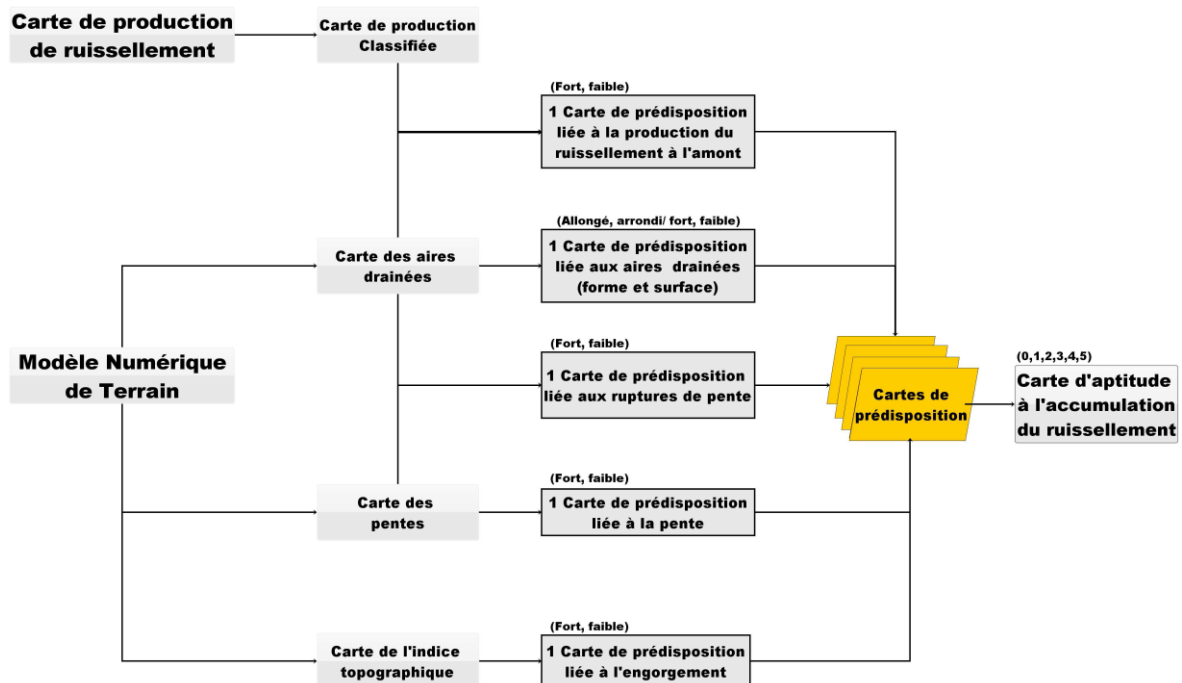


FIGURE 15. CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE A L'ACCUMULATION DU RUISSELLEMENT

Les lieux pouvant être impactés par le ruissellement

Les cartes d'aptitude au transfert et à l'accumulation du ruissellement sont fusionnées pour créer la carte dite « d'aptitude aux sinistres » (Figure 16).

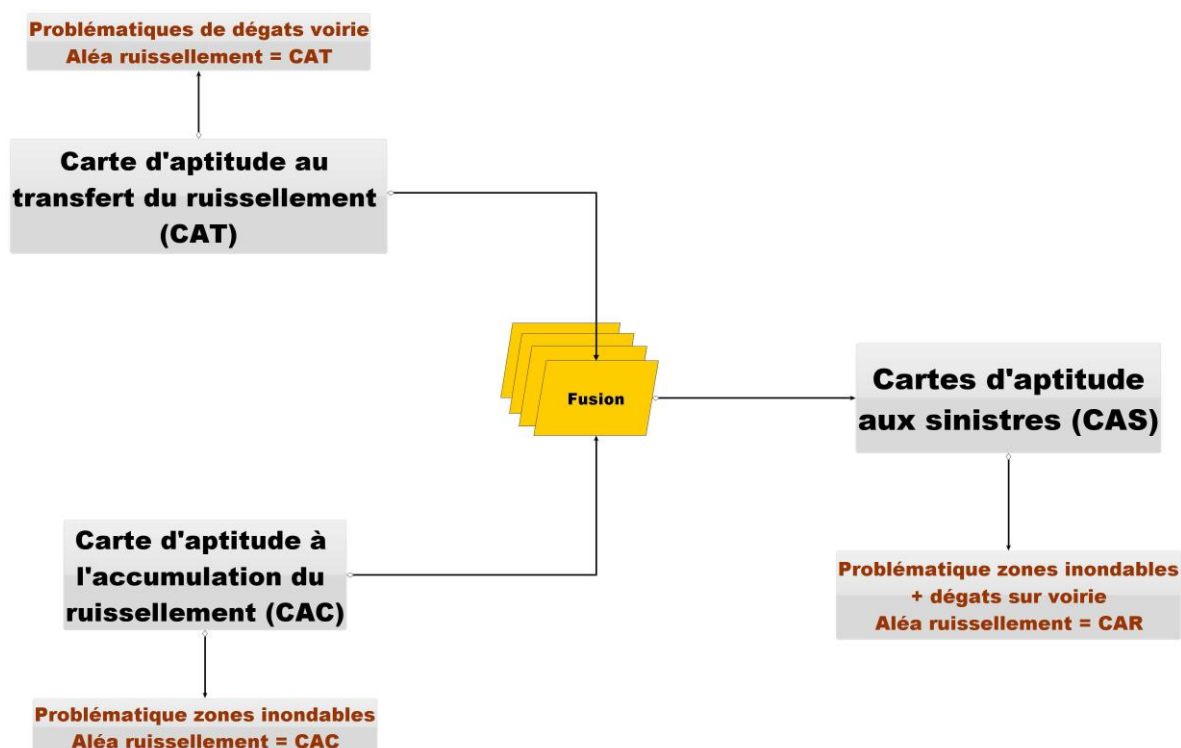


FIGURE 16. DETERMINATION DES CARTES DE SENSIBILITE AUX SINISTRES

Cette méthodologie adopte en ce qui concerne la cartographie de la production du ruissellement, une démarche similaire à celle qui a été développée dans le cadre du projet ERRUISSOL, à une différence près : les cartes ERRUISSOL ont été réalisées pour des pluies de période de retour données (25, 50, 100 ans et une pluie exceptionnelle).

Les cartes de transfert utilisent des données existantes (carte des risque de ruissellement concentré ERRUISSOL) mais font également appel à des données qui ne sont pas à ce jour cartographiées de manière exhaustive sur toute la Région.

Une transposition de cette méthodologie est donc envisageable, moyennant quelques aménagements.

4.3 MÉTHODE FRANÇAISE, SOLUTION 3 (DPPR)

4.3.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

A nouveau en France, la Direction de la Prévention des pollutions et des risques (DPPR) vise à réduire la vulnérabilité au ruissellement en effectuant des zonages réglementaires en matière d'aménagement du territoire et en imposant des mesures de maîtrise du ruissellement sur les secteurs amont des bassins versants, en prévoyant des emplacements inconstructibles capables de stocker les eaux pluviales ou préservant les lits majeurs, les axes d'écoulement.

4.3.2 ECHELLE D'ANALYSE

Il s'agit d'une caractérisation au niveau communal du ruissellement.

4.3.3 DÉTAILS DE LA MÉTHODE

4.3.3.1 La détermination de l'aléa ruissellement

La détermination de l'aléa ruissellement est effectuée par :

A) L'approche historique et hydrogéomorphologique

Il s'agit d'une simple identification naturaliste des zones à risque suivant des paramètres spécifiques (historique des épisodes antérieurs, repères de crue, pentes, coefficient de ruissellement, détermination des points sensibles au niveau de l'écoulement, etc.). Cette approche est présentée comme généralement suffisante pour qualifier l'aléa lorsque les enjeux exposés sont faibles.

B) Démarche hydraulique simplifiée

La méthode hydraulique simplifiée permet une estimation quantitative, réalisée en déterminant les apports par les méthodes de calcul pseudo-déterministes (méthode rationnelle) et d'hydraulique simple (formule de Maning-Strickler, formule d'orifice et de déversoir). Cette approche est présentée comme adaptée pour appréhender les aléas au droit de points singuliers.

- La pluie :

La statistique des intensités pluviales par bassin (de quelques hectares à quelques km²) est estimée grâce aux données de Météo France (analyses statistiques permettant de connaître aux différents pas de temps (6 minutes, 15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures) les précipitations pour les fréquences de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans).

- Le débit :

Le débit prévisible des crues caractéristiques correspondant à des périodes de retour de 10ans, 100ans et exceptionnelle est déterminé par la formule Rationnelle

$$Q = K * C * I_p * S$$

Q : débit instantané maximal (m³/s) ;

K : constante pour homogénéiser les unités (K = 1/3,6) ;

C : coefficient de ruissellement « de pointe », dont la valeur est fixée à 0,9 pour les épisodes rares ;

I_p : intensité de la pluie de durée égale au temps de concentration (mm/h) ;

S : superficie du bassin versant (km²)

- Les hauteurs d'eau :

Les zones inondables avec leurs hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement sont déterminées par la formule de Manning $Q = K * S * R^{2/3} * I^{1/2}$

K : coefficient de Manning-Strickler ;

S : section mouillée de l'ouvrage d'écoulement (m²) exprimée en fonction de la hauteur d'eau (h) ;

P : périmètre mouillé de l'ouvrage d'écoulement (m) exprimé en fonction de la hauteur d'eau (h) ;

R (S/p) : rayon hydraulique de l'ouvrage d'écoulement ;

I : pente longitudinale de l'ouvrage.

C) Modélisation hydrologique et hydraulique

La modélisation hydrologique et hydraulique est présentée comme adaptée en milieu urbain mais les 2 étapes précédentes combinées sont suffisantes sur le bassin versant amont.

Cette méthode comporte 3 étapes :

- La partie hydrologique :

Il s'agit de la transformation de pluie en débit. Les hypothèses de calcul sont introduites dans le modèle, basées sur des transformations de pluie journalière en pluie obtenue sur des plages de temps adaptées (4h, 6h...à définir en fonction du temps de réponse des bassins versants) avec une certaine forme d'hydrogramme (pluie homogène sur une certaine durée, pluie en double triangle).

- Les relevés topographiques
- La modélisation hydraulique :

Il s'agit d'une modélisation hydraulique 2D qui permet de connaître en chaque point du maillage la hauteur et la vitesse de l'écoulement. Une comparaison et un calage sur des événements passés sont toujours nécessaires tout comme un aller-retour entre l'hydrologie et l'hydraulique pour détecter d'éventuelles incohérences : par exemple, qu'un débit de période de retour 10 ans inonde l'ensemble d'un secteur alors que celui-ci n'a rien subi comme dommage depuis 20 ans, ou encore, inversement, qu'un secteur inondé chaque année ne le soit que pour un débit de fréquence rare.

4.3.3.2 Carte d'aléa

Pour réaliser la carte d'aléa, il faut tenir compte, à l'échelle du bassin versant, de trois types de zones :

- les zones de production et d'aggravation de l'aléa,
- les zones d'écoulement et
- les zones d'accumulation.

Il faut aussi tenir compte de l'ensemble des paramètres de hauteurs d'eau, vitesse d'écoulement, vitesse de montée de l'eau, temps de submersion et transport solide. Il faudra aussi, pour fixer les niveaux d'aléa, tenir compte de la traduction de l'intensité de ces paramètres physiques en termes de dommages aux biens et de la gravité pour les personnes.

Les informations relatives à cette cartographie de l'aléa, bien que permettant une bonne compréhension générale de la démarche, ne permettent pas de reproduire la technique sur base des données wallonnes. Singulièrement la partie hydraulique de la méthode requiert une connaissance fine des sections d'écoulement du ruissellement, ce qui n'est pas disponible de manière systématique sur l'ensemble du territoire.

4.4 ROYAUME-UNI (ENVIRONMENT AGENCY, (JBA CONSULTING))

4.4.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

La méthode britannique ici présentée, a été développée pour cartographier les inondations par des événements pluvieux extrêmes sur la région de Venise (Nord de l'Italie) mais pourrait dans son principe être appliquée à n'importe quelle région. Le postulat de base est que les inondations par ruissellement correspondent à l'excès de précipitation ruisselant sur le sol.

4.4.2 ECHELLE D'ANALYSE

Un raster de 5 m de résolution au sol est utilisé.

4.4.3 DÉTAILS DE LA MÉTHODE

Les données nécessaires à cette méthode sont des données de pluie (sous la forme d'un hyétogramme), de sol (Coefficient de Manning, considérant 3 valeurs correspondant à 3 zones : urbain, péri urbain et rural) et un MNT.

4.4.3.1 Calcul des valeurs de débit

Les données de pluie du hyétogramme sont converties en valeurs de débit en incorporant le type de sol et la saturation du sol (CN)³ par l'équation suivante :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Avec, Q, le débit ;

P, la hauteur de précipitation [mm] ;

I_a, la perte initiale, qui est la part de l'averse qui s'infiltre en totalité avant le début de la montée de la crue = 0.2*S ;

S, un paramètre de rétention [mm] directement dépendant du CN.

4.4.3.2 Modèle hydraulique JFlow

Ces valeurs de débits sont acheminées à travers le modèle 2D JFlow sur le MNT. Chaque pixel du MNT a ainsi une valeur de débit.

Par conséquent, à partir de hyétogrammes, coefficients de Manning et MNT, le modèle produit les données suivantes : la hauteur d'eau, la vitesse et le risque. Celui-ci est déterminé par la combinaison des hauteurs d'eau et des vitesses.

³ La méthodologie de détermination du CN n'est pas documentée mais il est précisé que l'occupation du sol n'est pas prise en considération.

4.5 MÉTHODE ITALIENNE, SOLUTION 1

4.5.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Cette méthode est centrée sur le risque de flash flood à l'échelle du bassin versant. La définition d'une flash flood utilisée ici est basée sur une pluie d'intensité fixée et un seuil maximal de dimension du bassin de 500km².

4.5.2 ECHELLE D'ANALYSE

Les résultats sont calculés par micro-bassins versants et présentés pour le bassin de la rivière Arno (bassin de 9116 km²) mais la procédure est applicable à plus large échelle.

4.5.3 DÉTAILS DE LA MÉTHODE

4.5.3.1 Carte de période de retour d'une flash flood

La cartographie des périodes de retour d'une crue éclair est basée uniquement sur les courbes IDF et sur l'hypothèse qu'une crue éclair est une pluie de 50mm/h pendant 1h.

Les périodes de retour sont divisées en 4 classes (Figure 17).

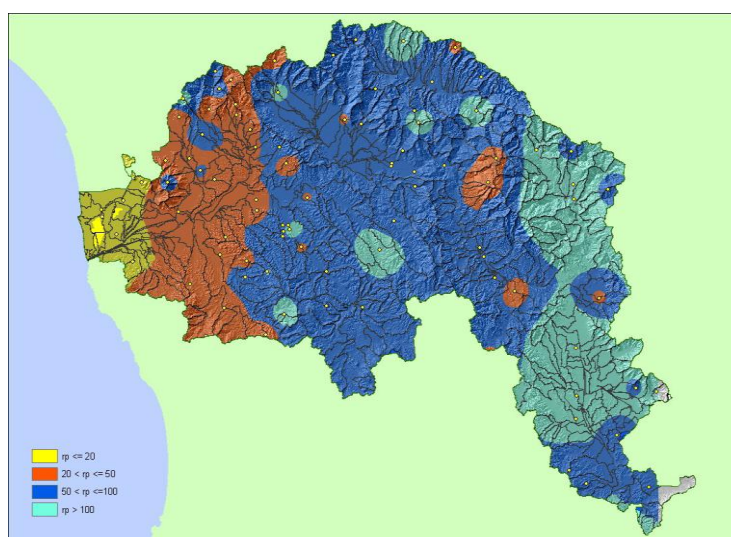


FIGURE 17. CARTE DES PERIODES DE RETOUR

4.5.3.2 Carte des temps de réponse

Pour chaque bassin d'une valeur seuil maximale de 500 km², les temps de réponse hydrologiques du bassin sont classés en 4 intervalles (de quelques minutes à 6h) (Figure 18).

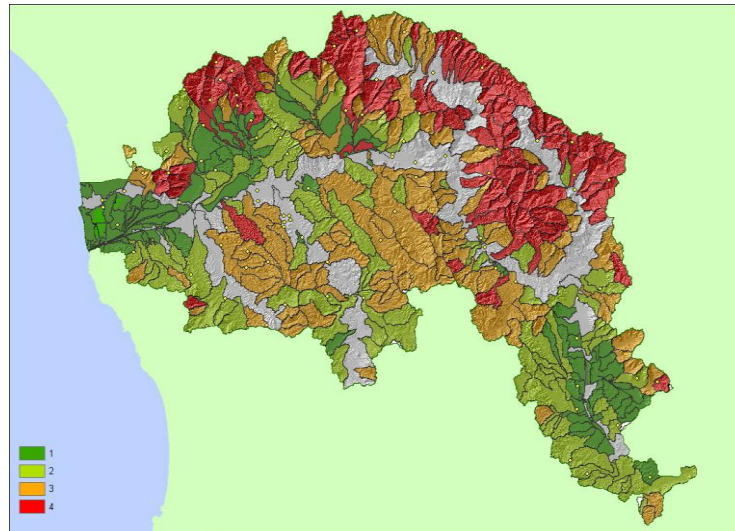


FIGURE 18. CARTE DES TEMPS DE REPONSE

4.5.3.3 Carte du risque de flash flood

Elle est obtenue par chevauchement des 2 cartes précédentes (Figure 19). La situation la plus probable pour qu'un flash flood se produise est la combinaison d'une probabilité élevée de la pluie définie et d'un court temps de réponse.

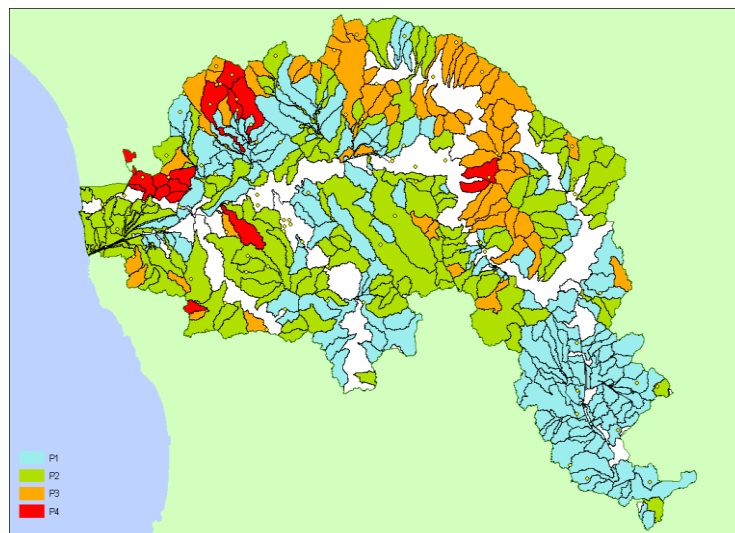


FIGURE 19. CARTE DU RISQUE DE FLASH FLOOD

4.5.4 **TEST DE LA MÉTHODE**

Les entités hydrologiques du bassin versant de la Gette identifiées dans le WP2 ULg-GxABT du projet GISER1 sont classées en fonction de leur temps de concentration (Figure 20). Celui-ci est estimé par le module SCS-GISER.

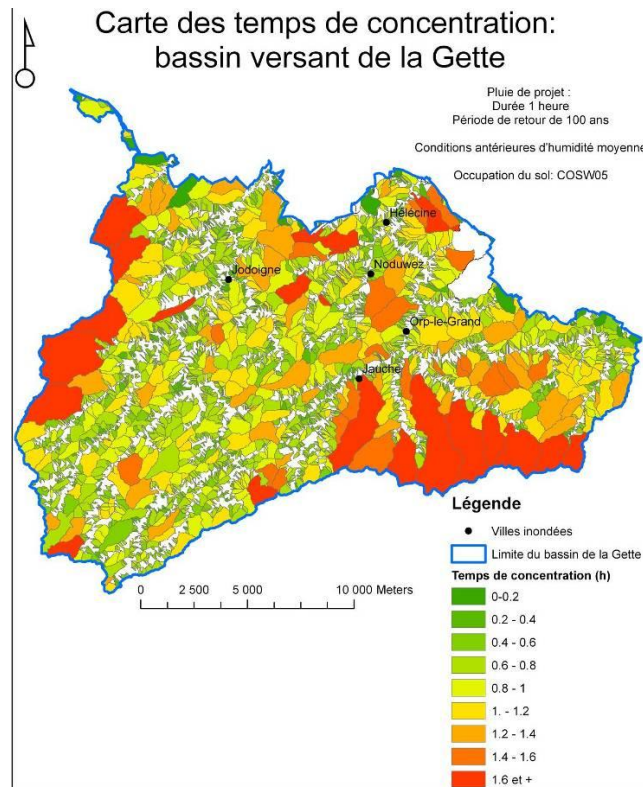


FIGURE 20. CARTE DES TEMPS DE CONCENTRATION

Notons toutefois que dans cette carte a été réalisée en appliquant la méthode des autorités du bassin du fleuve Arno (point 5) et en respectant leur code couleur qui n'est peut-être pas le plus intuitif (long temps de concentration en rouge alors que situation plutôt favorable).

Les bassins versants ayant posés problèmes lors des inondations de cet été 2011 semblent présenter pour la plupart des temps de concentration élevés (Figure 21). Il faut noter que l'échelle de réalisation de ces cartes est largement différente de celles des cartes présentées dans la description de la méthode. Les tailles des micro-bassins versants présentées ici varient de 1 à quelques centaines d'hectares.

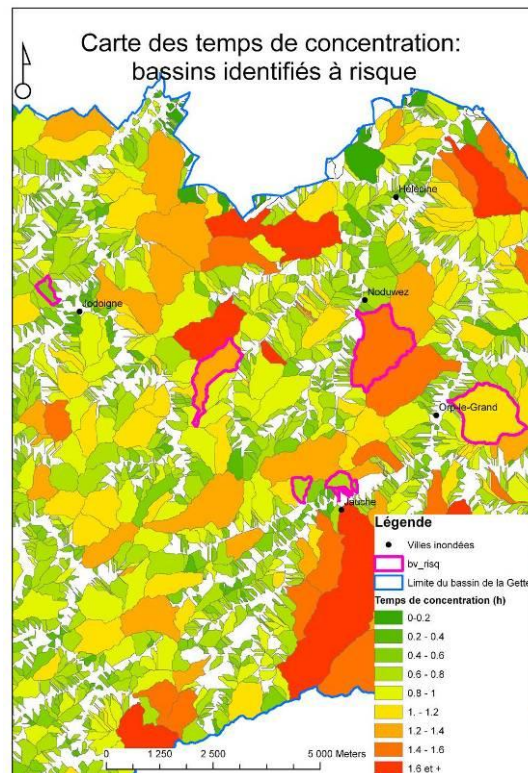


FIGURE 21. BASSINS A RISQUE SUPERPOSES SUR LA CARTE DES TEMPS DE CONCENTRATION

4.6 MÉTHODE ITALIENNE, SOLUTION 2

4.6.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Cette seconde méthode d'origine italienne a pour but d'identifier la distribution des aires de flash flood avec différents degrés de risque dans une région où des flash flood se produisent de manière périodiques.

4.6.2 ECHELLE D'ANALYSE

L'identification se fait à l'échelle 1:25 000. La méthode a été effectuée sur la Salento peninsula (Italie du sud).

4.6.3 DÉTAILS DE LA MÉTHODE

4.6.3.1 Identification de la distribution des inondations à l'échelle 1:25 000

Une carte montrant la susceptibilité d'inondation

Cette carte est réalisée avec une base de données contenant les municipalités touchées par inondations et les études de terrain déjà réalisées et en considérant les facteurs menant aux inondations à savoir lithologie et le réseau de fractures des unités stratigraphique, pente et ruissellement. Cette carte est utilisée pour créer des modèles digitaux afin d'attribuer des taux de susceptibilité (Figure 22).

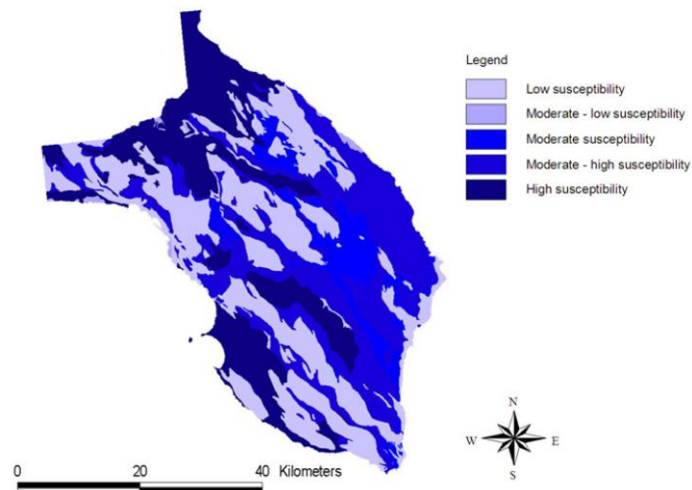


FIGURE 22. CARTE DU SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS DE LA PENINSULE SALENTO

Une carte de la localisation des inondations cartographiées sur le MNT

Elle est réalisée grâce aux carte de la géo-lithologique, de perméabilité et des précipitations. Cette carte permet d'identifier les facteurs d'aléa et la surface des aléas (Figure 23).

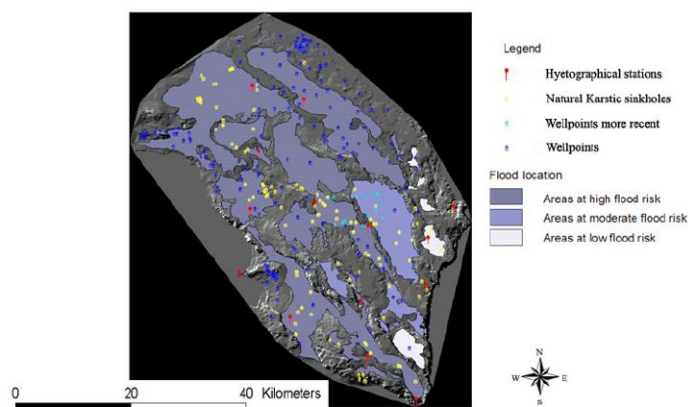


FIGURE 23. CARTE DE LA LOCALISATION DES INONDATIONS SUR LE MNT DE LA PENINSULE SALENTO

4.6.3.2 Cartographie du risque d'inondation

La cartographie du risque d'inondation est réalisée en liant les deux cartes précédentes à la carte des sols (le facteur de vulnérabilité aux inondations) et en utilisant, par la suite, des indices obtenus pour identifier les classes de risques.

La description pour le moins sommaire de cette méthode permet d'en supposer la philosophie mais limite ses possibilités de tests et/ou de transposition à la Région wallonne.

4.7 RÉCAPITULATIF BIBLIOGRAPHIQUE

TABLEAU 5. TABLEAU RECUPITULATIF DES METHODES

	<u>Aléa</u>			<u>Cartographie du risque</u>
	<u>Pluie</u>	<u>Hydrologie (sol, occupation du sol, cultures) en tout ou partie</u>	<u>Transfert et accumulation</u>	<u>Vulnérabilité</u>
France 1		X (MNT)		
France 2		X (Sol, Occ Sol)	X	X
France 3	X	X (Coeff ruiss)		
Royaume-Uni	X	X (MNT, sol)		
Italie 1	X			
Italie 2		X (sol)		

Le

Tableau 5 présente une vision récapitulative des méthodologies de cartographie de l'alea de ruissellement. Aucune des méthodes n'est complète au sens hydrologique mais on peut identifier la « méthode française, solution 2 » comme la plus aboutie.

Cette méthode présente en outre l'avantage d'être cohérente avec différentes cartographies précédemment établies en Wallonie, notamment dans le cadre du projet ERRUISSOL. Pour rappel, les cartes ERRUISSOL sont établies au format raster avec une résolution au sol de 10m.

La carte de production de ruissellement comprend un scénario pluie et une modélisation hydrologique. Les cartes de transfert du ruissellement ont aussi été générées par Erruissol mais les axes de concentration ont une limite d'utilisation liée à la résolution.

Un indice tel que l'indice d'engorgement de la méthode française peut être calculé sur base des données existantes. En revanche, il n'existe pas à ce jour de cartographie exhaustive de l'effet des voiries et infrastructures sur les reprises de ruissellement.

Parmi les méthodes présentées, la première méthode italienne se démarque par une cartographie à l'échelle de micro-bassins versants. Cette méthode nécessite le calcul des temps de concentration, ce qui est réalisable sur base des données existantes en Wallonie. De plus, le WP2GxABT du projet GISER1 a produit une cartographie des micro-bassins versants (exutoire = point d'entrée du ruissellement dans le cours d'eau), pouvant servir de base à une transposition e cette technique.

Mieux encore, sur base du module SCS GISER développé au cours du précédent projet, il est possible de classer les micro-BVs en fonction de leur débit de pointe.

A ce stade, il faut noter que ce calcul suppose la connaissance de l'occupation du sol dans les zones agricoles. Par mesure de précaution, un calcul de ruissellement potentiel devrait être réalisé, considérant toutes les terres agricoles (hors prairies permanentes) comme terre nue.

Ce choix ne doit pas faire oublier le potentiel de réduction du ruissellement que constituent de bonnes pratiques agricoles.

4.7.1 TEST DU CLASSEMENT DES MICRO-BASSINS VERSANTS EN FONCTION DU DÉBIT DE POINTE

Les entités hydrologiques du bassin versant de la Gette identifiées dans le WP2 ULg-GxABT sont classées en fonction de leur débit de pointe (Figure 24). Celui-ci est estimé par le module SCS-GISER.

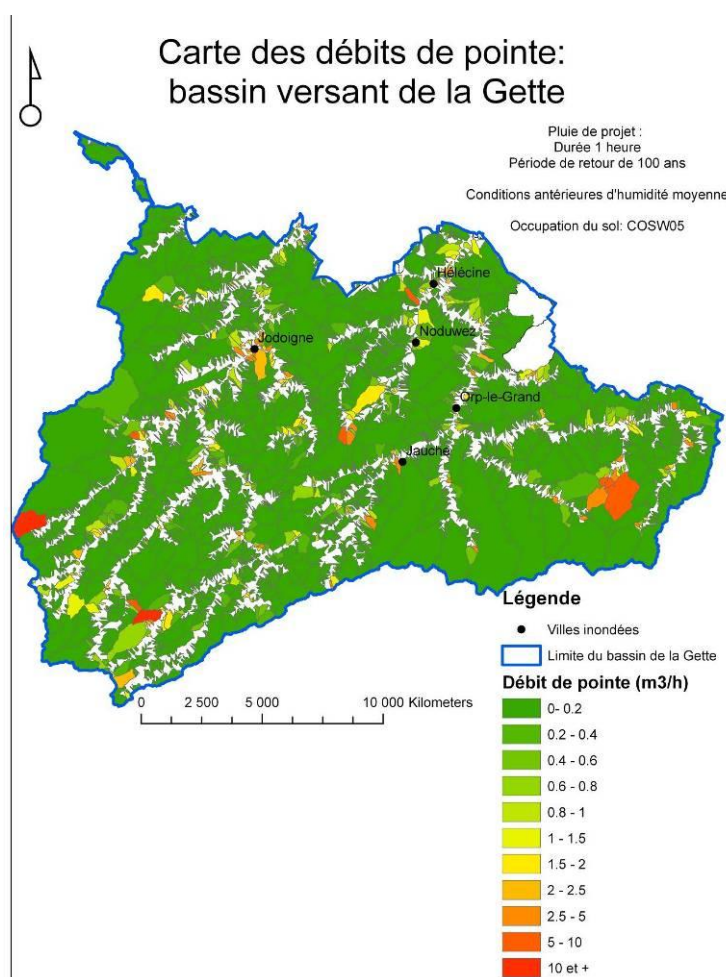


FIGURE 24. CARTE DES DEBITS DE POINTE A L'EXUTOIRE POUR LE BASSIN VERSANT DE LA SENNE (PLUIE DE PROJET 1H, PERIODE DE RETOUR DE 100 ANS, CN2, OCCUPATION DU SOL DE 2005)

4.7.2 TEST DU CLASSEMENT DES MICRO-BASSINS VERSANTS EN FONCTION DU DÉBIT DE POINTE : OPTION SÉCURITAIRE

Une simulation a aussi réalisée où les sols agricoles ont été considérés nus en veillant à conserver les prairies permanentes (Figure 25).

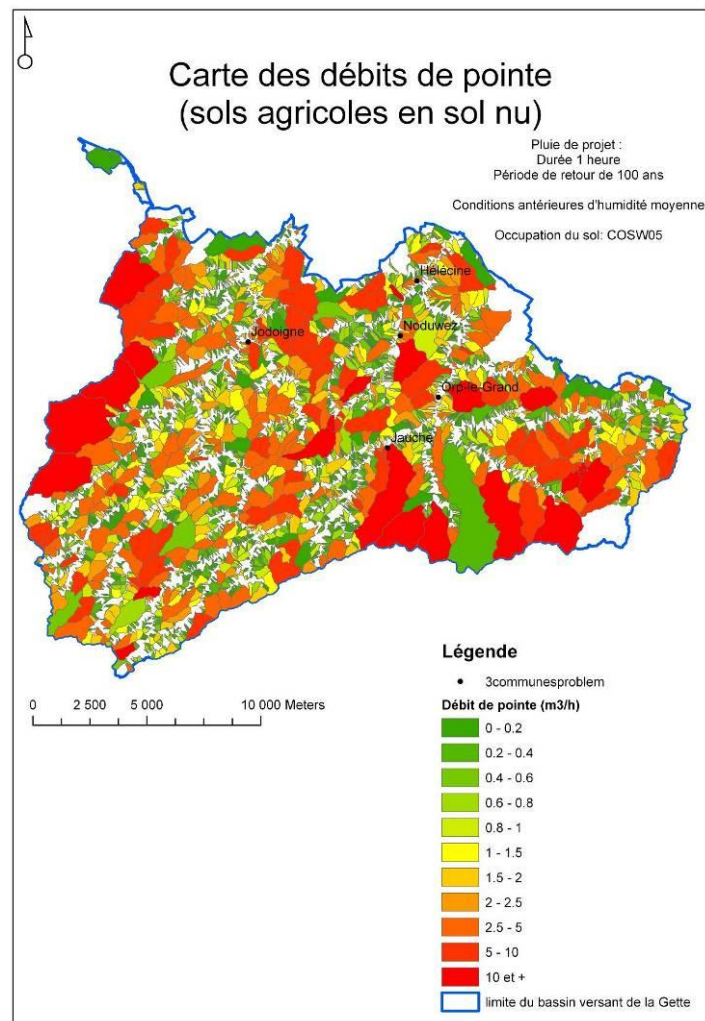


FIGURE 25. CARTE DES DEBITS DE POINTE EN SOL NU

Les bassins identifiés à risque lors des orages de l'été 2011 ont été superposés à cette carte (Figure 26).

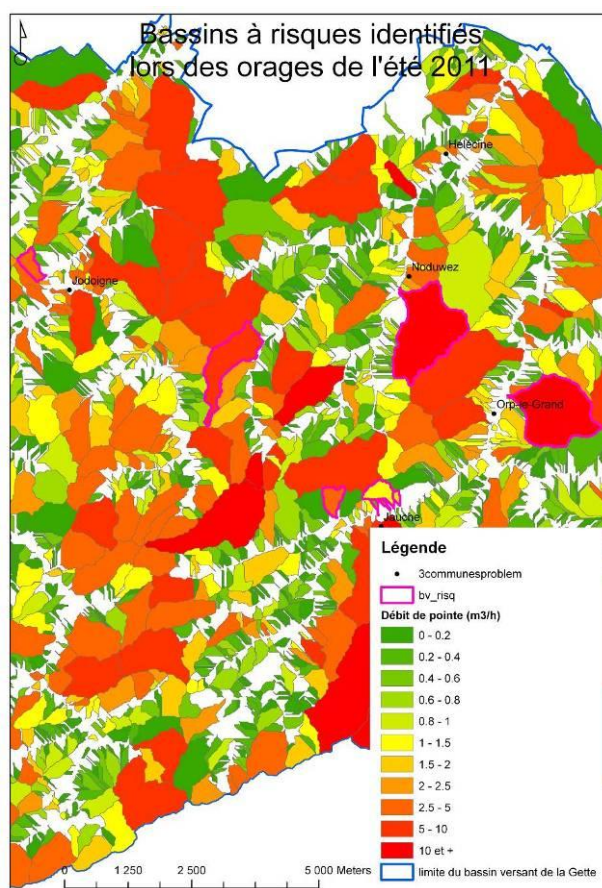


FIGURE 26. BASSINS A RISQUE SUPERPOSES SUR LA CARTE DES DEBITS DE POINTE EN SOL NU

4.8 METHODOLOGIE RETENUE POUR LA DIRECTIVE INONDATION

Le groupe transversal inondation et son groupe de travail dédié à la directive inondation ont tenu différentes réunions sur le sujet de la cartographie de l'aléa d'inondation par ruissellement.

De ces discussions il ressort que l'utilisation de valeurs de débit de pointe calculés pour des pluies de différentes périodes de retour et à l'échelle des petits bassins versants secs est retenue.

En termes de représentation cartographique cependant, le groupe souhaite que les axes soient ciblés.

La méthodologie retenue, qui se base sur des données disponibles partout en Wallonie est explicitée ci-dessous. Elle a été testée au bassin versant de la Meuse.

4.8.1 CHOIX DE 3 PERIODES DE RETOUR POUR LES PRECIPITATIONS

Des périodes de retour de 25, 50 et 100 ans ont été choisies pour être en cohérence avec la cartographie de l'aléa inondation par débordement de cours d'eau que demande l'Europe.

4.8.2 CHOIX DE LA DUREE DE PLUIE

Une pluie courte doit être privilégiée vu les événements que l'on souhaite représenter. La situation la plus critique en terme de débit ayant lieu lorsque la durée de la pluie atteint le temps de concentration, il serait nécessaire de calculer les temps de concentration des bassins versants

secs (près de 150000). Les temps de concentration ont été représentés pour le bassin de la Dyle et le bassin de la Mehaigne (Figure 27).

Ainsi, une durée de la pluie a été fixée à 1h pour tous les micro-bassins versants.

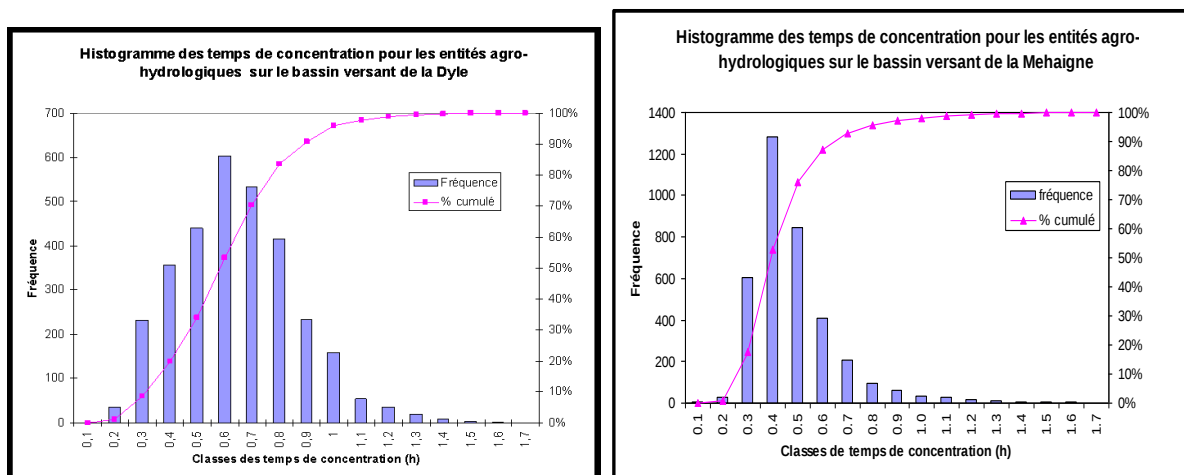


FIGURE 27. HISTOGRAMME DES TEMPS DE CONCENTRATION (DYLE ET MEHAIGNE)

4.8.3 L'EFFET HYDROLOGIQUE DE LA COUVERTURE DU SOL

L'effet hydrologique de la couverture du sol dans la zone agricole est variable d'une année à l'autre (en fonction du type de culture) mais aussi au cours de l'année (en fonction du développement végétatif et des opérations culturales). Seules les prairies permanentes peuvent être considérées comme ayant un effet hydrologique constant.

Il a donc été décidé de considérer les terres arables comme des sols nus à l'exception des prairies permanentes.

4.8.4 MATRICE DE L'ALÉA DE RUISSELLEMENT

Par analogie avec la matrice de détermination de l'aléa par débordement de cours d'eau, le débit de pointe a été utilisé pour déterminer l'ampleur de l'événement. En effet, il synthétise la propension à ruisseler, la taille et le réseau d'écoulement du bassin versant. La période de retour utilisée est celle de la précipitation (Figure 28).

Le calcul par le module SCS-Giser (projet Giser) est réalisé avec un état hydrologique initial à la capacité au champ permettant de considérer que la période de retour du débit est équivalente à celle de la pluie.

T25	Elevé	M	E	E
T50	Moyen	M	M	M
T100	Faible	F	F	M
		Faible	Moyen	Elevé
		Qp		

FIGURE 28. MATRICE D'ALEA INONDATION PAR RUISSELLEMENT

Le débit de pointe est calculé à l'exutoire de chaque petit bassin versant sec. Ensuite, par règle de 3, basée sur la surface contributive, chaque pixel d'un bassin versant peut se voir attribuer un débit de pointe propre au pixel.

$$Q_{pp} = \frac{Q_p * S_p}{S_{bv}}$$

Avec

Q_{pp} : le débit de pointe associé à un pixel donné

Q_p : le débit de pointe de l'exutoire du BV auquel appartient le pixel p

S_{bv} : la superficie du bassin versant

S_p : la surface contributive du pixel p (données de Flow Acc d'ArcGis générées lors d'Erruissol)

4.8.5 CLASSIFICATION DES DEBITS DE POINTE PAR PIXEL

Après analyse des histogrammes (Figure 29) des valeurs de débit de pointe par pixel présentes sur le bassin versant de la Mehaigne pour les 3 périodes de retour et considérant que la première classe ne doit pas commencer à zéro, les 3 classes suivantes ont été fixées :

- 0,5 - 1m³/s = faible
- 1 - 5m³/s = moyen
- > 5 m³/s = élevé

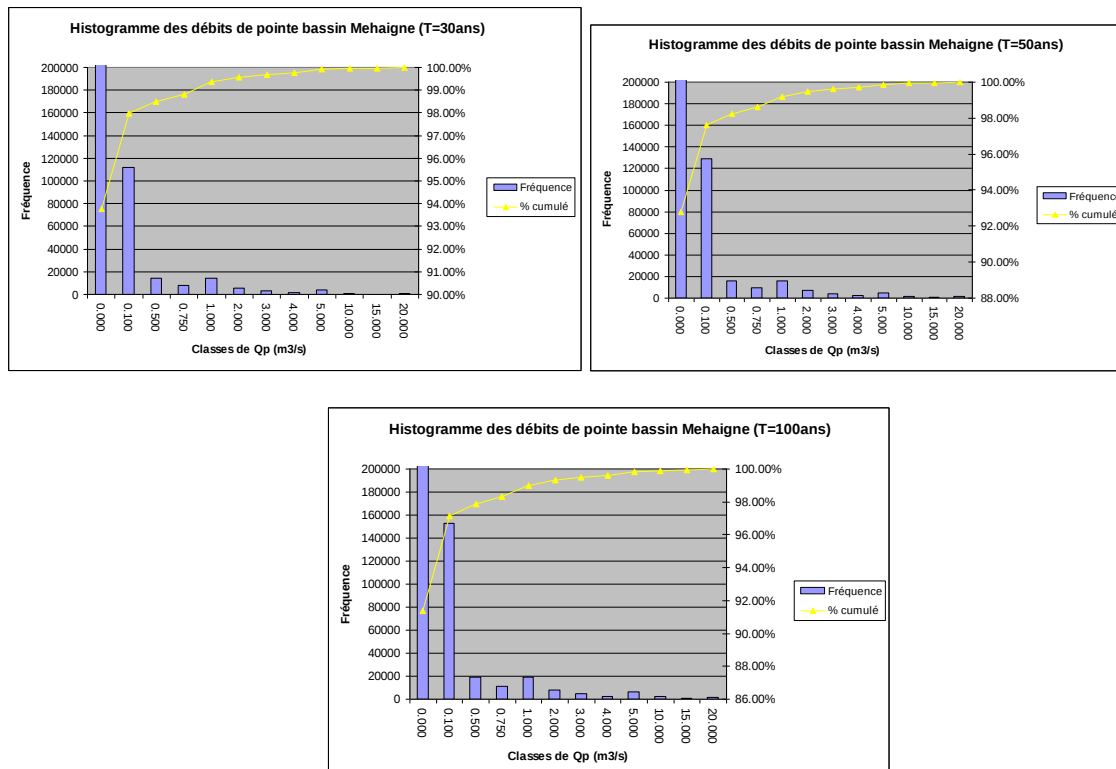


FIGURE 29. HISTOGRAMME DES DEBITS DE POINTE PAR PIXEL (MEHAIGNE)

Ces classes ne sont pas encore fixées définitivement dans la méthodologie mais permettent d'avancer dans la représentation cartographique.

Une fois les calculs effectués sur l'ensemble de la Wallonie, ces classes pourraient, le cas échéant, être ajustées.

4.8.6 REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE

Le produit cartographique prend la forme d'un raster de résolution 10m au sol. Les pixels sont codés selon la matrice de l'aléa proposée supra.

Le groupe restreint DI Inondation a pris position le 12 janvier 2012 pour une représentation visant à déclencher une demande d'avis spécifique lors de demande de permis sur une parcelle concernée par l'aléa de ruissellement mais qui n'aura pas valeur réglementaire. Ce faisant, le groupe a pris l'option de renoncer à un buffer de sécurité autour des axes, bien qu'il soit conscient que le positionnement de ceux-ci est dépendant de la précision de la donnée altimétrique de base.

L'aléa inondation par ruissellement sera superposé à l'aléa par débordement. Les détails de la représentation (couleurs, superposition) sont en cours de développement.

4.8.7 RESULTATS DU TEST SUR LA MEHAIGNE

Cette méthode a été testée sur la zone de la Mehaigne. La carte résultante est présente à la Figure 30.



Aléa inondation par ruissellement Mehaigne

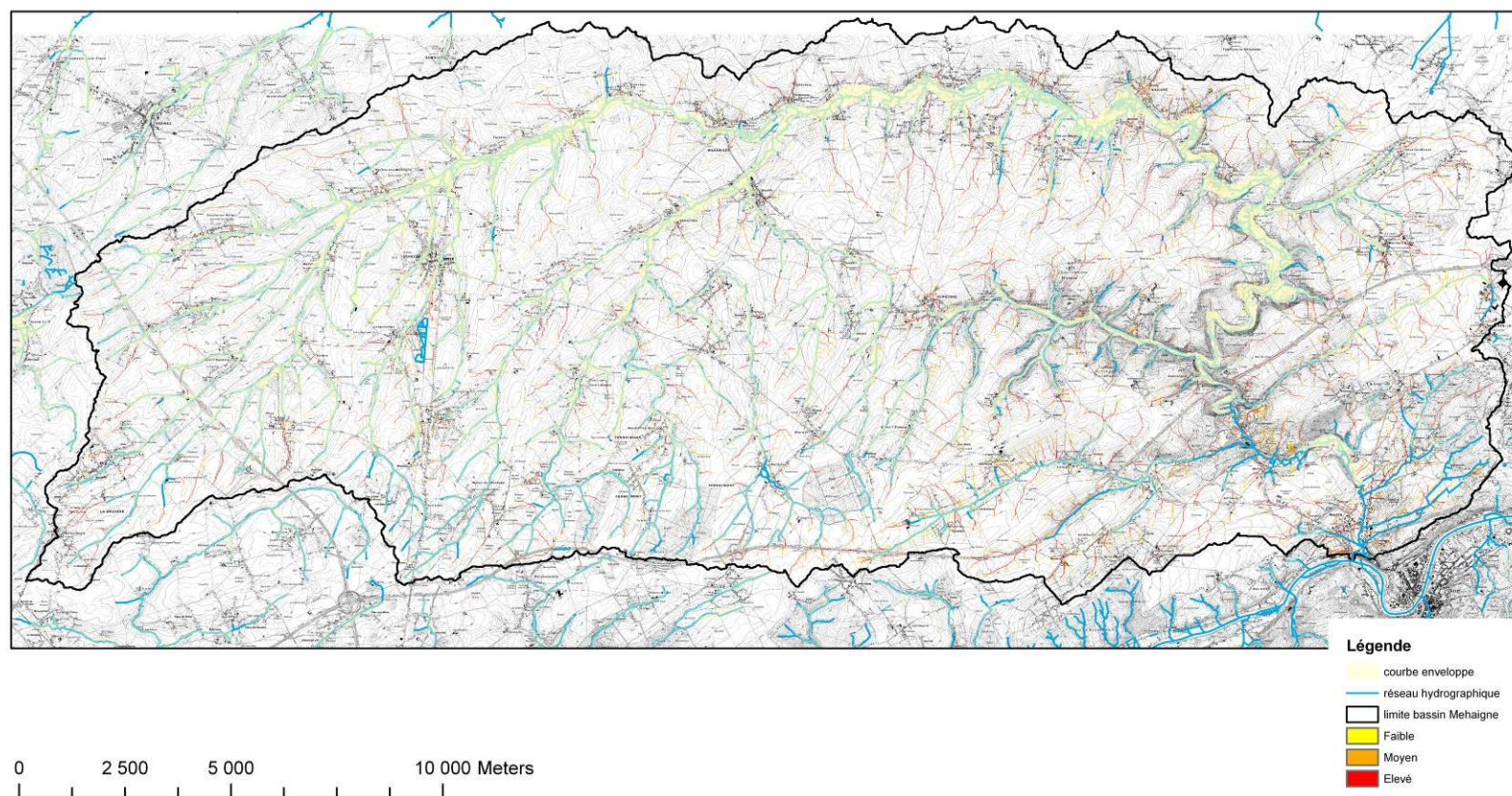


FIGURE 30. ALEA INONDATION PAR RUISSELLEMENT - MEHAIGNE

5 INTEGRATION DU FACTEUR « CULTURAL » (FACTEUR C) DE L'EQUATION USLE AU CALCUL DE L'ÉROSION POTENTIELLE

5.1 RAPPEL DES ACQUIS DE LA CONVENTION GISER 2009-2011

5.1.1 CALCUL DE L'ÉROSION POTENTIELLE

La Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) permet de calculer la quantité moyenne annuelle de terre perdue par ruissellement diffus (rigoles et inter-rigoles). Elle se présente sous la forme d'un produit de cinq facteurs qui influencent l'érosion par ruissellement (Equation 1, Wischmeier et Smith, 1978).

$$E = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \text{ÉQUATION 1}$$

Suite à une demande de l'administration, il a été décidé dans le cadre de la convention GISER 2009-2011 de développer en priorité une méthodologie de calcul et une cartographie de l'érosion potentielle (Equation 2) à l'échelle parcellaire afin de mettre en évidence les parcelles présentant des risques d'érosion. Le facteur P (mesures anti-érosives) et le facteur C (facteur cultural) ont donc volontairement été négligés car il s'agit de facteurs non intrinsèques à la parcelle et sur lesquels l'Homme peut agir afin de réduire l'érosion.

$$E_{pot} = R \cdot K \cdot LS \quad \text{ÉQUATION 2}$$

Ce calcul de l'érosion potentielle a été automatisé à l'échelle de la Région wallonne et une classification des parcelles à risque d'érosion a été proposée à l'administration (GISER 2009-2011). La Figure 31 présente la carte résultante sur base du parcellaire 2009.

5.1.2 FACTEUR C

Le facteur C intervenant dans la RUSLE rend compte de l'impact de la culture et des pratiques culturales sur les pertes en sol. Il est fonction du Soil Loss Ratio de la culture pondéré par l'érosivité de la pluie (Equation 3, Yoder *et al.*, 1997).

EIn est l'érosivité moyenne à long terme de la pluie pour la période n considérée [MJ.mm.ha-1.h-1] (Verstraeten *et al.*, 2006), Eltot est l'érosivité totale moyenne à long terme de la pluie sur une année [677 MJ.mm.ha-1.h-1.an-1], et SLRn (adimensionnel) est le Soil Loss Ratio, c'est-à-dire le rapport de perte en terre pour la période considérée.

$$C = \frac{\sum (SLR_n \cdot EI_n)}{EI_{tot}}$$

ÉQUATION 3

Le SLR rend compte de la diminution de perte en sol pour un contexte donné par rapport à un sol nu travaillé dans le sens de la pente et ayant une rugosité aléatoire égale à 0.24 pouce. Il varie entre 0 et 1, et est défini comme le produit de cinq facteurs (Equation 4).

$$SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM$$

ÉQUATION 4

Les facteurs PLU (Prior Land Use = occupation du sol antécédente), CC (Canopy Cover = couverture par la canopée), SC (Surface Cover = couverture par les débris végétaux), SR (Surface Roughness = rugosité du sol) et SM (Soil Moisture = humidité du sol), tous adimensionnels, doivent être déterminés expérimentalement.

Les valeurs du facteur C pour les 27 rotations triennales les plus répandues en Région Wallonne et leurs variantes ont été calculées (GISER 2009-2011). Les variantes tiennent compte de l'ordre de succession des cultures et du type de gestion de l'interculture. En l'absence de culture de couverture hivernale, deux hypothèses ont été formulées concernant la gestion de l'interculture avant la mise en place d'une culture de printemps. La première hypothèse est un labour d'automne effectué début novembre. Les résidus de la culture précédente sont considérés constants jusqu'à cette date. La seconde hypothèse est un labour de printemps réalisé début mars. Le taux de couverture du sol par les résidus de la culture précédente décroît à partir de la 1ère décade de novembre. Les tableaux présentant les résultats sont fournis en annexe (Annexes 1 à 3).

Les chapitres suivants décrivent la méthodologie utilisée pour pondérer les valeurs d'érosion potentielle par les valeurs de facteur C en prenant comme exemple la rotation comprise entre 2007 et 2009.

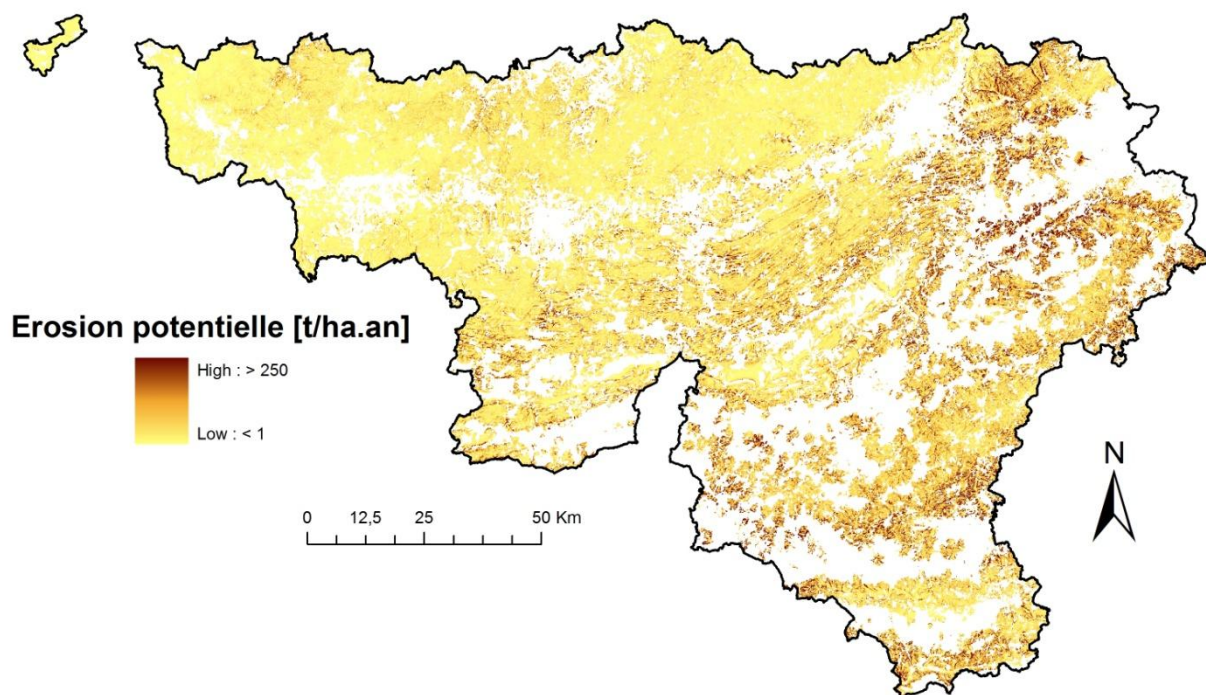


FIGURE 31 : EROSION POTENTIELLE CALCULEE SUR BASE DU PARCELLAIRE 2009 (GISER 2009-2011)

5.2 DETERMINATION DES ROTATIONS CULTURALES 2007-2009 SUR LES PARCELLES AGRICOLES EN REGION WALLONNE

Etant donné le nombre important de libellés de culture au niveau du parcellaire du SIGEC pour les années 2007 à 2009 (80), il a été décidé de créer 11 grandes classes sur base des similitudes qui peuvent exister au niveau des cultures ou des pratiques culturelles.

Les cultures présentant des similitudes avec les cultures suivies lors de la convention GISER 2009-2011, à savoir maïs, betterave, pomme de terre, froment, escourgeon, épeautre, lin et colza ont été regroupées. Une classe prairie a été formée avec toutes les variantes de type prairie. Une classe a également été créée pour les occupations du sol de type arbre. Pour finir tout ce qui ne rentre dans aucune des catégories définies précédemment est assigné à la classe 'Autre' (Tableau 6 et Tableau 7).

La classe 'Autre' représente environ 5% de la SAU. Les libellés de culture qui dominent cette classe sont les cultures maraichères et les céréales de printemps.

Pour chaque parcelle, la culture a été extraite pour les années en 2007, 2008 et 2009 et reclassée. Bien que le parcellaire puisse évoluer d'une année sur l'autre, l'année 2009 a été prise comme année de référence en termes de limites parcellaires. Pour chacune des trois années, la culture est extraite au centroïde de la parcelle.

L'information sur l'occupation du sol pour les trois années a ensuite été fusionnée afin de déterminer la rotation. Les rotations faisant intervenir au moins une culture de type 'Autre' ont toutes été regroupées. Celles faisant intervenir au moins une culture de type 'Arbres' également. Ceci fournit pour 2007-2009, 572 rotations.

TABLEAU 6 : RECLASSIFICATION DES LIBELLES DES CULTURES DES PARCELLAIRES DU SIGEC 2007 A 2009 (1ERE PARTIE)

Libellé SIGEC de la culture	Pourcentage moyen de la SAU de 2007 à 2009		Pourcentage moyen de la SAU hors prairies et assimilés de 2007 à 2009		Reclassé en
<i>Maïs ensilage</i>	8.15	8.71	17.13	18.30	Maïs
<i>Maïs grain</i>	0.56		1.17		
<i>Pomme de terre de consommation</i>	3.44	3.60	7.23	7.56	Pomme de terre
<i>Pomme de terre (plants)</i>	0.14		0.29		
<i>Pomme de terre féculière</i>	0.01		0.03		
<i>Pommes de terre</i>	0.00		0.00		
<i>Betterave fourragère</i>	0.11	7.38	0.23	15.53	Betterave
<i>Betterave sucrière</i>	6.25		13.15		
<i>Chicorée</i>	0.00		0.00		
<i>Chicorée à inuline</i>	1.02		2.14		
<i>Chicorée à café</i>	0.00		0.01		
<i>Froment d'hiver</i>	18.48	18.48	38.84	38.84	Froment
<i>Orge d'hiver</i>	5.03	5.03	10.57	10.57	Escourgeon
<i>Epeautre</i>	1.46	1.46	3.07	3.07	Epeautre
<i>Colza et navette d'hiver</i>	1.34	1.34	2.81	2.83	Colza
<i>Colza fourrager</i>	0.00		0.00		
<i>Colza et navette de printemps</i>	0.01		0.01		
<i>Lin textile</i>	1.32	1.32	2.77	2.77	Lin
<i>Lin oléagineux</i>	0.00		0.00		
<i>Prairie permanente</i>	43.53	52.41	X	X	Prairie
<i>Pâturage à statut particulier</i>	0.29		X		
<i>Prairie temporaire</i>	7.70		X		
<i>Tournière enherbée</i>	0.89		X		
<i>Cultures forestières à rotation courte</i>	0.01	0.25	0.02	0.53	Arbres
<i>Boisement</i>	0.01		0.01		
<i>Terres non agricoles en couvert forestier</i>	0.01		0.02		
<i>Noisetier</i>	0.00		0.00		
<i>Noyer</i>	0.00		0.01		
<i>Sapins de Noël</i>	0.02		0.04		
<i>Cultures fruitières pluri-annuelles</i>	0.20		0.41		
<i>Vignes</i>	0.00		0.00		
<i>Cultures fruitières annuelles</i>	0.01		0.02		

TABLEAU 7 : RECLASSIFICATION DES LIBELLES DES CULTURES DES PARCELLAIRES DU SIGEC 2007 A
2009 (2NDE PARTIE)

Libellé SIGEC de la culture	Pourcentage moyen de la SAU de 2007 à 2009	Pourcentage moyen de la SAU hors prairies et assimilés de 2007 à 2009	Reclassé en
<i>Froment de printemps ou froment alternatif</i>	0.24	0.51	Autre
<i>Orge de printemps</i>	0.53	1.12	
<i>Seigle d'hiver</i>	0.02	0.04	
<i>Seigle de printemps</i>	0.00	0.01	
<i>Avoine</i>	0.57	1.20	
<i>Triticale</i>	0.25	0.53	
<i>Sarrasin</i>	0.00	0.00	
<i>Autres céréales (Sorgho, millet, alpiste et blé dur)</i>	0.01	0.02	
<i>Mélange de céréales</i>	0.25	0.52	
<i>Tournesol</i>	0.00	0.00	
<i>Soja</i>	0.00	0.00	
<i>Pois (récoltés en sec)</i>	0.15	0.32	
<i>Fèves et féveroles (récoltées en sec)</i>	0.03	0.07	
<i>Lupin doux</i>	0.01	0.03	
<i>Trèfle</i>	0.05	0.10	
<i>Luzerne</i>	0.13	0.28	
<i>Autres fourrages</i>	0.45	0.95	
<i>Ortie</i>	0.01	0.02	
<i>Mélange de graminées et légumineuses</i>	0.00	0.00	
<i>Couvert naturel</i>	0.06	0.13	
<i>Couvert de graminées</i>	0.30	0.64	
<i>Couvert de légumineuses</i>	0.01	0.03	
<i>Graminées fourragères uniquement pour la production de semences bio</i>	0.00	0.00	
<i>Couvert graminées + légumineuses</i>	0.22	0.48	
<i>Autres couverts permettant l'utilisation de droits de jachères</i>	0.02	0.05	
<i>Autres couverts semés</i>	0.01	0.03	
<i>Couvert à base d'un mélange certifié</i>	0.05	0.12	
<i>Mélange jachère faune</i>	0.01	0.02	
<i>Chanvre non textile</i>	0.00	0.00	
<i>Chanvre textile</i>	0.00	0.00	
<i>Angélique</i>	0.01	0.01	
<i>Cultures non alimentaires</i>	0.00	0.00	
<i>Chou rouge</i>	0.00	0.00	
<i>Plantes aromatiques</i>	0.00	0.00	
<i>Cultures horticoles non comestibles</i>	0.01	0.03	
<i>Pois (non récoltés en sec)</i>	0.01	0.01	
<i>Fèves et féveroles (non récoltées en sec)</i>	0.01	0.01	
<i>Haricots</i>	0.00	0.00	
<i>Cultures maraîchères</i>	1.65	3.46	
<i>Cultures maraîchères sous verre</i>	0.00	0.00	
<i>Pépinières de plants fruitiers ou de plantes ornementales</i>	0.02	0.04	
<i>Autres couvertures végétales</i>	0.04	0.09	
<i>Autres couverts permettant l'utilisation de droits ordinaires</i>	0.02	0.04	
<i>Tabac</i>	0.00	0.00	
<i>Pépinière de plants forestiers</i>	0.00	0.00	
<i>Plantes médicinales</i>	0.00	0.00	
<i>Miscanthus</i>	0.01	0.02	
<i>Houblon</i>	0.00	0.00	

5.3 DETERMINATION DU FACTEUR C DES ROTATIONS 2007-2009 DES PARCELLES AGRICOLES EN REGION WALLONNE

Un travail de reclassification a été effectué sur les 572 rotations obtenues. Les rotations à 2 cultures de type A-B, qui présentent sur trois ans 1A et 2B ont été regroupées et différenciées des cas de type 1B et 2A. En effet, pour une rotation à 2 cultures, le facteur C n'est différent que dans les cas 1A-2B et 1B-2A et cela quel que soit l'ordre de succession des cultures pour chacune de ces configurations. Pour les rotations à trois cultures, il n'existe que deux combinaisons possibles sur trois ans qui induisent des différences de facteur C. Cependant, ces différences sont de l'ordre du centième. Il a donc été décidé de regrouper les deux combinaisons possibles et d'attribuer une valeur de facteur C moyenne. La valeur de facteur C attribuée à ces rotations est recherchée parmi les 27 principales rotations et variantes définies dans le cadre de la convention GISER 2009-2011.

Pour une occupation du sol de type 'Prairie' sur 3 années, la valeur du facteur C attribuée est de 0.01 (Wischmeier et Smith, 1978). Lorsqu'une ou plusieurs 'Prairie' interviennent dans une rotation avec une culture dont le facteur C est connu, le facteur C de la rotation est défini sur base de la méthodologie employée dans la convention GISER 2009-2011. Les rotations avec deux 'Prairie' et un 'Autre' se sont vues attribuer la valeur de 0.15. Ceci revient à considérer la valeur du facteur C pour 'Autre' à 0.43. Ce chiffre correspond à la valeur moyenne pondérée du facteur C en terme de surface pour les cultures suivies lors de la convention GISER 2009-2011.

Les rotations contenant un élément 'Arbres' (924 parcelles) sont quasi systématiquement des rotations de type 'Arbres'-Arbres'-'X'. La valeur attribuée est une valeur moyenne de 0.20 sur base des facteurs C proposés pour les rotations de type 'Arbres' par Wischmeier et Smith (1978). Ceci correspond à un facteur C pour la catégorie Arbre de 0.10 et un facteur de C de 0.43 (moyenne pondérée du facteur C en terme de surface pour les cultures suivies lors de la convention GISER 2009-2011) pour l'occupation 'X'.

Parmi les rotations restantes, celles composées de cultures dont le facteur C a été établi lors de la convention GISER 2009-2011 et qui représentaient jusqu'à 1% des rotations parcellaires, ont été recherchées. Pour ces rotations, le facteur C a été déterminé suivant l'Equation 3.

Pour toutes les rotations ne répondant à aucun des critères précédents, la détermination du facteur C n'a pu être réalisée. Ceci concerne 47832 parcelles sur 275001 (17.4%) et correspond à 121767 ha sur 770309 ha (15.8%). Les principales rotations pour lesquelles le facteur C n'a pu être déterminé sont les rotations faisant intervenir des cultures maraichères ou des céréales de printemps.

Les 51 rotations pour lesquelles l'identification du facteur C est possible sont présentées au

Tableau 8 et à la Figure 32. Les rotations avec prairie, avec arbres ou à cultures d'hiver sont celles présentant les facteurs C les plus favorables. Ces valeurs sont de l'ordre de 0.01 pour une monoculture de prairie à 0.15 avec au moins une prairie et de 0.20 pour les rotations avec arbres. Pour les combinaisons de céréales d'hiver ou de colza le facteur C se situe aux alentours de 0.37-0.40. Les rotations les moins favorables combinent au moins deux cultures de printemps et se situent aux alentours de 0.50. La carte de la Région wallonne des facteurs C est fournie à la Figure 33.

TABLEAU 8 : VALEURS DU FACTEUR C DES 51 ROTATIONS POUR LESQUELLES LE CALCUL PEUT-ETRE EFFECTUE SUR BASE DES AVANCEES ACTUELLES

<u>Rotation</u>	<u>Facteur C</u>	
Monoculture		
Prairies	0.01	
Maïs	0.55	
Froment	0.42	
Orge (Escourgeon)	0.35	
Rotation à deux cultures		
Froment-Betterave	1F-2B	0.38
	1B-2F	0.40
Froment-Maïs	1M-2F	0.46
	2M-1F	0.50
Froment-Pomme de terre	1Pdt-2F	0.45
	1F-2Pdt	0.49
Froment Lin	1L-2F	0.48
	1F-2L	0.55
Froment-Colza	1C-2F	0.40
	1F-2C	0.38
Froment-Escourgeon	1E-2F	0.40
	1F-2E	0.37
Escourgeon-Pomme de terre	1Pdt-2E	0.40
	1E-2Pdt	0.46
Escourgeon-Lin	1L-2E	0.42
	1E-2L	0.51
Escourgeon-Colza	1C-2E	0.35
	1E-2C	0.36
Epeautre-Betterave	1B-2E	0.41
	1E-2B	0.39
Epeautre-Maïs	1M-2E	0.48
	1E-2M	0.51
Epeautre-Pomme de terre	1Pdt-2E	0.47
	1E-2Pdt	0.50
Betterave - Pomme de terre	1Pdt-2B	0.43
Maïs-Pomme de terre	1Pdt-2M	0.55
Maïs-Prairie	1P-2M	0.31
	1M-2P	0.12
Froment-Prairie	1F-2P	0.12
Escourgeon-Prairie	1E-2P	0.10
Prairie-Autre	1A-2P	0.15
Rotations à trois cultures		
Froment-Betterave-Pomme de terre	0.44	
Froment-Betterave-Maïs	0.44	
Froment-Betterave-Lin	0.46	
Froment-Maïs-Pomme de terre	0.50	
Escourgeon-Betterave-Pomme de terre	0.41	
Escourgeon-Betterave-Lin	0.43	
Escourgeon-Betterave-Pomme de terre	0.47	
Escourgeon-Froment-Pomme de terre	0.43	
Escourgeon-Froment-Lin	0.45	
Escourgeon-Froment-Colza	0.38	
Escourgeon-Froment-Betterave	0.37	
Escourgeon-Froment-Maïs	0.43	
Froment-Epeautre-Maïs	0.47	
Maïs-Froment-Prairie	0.23	
Pomme de terre-Froment-Lin	0.52	
Rotations avec Arbres		
Rotations avec Arbres	0.20	

Facteurs C des 51 rotations

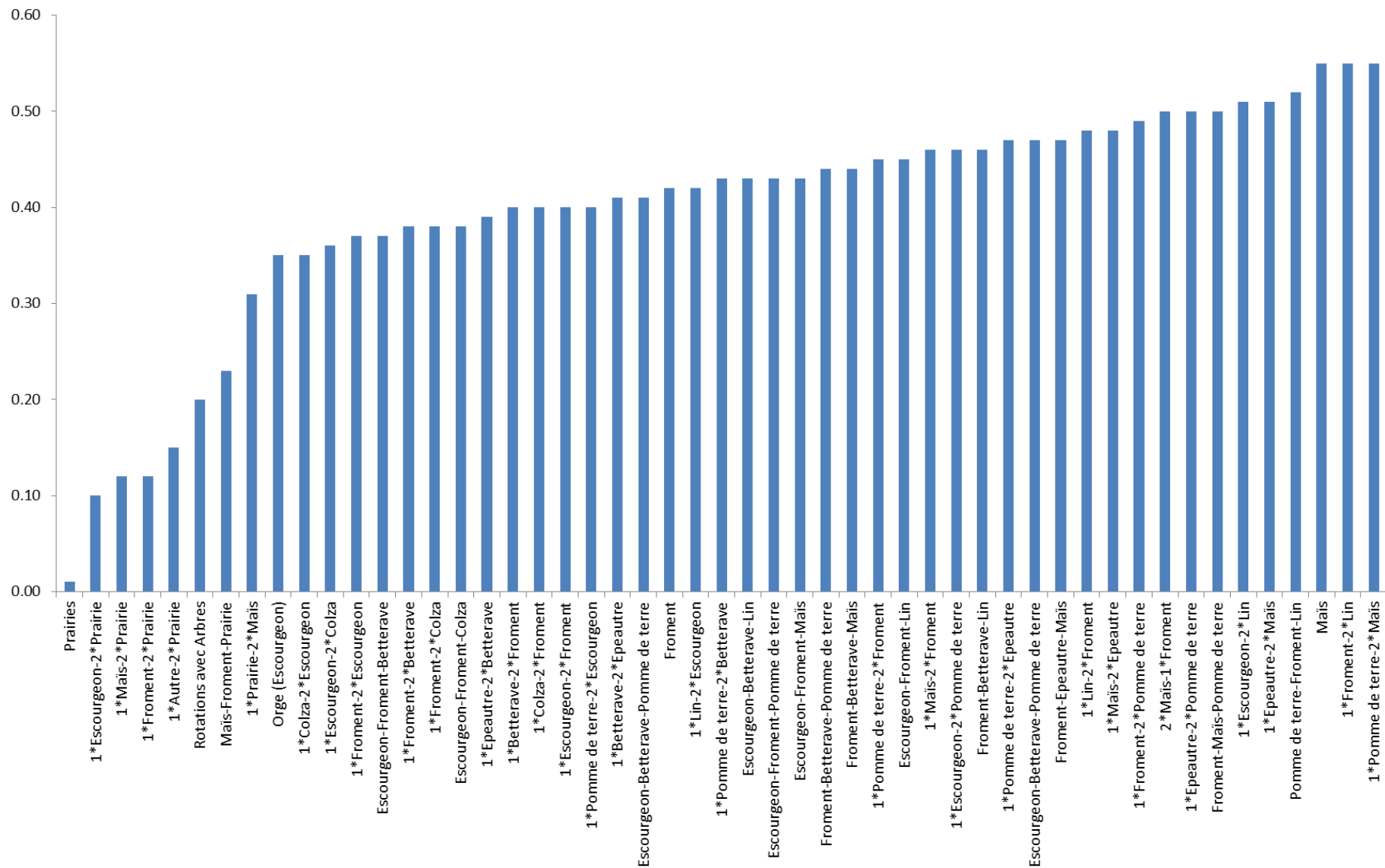


FIGURE 32 : FACTEURS C DES 51 ROTATIONS CLASSES PAR ORDRE CROISSANT

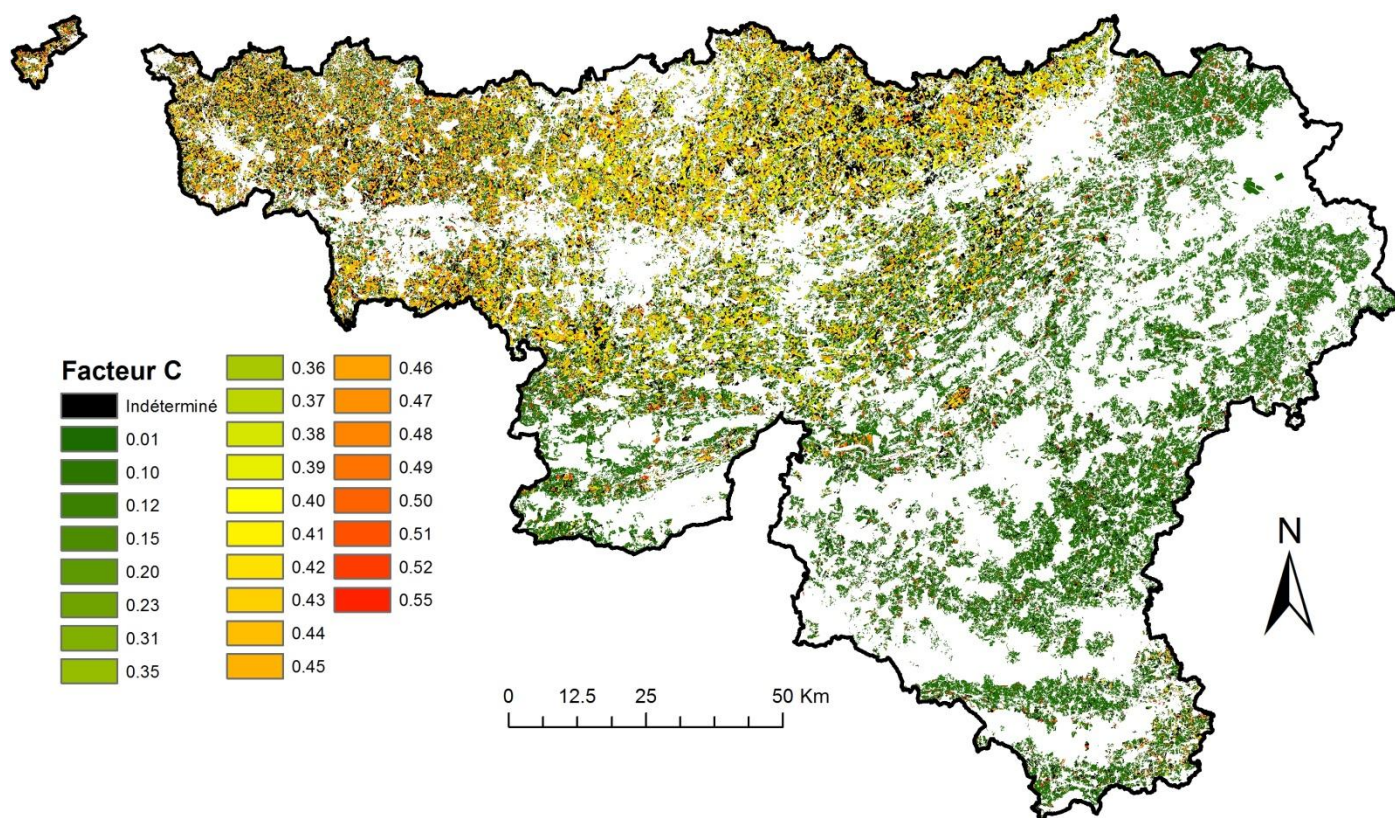


FIGURE 33 : CARTE DES VALEURS DU FACTEUR C POUR LES ROTATIONS 2007-2009. INDETERMINE = ROTATIONS FAISANT INTERVENIR AU MOINS UNE CULTURE POUR LAQUELLE LE FACTEUR C NE PEUT PAS ETRE DETERMINE

La Figure 33 montre la distribution du facteur C des rotations de plus de 80 % des parcelles en Région wallonne. Cette carte indique clairement une scission entre d'une part le Sud de la Wallonie avec une domination des valeurs de facteur C les plus faibles en raison des nombreuses prairies, et d'autre part le Nord avec les valeurs de facteur C les moins favorables en raison de la présence des grandes cultures.

5.4 DETERMINATION DE L'EROSION « REELLE » DES PARCELLES AGRICOLES EN REGION WALLONNE

Nous entendons ici par érosion « réelle », l'érosion imputable à chacune des parcelles agricoles en les considérant comme hydrologiquement isolées, sans tenir compte des phénomènes de redéposition, ni d'éventuelles mesures anti-érosives. Les facteurs pris en compte sont l'érosivité de la pluie, l'érodibilité du sol, la topographie (érosion potentielle) et l'occupation du sol sur 3 années via le facteur C de la rotation. Le résultat du calcul est illustré à l'échelle de la Région wallonne à la Figure 34.

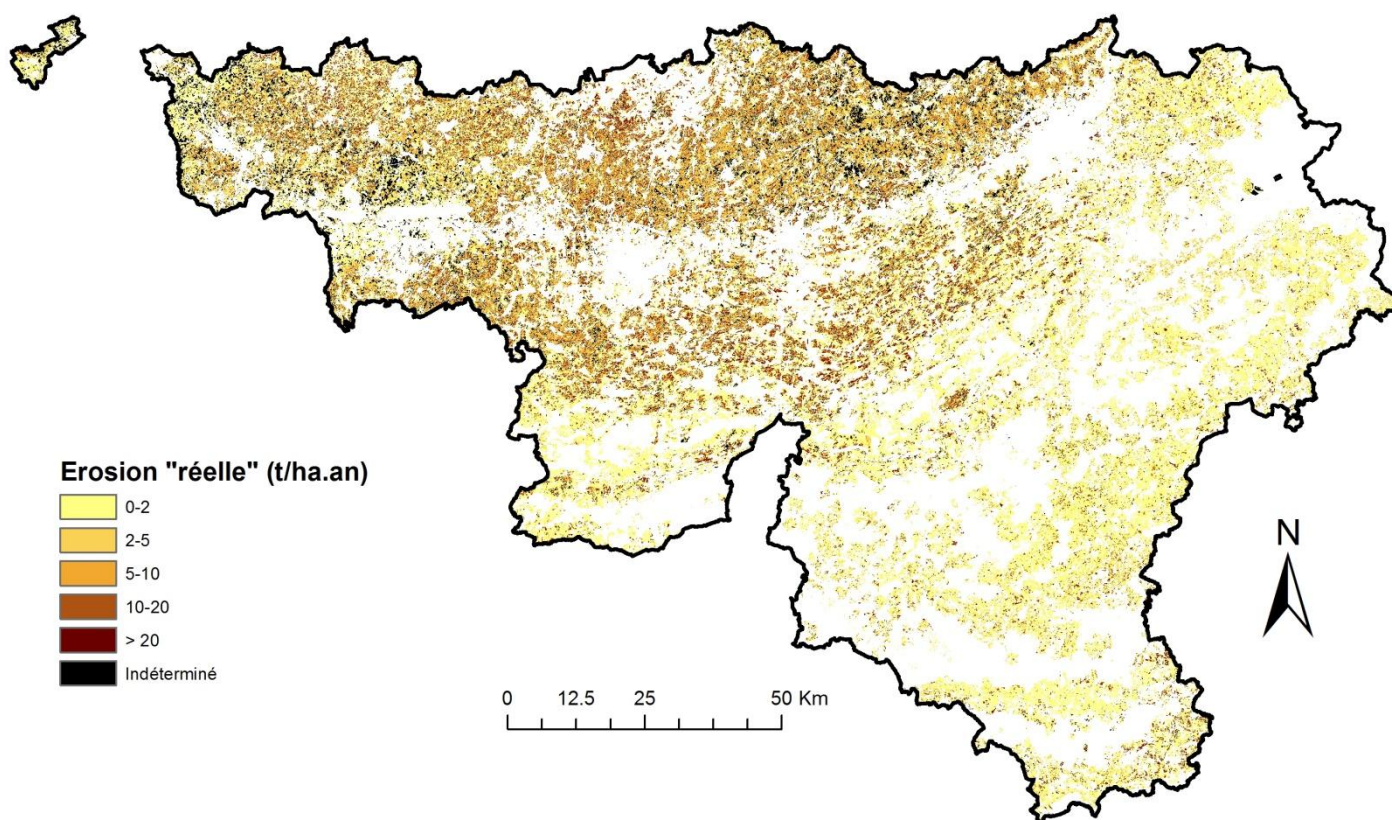


FIGURE 34 : CARTE DE L'EROSION "REELLE" MOYENNE PARCELLAIRE SUR BASE DES ROTATIONS 2007-2009

La Figure 34 montre nettement la scission qui existe entre le Nord et le Sud du pays. La tendance observée pour l'érosion potentielle est totalement inversée. Le Sud qui présente un risque d'érosion potentielle élevé, en raison de pentes plus importantes et d'un climat moins favorable, présente une érosion « réelle » faible comparé au Nord occupé par des grandes cultures qui induisent une érosion « réelle » plus importante

La Figure 35 permet de chiffrer ces différences. Près de 70 % des parcelles qui se situent dans l'ensemble Fagne, Famenne, Ardenne, Haute Ardenne, Région Jurassique et Région Herbagère subissent moins de 2 t/ha.an de perte en sol contre seulement 35% pour l'ensemble Région Limoneuse, Région Sablo-Limoneuse, Campine Hennuyère, Condroz. Le pourcentage de parcelles qui présentent des pertes en sol comprises entre 2 t/ha.an et 20 t/ha.an est de 38% dans le Nord de la Région wallonne, contre 15 % dans le Sud. Pour finir la proportion de parcelles avec plus de 20 t/ha.an de perte en sol se situe pour les 2 ensembles aux alentours de 4%.

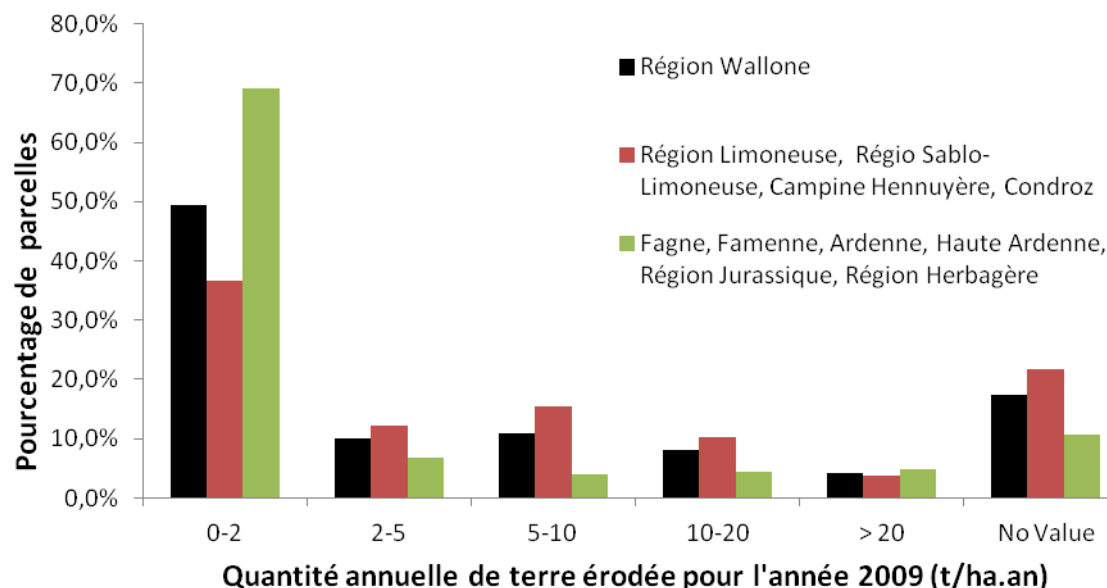


FIGURE 35 : DISTRIBUTION DES PARCELLES SELON LA QUANTITE ANNUELLE DE TERRE ERODEE (T/HA.AN) POUR L'ANNEE 2009 POUR DES PARCELLES CONSIDEREES COMME HYDROLOGIQUEMENT ISOLEES, SANS PRENDRE EN COMPTE LE DEPOT ET LES MESURES ANTI-EROSIVES

5.5 CONCLUSIONS

L'érosion « réelle » du parcellaire agricole de la Région wallonne peut être déterminée en intégrant au calcul de l'érosion potentielle le facteur C de la rotation. Cette érosion « réelle » ne prend pas en compte les phénomènes de sédimentation au sein de la parcelle, ni les mesures anti-érosives éventuelles et considère les parcelles comme hydrologiquement isolées.

Sur base du travail effectué dans la convention GISER 2009-2001 et à partir de regroupements, il est possible de déterminer l'érosion « réelle » pour plus de 80 % des parcelles de la Région Wallonne. Les données manquantes concernent essentiellement, les céréales de printemps et les cultures maraîchères.

Le calcul de l'érosion « réelle » pour les rotations triennales 2007-2009 montre que la partie Nord de la Région malgré un potentiel érosif plus faible que la partie Sud est plus exposée aux pertes en sol en raison de rotations favorables à l'érosion du sol. Au contraire, la partie Sud de la Wallonie malgré un relief et un climat plus favorable à l'érosion, présente des taux d'érosion faibles dus à une occupation du sol avec une grande proportion de prairies. Dans cette partie de la Wallonie, la mise en culture entraîne cependant en général des taux d'érosion importants. Ce chapitre met en évidence le rôle prépondérant de l'occupation du sol, du choix des rotations et des cultures dans la gestion du risque érosif.

6 IDENTIFICATION DES SEUILS D'INCISION

Dans le cadre de la convention GISER 2009-2011, un travail sur l'identification des seuils d'incision résultant des phénomènes de ravinement a été entrepris. Ce travail a donné lieu à un mémoire de fin d'études (Vandyck, 2011) ayant permis d'obtenir une première série de résultats et se poursuit dans la convention cadre actuelle.

Le premier chapitre de cette section consiste en un rappel des acquis de la convention GISER 2009-2011. Les chapitres suivants présentent la base de données constituée, les résultats obtenus ainsi que les points qui seront développés dans la suite de la convention-cadre.

La détermination empirique des seuils d'incision doit permettre d'identifier les zones sensibles à l'érosion concentrée de manière à y renforcer la conditionnalité ou à y conseiller les aménagements les plus adaptés. Pour atteindre cet objectif, une base de données reprenant les caractéristiques d'un ensemble de ravines doit être constituée. Cette base de données peut ensuite être utilisée afin d'identifier les paramètres responsables du ravinement et, à terme, de déterminer des conditions seuils à partir desquelles l'incision est susceptible de se produire effectivement.

6.1 RAPPEL DES ACQUIS DE LA CONVENTION GISER 2009-2011

6.1.1 CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES « ORTHOPHOTOPLANS »

Afin d'identifier les contextes ou facteurs favorables à l'occurrence de phénomènes d'érosion concentrée, une base de données de ravines a été constituée en digitalisant les ravines sur base des orthophotoplans 2006 dans trois régions agricoles différentes.

Les éléments qui ont guidé le choix des 3 zones ont été :

- assurer une variabilité de climats, types de sol, pratiques agricoles et conditions topographiques ;
- la période de prise de vue des orthophotoplans (entre la fin mai et la mi-juillet). Il s'agit des dates où l'ensemble des cultures (hiver et printemps) est en place et où les pluies sont fortement érosives ;
- une superficie minimum pour chaque zone étudiée afin de digitaliser un nombre significatif de ravines pour établir des statistiques ;

Une quatrième zone a été définie afin d'évaluer la récurrence des ravines en digitalisant les ravines sur base de jeux d'orthophotoplans de différentes années. Cette zone a été définie en fonction de la disponibilité, pour une même zone des jeux d'orthophotoplans du PPNC, 2006-2007, 2009-2010 à des dates de prise de vue potentiellement intéressantes et couvrant un nombre important de parcelles en culture. La localisation des 4 zones est présentée à la Figure 36.

La zone 1 se situe en Région limoneuse, la zone 2 en Famenne et la zone 3 en Région jurassique. Le Tableau 9 présente les caractéristiques de ces trois zones. La zone utilisée pour évaluer la récurrence (zone 4) se situe à cheval sur la Région limoneuse et le Condroz et est présentée au Tableau 10.

TABLEAU 9: CARACTERISTIQUES DES ZONES RETENUES POUR LA DETERMINATION DES SEUILS D'INCISION

Numéro de la zone	Région agricole	Dates des orthophotoplans	Superficie de la zone (ha)	Superficie de la zone en culture (ha)	% de la superficie de la zone occupée par des cultures	Nombre de parcelles cultivées	Taille moyenne des parcelles en culture (ha)	Pente moyenne des parcelles en culture (%)
1	Limoneuse	2/07/2006	24654	13917	56%	4417	3.15	3.59
2	Famenne	17/06/2006 2/07/2006	29161	3737	13%	1370	2.73	4.98
3	Jurassique	10/06/2006	27939	4398	16%	2315	1.90	6.29

Remarque : par « parcelle en culture ou cultivée », on entend tous les types d'occupation hors prairies permanentes ou temporaires et tournières enherbées

TABLEAU 10: CARACTERISTIQUES DE LA ZONE ET DES JEUX D'ORTHOPHOTOPLANS RETENUS POUR LA DETERMINATION DE LA RECURRENCE DES PHENOMENES D'EROSION CONCENTREE

Jeux d'orthophotoplans	Résolution	Dates des orthophotoplans	Superficie de la zone (ha)	Superficie de la zone en culture (ha)	% de la superficie de la zone occupée par des cultures	Nombre de parcelles cultivées	Taille moyenne des parcelles en culture (ha)
PPNC	40 cm	29/07/1999 13/06/2000	23816	10972 (10058 et 914)	46%	3015 (2705 et 310)	3.64
2006-2007	50 cm	2/07/2006		11668	49%	3145	3.71
2009-2010	25 cm	23/05/2009		12004	50%	2795	4.29

Remarque : par « parcelle en culture ou cultivée », on entend tous les types d'occupation hors prairies permanentes ou temporaires et tournières enherbées

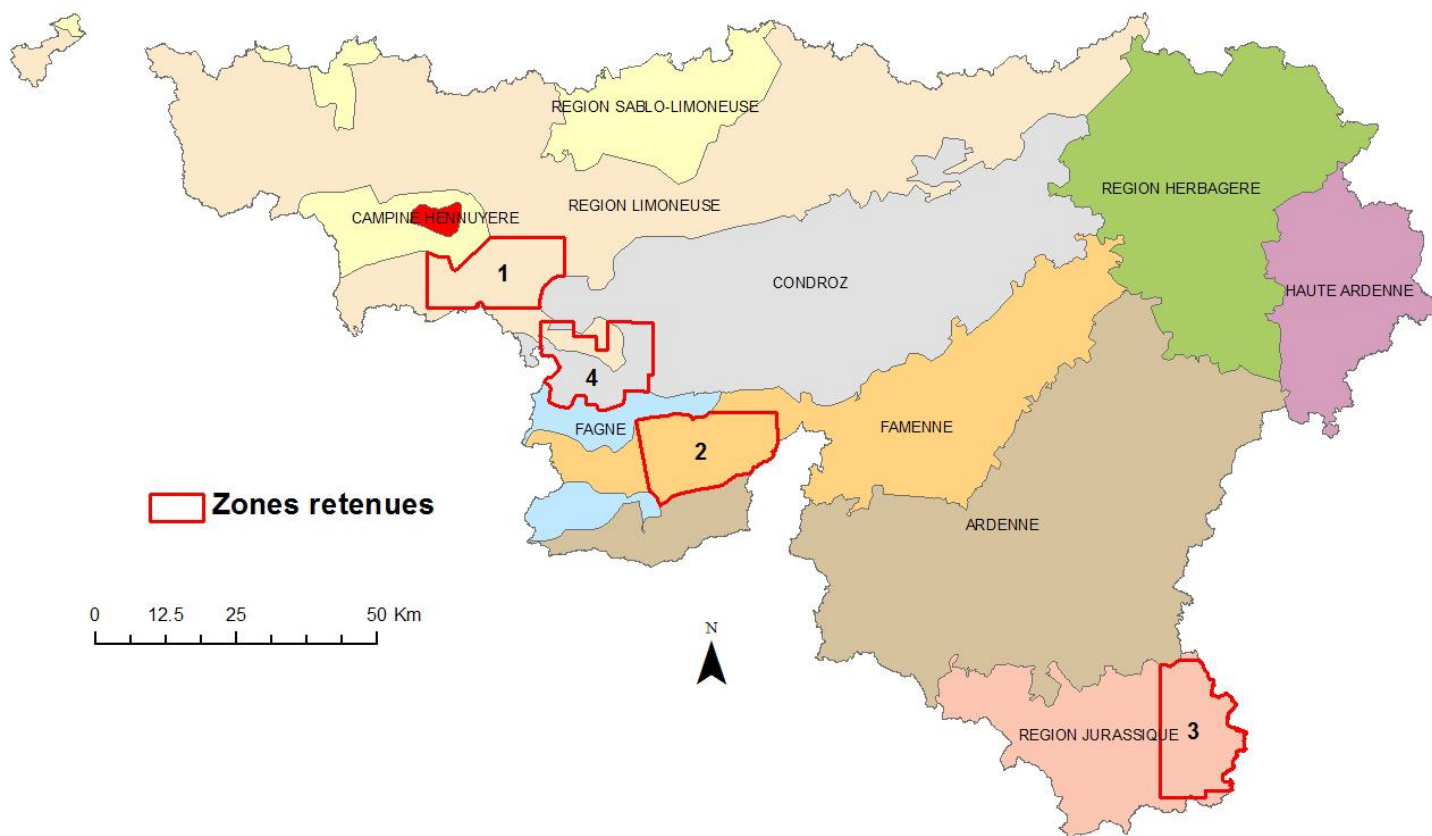


FIGURE 36 : ZONES RETENUES POUR LA DETERMINATION DES SEUILS D'INCISION (ZONES 1 A 3) ET POUR L'EVALUATION DE LA RECURRENCE DES RAVINES (ZONE 4)

Les dates de prise de vue pour les 3 régions se situent entre le 10 juin et le 2 juillet, c'est-à-dire de la fin du printemps au début de l'été. Les orthophotoplans à cette date comportent donc aussi bien des parcelles avec des cultures de printemps (betterave, pomme de terre, maïs) que des parcelles avec cultures d'hiver (froment, escourgeon, etc...). Il est plus que probable que les traces d'érosion qui se sont développées lors de l'hiver sur les cultures d'hiver soient encore visibles. Pour les ravines observées en culture de printemps, celles-ci sont nécessairement postérieures au semis de la culture.

La zone en Région limoneuse présente un taux d'occupation du sol par les cultures important (56%). La Famenne et la Région jurassique montrent des taux plus faibles et similaires, respectivement 13% et 16 %. En termes de parcelles cultivées, la zone 1 en Région limoneuse compte environ 2 fois plus de parcelles que la zone 3 en Région jurassique et 3 fois plus que pour la zone 2 en Famenne. Les parcelles sont en moyenne également les plus grandes en Région limoneuse (3.15 ha en moyenne) devant la Famenne (2.73 ha) et la Région jurassique (1.90 ha). Concernant les pentes des parcelles cultivées, ces dernières sont en moyenne bien plus importantes en Région jurassique (6.29 %) qu'en Région limoneuse (3.59%). La Famenne présente quant à elle une valeur moyenne de pente de 4.98%. La zone 4 délimitée pour étudier la récurrence des ravines présente des caractéristiques proches de la zone 1 en Région limoneuse avec une variabilité interannuelle modérée.

6.1.2 PRESENTATION DE LA BASE DE DONNEES « ORTHOPHOTOPLANS »

Pour chacune de ces zones, les ravines observées ont été digitalisées. Chaque ravine est digitalisée sous forme d'une ligne et est classée parmi les 14 types de ravine possibles. La classification distingue d'une part les ravines ramifiées, c'est-à-dire celles présentant plus de deux branches, et d'autre part les ravines non ramifiées. Dans chacun de ces groupes, on retrouve les 7 mêmes classes à savoir :

- les ravines initiées par un élément anthropique (traces de roue, fourrière, talus...) qui a favorisé l'accumulation du ruissellement (classe 1);
- les ravines se développant sur un axe de concentration (classe 2)
- les ravines se développant sur un axe de concentration mais dont le parcours est ensuite influencé par d'autres facteurs que des facteurs topographiques (classe 3)
- les ravines se développant en dehors d'un axe de concentration perpendiculairement aux courbes de niveau (classe 4)
- les ravines se développant en dehors d'un axe de concentration perpendiculairement aux courbes de niveau et dont le parcours est ensuite influencé par d'autres facteurs que des facteurs topographiques (classe 5)
- les rigoles (trace d'érosion inférieure à deux pixels de large) avec un parcours purement lié à la topographie (classe 6)
- les rigoles (trace d'érosion inférieure à deux pixels de large) avec un parcours influencé par d'autres facteurs (classe 7).

6.2 TRAITEMENT DE LA BASE DE DONNEES

Pour le traitement de la base de données, les ravines ont été regroupées selon 4 types à savoir les ravines sur axe de concentration (classes 2 et 3), les ravines hors axe de concentration (classes 4 et 5), les rigoles (classes 6 et 7) et les ravines initiées par un élément anthropique (classe 1). Ceci se justifie par le fait que l'on s'intéresse principalement aux caractéristiques du point d'incision des ravines.

6.2.1 DIFFERENCES ENTRE RÉGIONS AGRICOLES

6.2.1.1 Nombre et longueur totales de ravines selon le type de ravine

Les nombres et longueurs totales de ravines ont été normalisés par la SAU de chacune des régions (

Tableau 11). Cette normalisation montre que la Région limoneuse présente le nombre de ravines par hectare de SAU la plus importante (0.016 ravines/ha) juste devant la Région jurassique (0.014 ravines/ha) et la Famenne (0.005 ravines/ha). Si l'on ramène le nombre de ravines par unité de surface en culture, la Région jurassique présente le ratio le plus élevé avec 0.037 ravines /ha devant la Région limoneuse et la Famenne. Cela se traduit également en termes de longueur, puisque la Région jurassique présente par surface en culture une longueur de 3.08 m contre 2.56 m et 1.69 m pour respectivement la Région limoneuse et la Famenne.

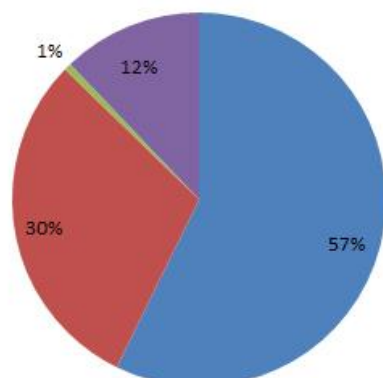
TABLEAU 11 : NOMBRE ET LONGUEUR DE RAVINES PAR HECTARE DE SURFACE AGRICOLE ET DE CULTURE SELON LA REGION

Région agricole	Nombre de ravines par ha de SAU	Nombre de ravines par ha de culture	Longueur de ravines par ha de SAU (m/ha)	Longueur de ravines par ha de culture (m/ha)
Limoneuse	0.016	0.020	2.02	2.56
Famenne	0.005	0.016	0.53	1.69
jurassique	0.014	0.037	1.14	3.08

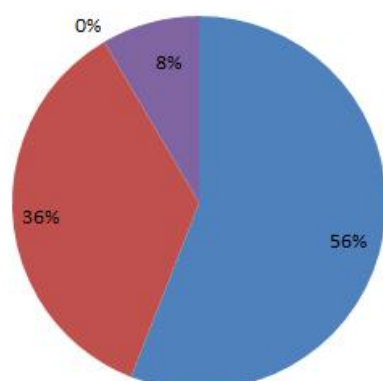
Remarque : par culture on entend tous les types d'occupation hors prairies permanentes ou temporaires

Les répartitions du nombre et de la longueur totale de ravines selon le type de ravines sont présentées à la Figure 37 et à la Figure 38. Les trois régions se distinguent par l'importance des rigoles qui atteint $\frac{1}{4}$ du nombre d'incisions pour la Région jurassique contre 3% en Région limoneuse et qui sont absentes en Famenne. Pour chacune des régions, le nombre de ravines initiées par un effet autre que topographique est limité. Les ravines sont en majorité soit des ravines sur un axe de concentration, soit des ravines de pente (hors axe de concentration).

REGION LIMONEUSE
Longueur totale de ravines : 35612 m



FAMENNE
Nombre total de ravines : 59



■ Sur axe de concentration

■ Hors axe de concentration

■ Rigoles

■ Initiée par un élément anthropique (trace de roue, fourrière, talus...)

REGION JURASSIQUE
Nombre total de ravines : 161

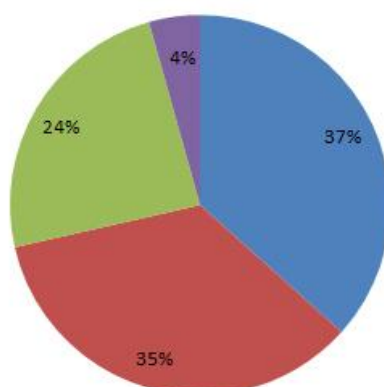
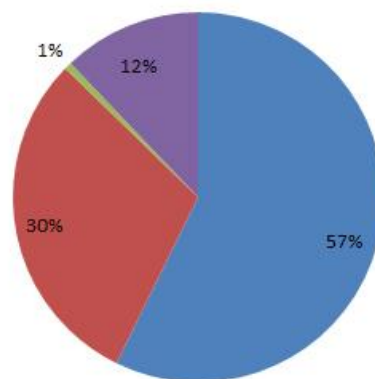
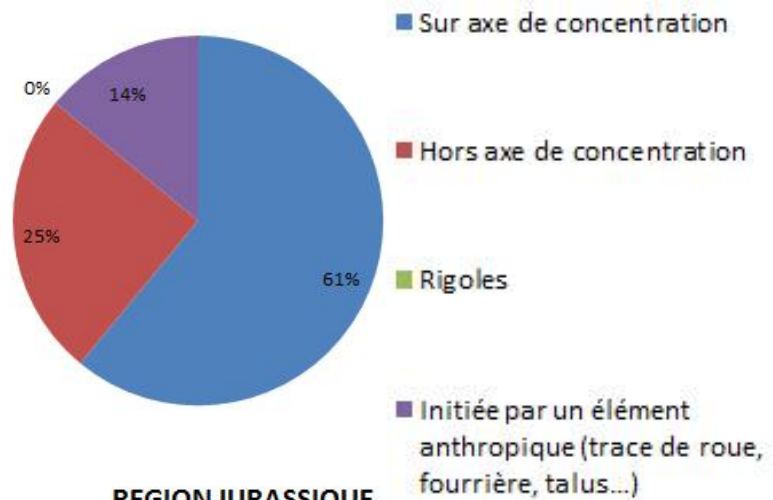


FIGURE 37: REPARTITION DU NOMBRE DE RAVINES SELON LE TYPE DE RAVINES ET LA REGION AGRICOLE

REGION LIMONEUSE
Longueur totale de ravines : 35612 m



FAMENNE
Longueur totale de ravines : 6332 m



REGION JURASSIQUE
Longueur totale de ravines : 13000 m

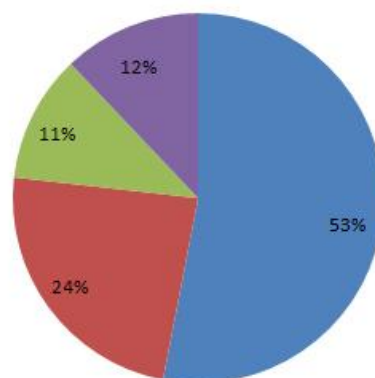


FIGURE 38: REPARTITION DE LA LONGUEUR TOTALE DE RAVINES SELON LE TYPE DE RAVINES ET LA REGION AGRICOLE

La comparaison de la Figure 37 et de la Figure 38 indique que les rigoles et ravines hors axe de concentration sont plus courtes que les ravines sur axe de concentration et celles initiées par un effet anthropique. Ceci est confirmé par les longueurs moyennes calculées et recensées au Tableau 12.

TABEAU 12 : LONGUEUR MOYENNE DES RAVINES SELON LE TYPE DE RAVINE ET LA REGION AGRICOLE

	Tous types de ravine (m)	Ravines sur axe de concentration (m)	Ravines hors axe de concentration (m)	Rigoles (m)	Ravines initiées par un élément anthropique (m)
Limoneuse	126.28 (±103.75)	169.97 (±119.09)	83.43 (±60.60)	25.15 (±4.82)	172.39 (±100.84)
Famenne	107.31 (±73.46)	117.00 (±81.14)	75.40 (±36.97)	X	177.43 (±68.41)
jurassique	84.04 (±99.90)	121.63 (±101.14)	57.39 (±38.68)	38.66 (±18.47)	233.18 (±279.57)

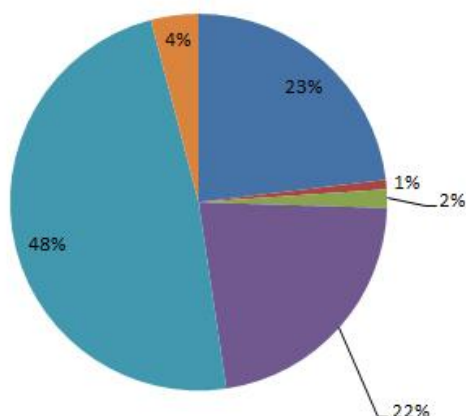
La longueur moyenne des ravines semble corrélée avec la taille moyenne des parcelles puisqu'elles sont les plus longues en Région limoneuse suivie de la Famenne et de la Région jurassique. Les ravines les plus longues dans les trois régions sont les ravines initiées par un effet anthropique. Ceci semble logique puisque l'écoulement est conditionné par un effet anthropique avec comme conséquence que le chemin d'écoulement est souvent plus long que si l'eau avait pu suivre le gradient topographique le plus fort. Les ravines sur axe de concentration sont plus longues que celles qui se développent sur les versants. Pour finir, les rigoles sont les formes d'érosion concentrée les plus courtes.

6.2.1.2 Nombre de points d'incision et longueur de ravine selon l'occupation du sol

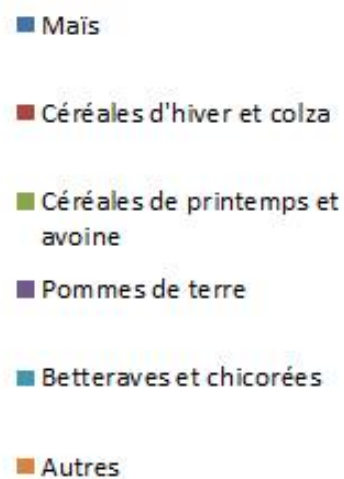
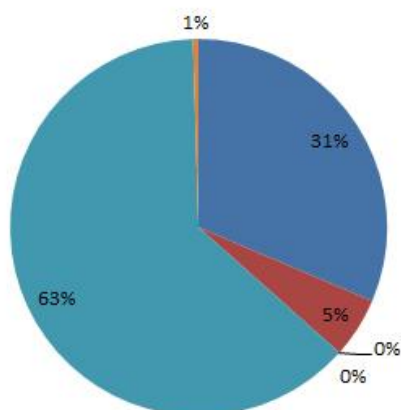
Les points d'incision de chacune des ravines sont déterminés en identifiant l'extrémité de la ravine sur base de l'altitude la plus élevée. L'occupation du sol pour chacun des points d'incision a été relevée. Six catégories d'occupation du sol ont été définies pour la zone agricole à savoir 1) le maïs, 2) les céréales d'hiver et colza, 3) les céréales de printemps et avoine, 4) les betteraves et chicorées, 5) les pommes de terre et 6) une catégorie « Autres » regroupant les prairies et autres types de culture n'appartenant à aucune des catégories précédentes. Le nombre de points d'incision pour chacun des types d'occupation du sol a été ramené à la surface que représente chacune des occupations du sol. Les résultats sont présentés à la Figure 39.

Les points d'incision pour les trois régions agricoles se situent en majorité dans les trois grandes cultures de printemps, à savoir la betterave, le maïs et la pomme de terre. Pour la Région limoneuse et la Famenne, les points d'incision sont en grande majorité situés en betterave alors qu'ils se trouvent principalement en maïs pour la Région jurassique. Notons que la Famenne ne présente pas de points d'incision en pomme de terre car cette culture ne représente que 2.79 ha dans la zone d'étude. La proportion de points d'incision en culture d'hiver au regard de la superficie que ces dernières représentent est très faible. Cependant, les points d'incision représentent tout de même 19% des points d'incision en Région jurassique, 17 % en Famenne et seulement 3% en Région limoneuse.

REGION LIMONEUSE
Points d'incision par ha de zone agricole : 0.016



FAMENNE
Points d'incision par ha de surface agricole : 0.005



REGION JURASSIQUE
Points d'incision par ha de surface agricole : 0.014

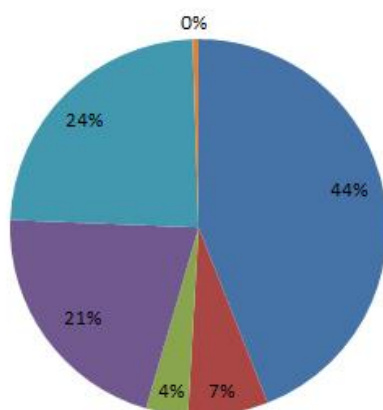
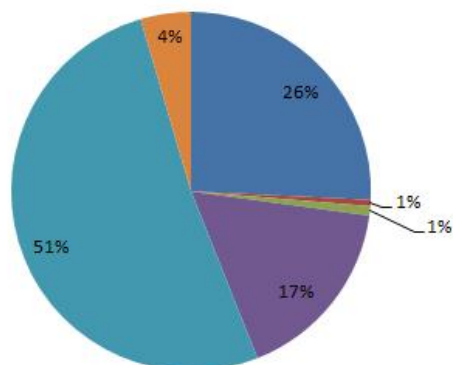
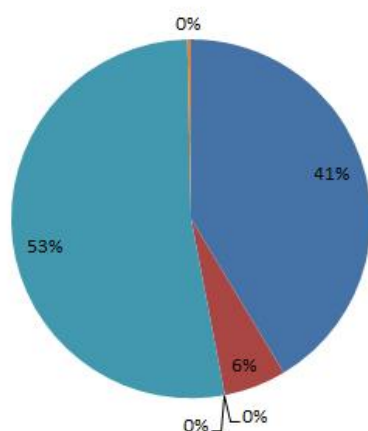


FIGURE 39: REPARTITION DES POINTS D'INCISION PAR UNITE DE SURFACE AGRICOLE SELON LE TYPE D'OCCUPATION DU SOL ET LA REGION AGRICOLE

REGION LIMONEUSE
Longueur par ha de zone agricole : 2.02 m/ha



FAMENNE
Longueur par ha de surface agricole : 0.53 m/ha



- Maïs
- Céréales d'hiver et colza
- Céréales de printemps et avoine
- Pommes de terre
- Betteraves et chicorées
- Autres

REGION JURASSIQUE
Longueur par ha de surface agricole : 1.14 m/ha

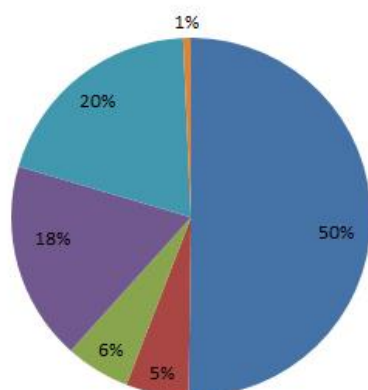


FIGURE 40: REPARTITION DES LONGUEURS DE RAVINE PAR UNITE DE SURFACE AGRICOLE SELON LE TYPE D'OCCUPATION DU SOL ET LA REGION AGRICOLE

La répartition des points d'incision par type d'occupation du sol montre que les ravines s'initient principalement dans les cultures de printemps. La répartition des longueurs de ravines par type d'occupation du sol montre que les ravines sont également principalement localisées dans ce type de culture (Figure 40). Cela laisse à penser que la plupart des ravines s'initient et se développent au sein d'une même parcelle. Ceci est confirmé par le recensement du nombre de parcelles traversées par une même ravine pour les différentes régions (Tableau 13).

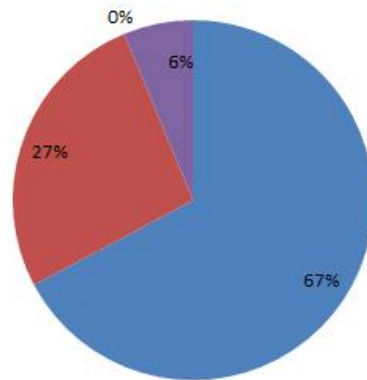
TABLEAU 13 : NOMBRE DE PARCELLES TRAVERSEES PAR UNE MEME RAVINE POUR LES DIFFERENTES REGIONS AGRICOLES

Région agricole	Nombre de parcelles traversées par une même ravine			
	1	2	3	≥4
Limoneuse	71%	19%	6%	3%
Famenne	71%	19%	7%	3%
jurassique	76%	16%	6%	1%

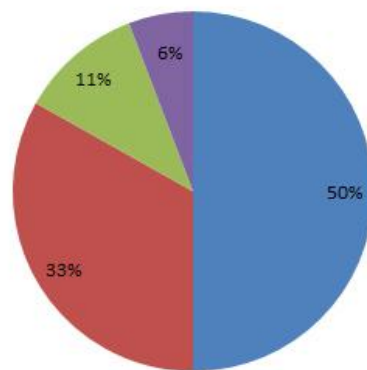
6.3 EVALUATION DE LA RECURRENCE DES RAVINES

Afin de caractériser la récurrence du ravinement et, le cas échéant, les caractéristiques environnementales conduisant à la répétition du phénomène d'une année sur l'autre, une zone a été délimitée à cheval sur la Région limoneuse et le Condroz en raison de la disponibilité des orthophotoplans sur plusieurs années à une date de prise de vue intéressante et pour une surface suffisamment importante. La Figure 41 et la Figure 42 montrent que la classe dominante de ravines quelle que soit l'année est la classe des ravines se développant sur un axe de concentration. Viennent ensuite les ravines hors axe de concentration, les rigoles et les ravines initiées par un effet anthropique. L'importance relative de ces classes varie toutefois d'une année à l'autre. On remarque notamment que pour le jeu d'orthophotoplans 1999-2000, on ne recense pas de rigoles. Ceci est certainement dû à la qualité des images. En effet ces images, bien que présentant une résolution tout à fait correcte et supérieure aux orthophotoplans 2006, ont un rendu visuel moins net que les autres jeux d'orthophotoplans, rendant difficile le repérage des rigoles.

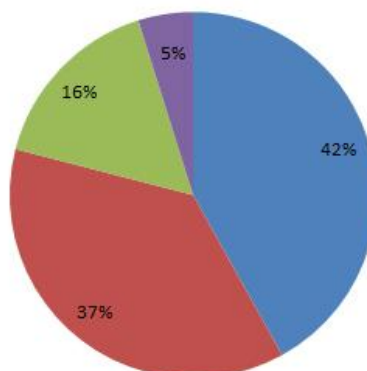
1999-2000
Nombre total de ravines : 128



2006
Nombre total de ravines : 190



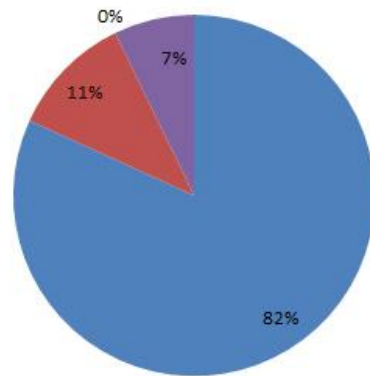
2009
Nombre total de ravines : 124



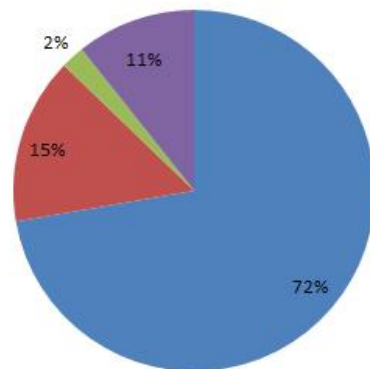
- Sur axe de concentration
- Hors axe de concentration
- Rigoles
- Initiée par un élément anthropique (trace de roue, fourrière, talus...)

FIGURE 41: REPARTITION DU NOMBRE TOTALE DE RAVINES SELON LE TYPE DE RAVINES ET L'ANNEE CONSIDEREE DANS LA ZONE 4

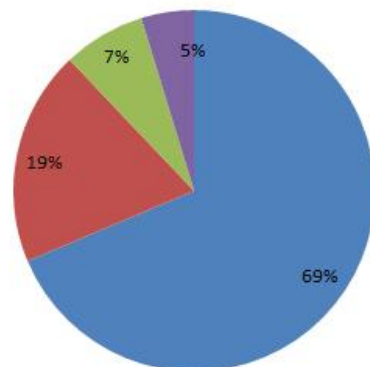
1999-2000
Longueur totale de ravines : 17681 m



2006
Longueur totale de ravines : 25851 m



2009
Longueur totale de ravines : 14360 m



- Sur axe de concentration
- Hors axe de concentration
- Rigoles
- Initiée par un élément anthropique (trace de roue, fourrière, talus...)

FIGURE 42: REPARTITION DE LA LONGUEUR TOTALE DE RAVINES SELON LE TYPE DE RAVINES ET L'ANNEE CONSIDEREE DANS LA ZONE 4

Le Tableau 14 reprend les pourcentages de ravines en commun entre les différents jeux d'orthophotoplans. Pris 2 à 2, les jeux d'orthophotoplans présentent des taux de récurrence de 17% à 38%. Si l'on considère les 3 jeux de données simultanément, les taux de récurrence sont de l'ordre de 12% et 18%. Ces ravines récurrentes sont dans leur grande majorité (82 à 92%) des ravines se développant sur un axe de concentration (Tableau 15). Ceci met en évidence le rôle prépondérant de la topographie dans le développement des ravines. Cependant, les taux de récurrence du Tableau 14 montrent que la majorité des ravines ne se reforment pas au même endroit d'une année à l'autre. Cela signifie que, si l'aspect topographique est important, il ne faut pas négliger les autres aspects environnementaux comme l'occupation du sol ou bien les précipitations.

TABLEAU 14 : POURCENTAGE DE RAVINES EN COMMUN ENTRE LES DIFFERENTS JEUX D'ORTHOPHOTOPLANS

	1999-2000	2006	2009	Sur les trois années
1999-2000	100%	38%	26%	18%
2006	26%	100%	17%	12%
2009	26%	25%*	100%	18%

* : les orthophotoplans 2009 présentent 25% de leurs ravines en commun avec les orthophotoplans 2006 pour la zone considérée

TABLEAU 15 : REPARTITION DES RAVINES COMMUNES A 2 OU 3 JEUX D'ORTHOPHOTOPLANS ENTRE LES DIFFERENTS TYPES DE RAVINES

Type de ravine	Ravines sur axe de concentration	Ravines hors axe de concentration	Rigoles	Ravines initiées par un élément anthropique
1999-2000/2006	82%	14%	0%	4%
1999-2000/2009	88%	6%	0%	6%
2006/2009	84%	16%	0%	0%
Sur les trois années	92%	4%	0%	4%

6.4 DÉFINITION DU SEUIL D'INCISION

Différentes méthodes de seuillage permettant de définir le seuil d'incision ont été comparées. Pour chacune des régions agricoles, le « seuil topographique » d'incision des ravines a été défini. La variabilité dans le temps du seuil topographique a été évaluée sur base de la région 4 pour laquelle 3 jeux d'orthophotoplans ont été analysés.

6.4.1 SEUILS D'INCISION TOPOGRAPHIQUE

6.4.1.1 Methodologie

Les travaux que l'on retrouve dans la littérature scientifique sur les seuils d'incision des ravines se concentrent sur les seuils topographiques. Ces seuils sont définis sur base des valeurs de pente et d'aire contributive (surface drainée) déterminées au niveau des têtes de ravines (points d'incision). Ces couples de valeurs sont représentés dans un graphique avec des échelles semi-logarithmiques. Diverses méthodes présentées plus loin peuvent ensuite être utilisées pour définir le seuil topographique.

Ces seuils ont été déterminés pour les 3 régions agricoles, uniquement pour les ravines se développant sur un axe de concentration. En effet, ces ravines sont initiées par un effet purement topographique et présentent des aires contributives significatives au regard de la résolution du Modèle Numérique de Terrain. Pour rappel, ce type de ravines représente selon la région agricole considérée 37 à 56% du nombre total de ravines et 53 à 61% de la longueur totale de ravines. Dans cette catégorie de ravines, seules les ravines dont l'aire contributive n'est pas traversée par une route recensée par l'Atlas des rues de la base de données NavStreets ont été retenues. En effet, sur base des orthophotoplans, il n'est pas possible de prédire l'influence d'une route sur l'écoulement des eaux au sein de l'aire contributive d'une ravine.

Pour chacune des ravines répondant aux critères définis ci-dessus, la valeur de l'aire contributive a été recherchée dans la couche du Flow Accumulation de la Région wallonne. Cette aire contributive est recherchée pour le point qui, dans un rayon de 25 m autour du point d'incision, présente la valeur d'accumulation de flux la plus élevée. A ce point, la valeur de la pente a également été relevée. Cette méthode permet d'obtenir une valeur d'aire contributive très proche de celle obtenue en dessinant l'aire contributive manuellement (Figure 43, Van Dyck, 2011).

On retrouve dans la littérature plusieurs méthodes qui permettent de définir le seuil topographique. Ces méthodes ont été appliquées aux données relatives aux ravines en Région limoneuse et sont comparées (Figure 44). La méthode la plus répandue dans la littérature est la méthode de Patton et Schumm (1975). Elle consiste à faire passer le seuil par les points les plus bas du nuage de points. Cependant, la détermination des points les plus bas est souvent très subjective. De plus cette méthode est peu robuste car elle ne dépend généralement que de 2 points. Elle est donc très sensible à la présence de valeurs aberrantes ('outliers') liées aux potentielles erreurs de détection des ravines et à la précision de la détermination des têtes de ravines et des valeurs d'aire contributive et de pente.

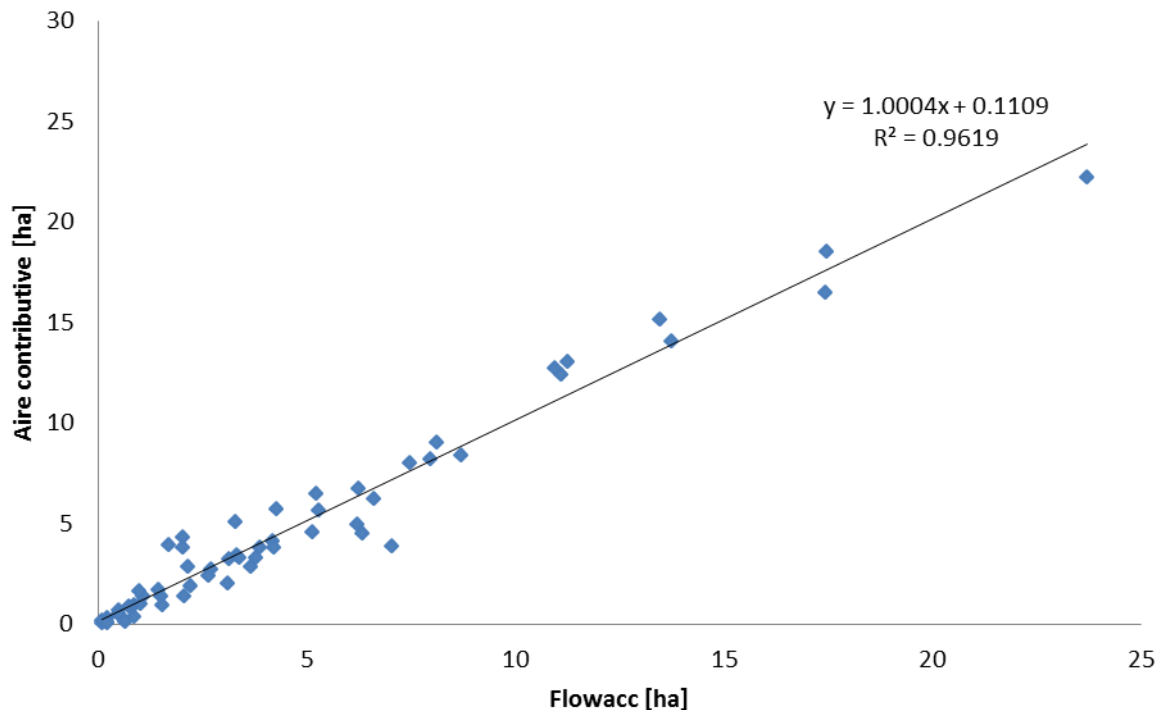


FIGURE 43 : COMPARAISON ENTRE LES AIRES CONTRIBUTIVES DETERMINEES MANUELLEMENT A PARTIR DU POINT D'INCISION DES RAVINES ET LES VALEURS DU FLOWACC OBTENUES PAR UN BUFFER DE 25 M

La seconde méthode testée est celle de Vanwalleghe et al. (2005) qui consiste à faire passer la droite de régression du nuage de points par le point le plus bas. Cette méthode est plus robuste que la méthode de Patton et Schumm (1975) car la pente de la droite repose sur le comportement moyen des données. Cependant, l'ordonnée à l'origine de la droite reste particulièrement sensible aux outliers puisqu'elle est conditionnée par un seul point.

La troisième méthode que l'on retrouve dans la littérature est celle de Vandekerckhove et al. (1998). Elle consiste à abaisser la droite de régression du nuage de points de manière à n'inclure que 95 % des points au-dessus de la droite. Cette approche permet de s'affranchir du biais qui serait introduit par la présence potentielle d'outliers. Cependant, une limitation de cette méthode est que la pente du seuil représente le comportement moyen de l'ensemble des points du jeu de données et non pas le comportement des données se situant à la limite du nuage de points. Pour remédier à cela, il est proposé de procéder à une régression quantile. La régression quantile se base sur les données d'un quantile prédéfini et reflète le comportement moyen des points appartenant à ce quantile. Cette régression a donc été appliquée au quantile 0.05 de manière à conserver 95% des points au-dessus du seuil et de s'affranchir de possibles données erronées à l'instar de la méthode de Vandekerckhove et al. (1998). La droite définie présente donc une pente qui reflète le comportement moyen des données extrêmes du nuage de points tout en excluant 5 % des données. Il s'agit de la méthode la plus robuste et la Figure 44 permet de constater qu'il s'agit également de la méthode qui permet d'épouser au mieux la base du nuage de points.

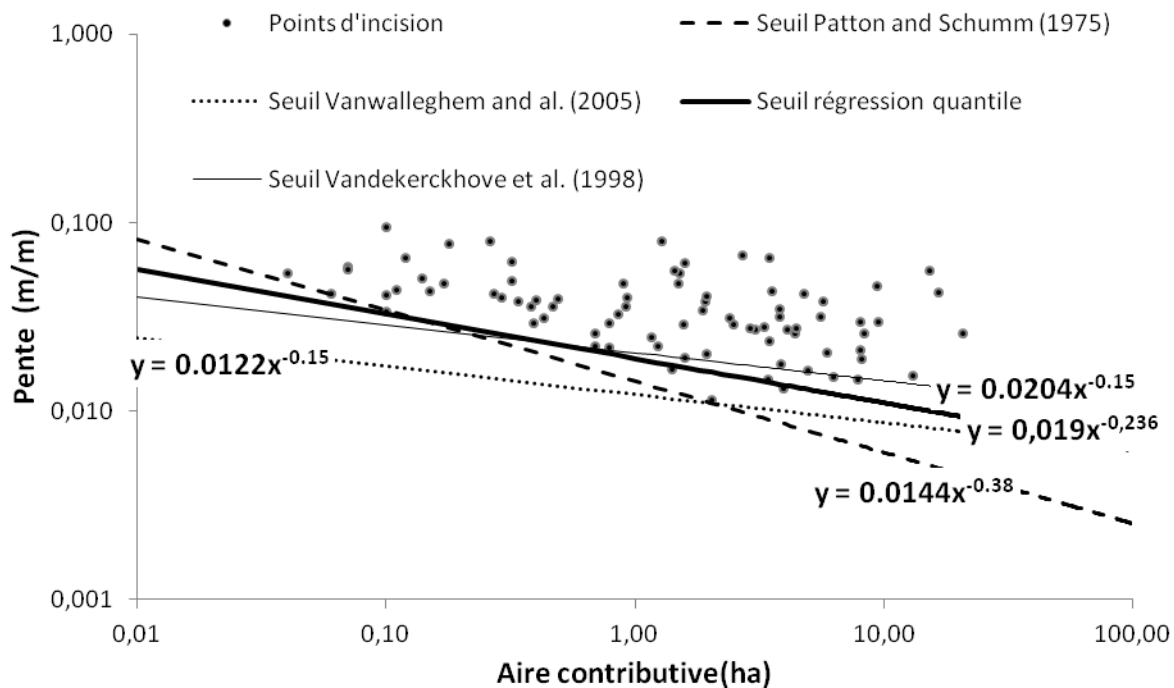


FIGURE 44 : SEUILS TOPOGRAPHIQUES DEFINIS SELON LES DIFFERENTES METHODES DE SEUILLAGE POUR LE JEU DE DONNEES DE POINTS D'INCISION DE LA REGION LIMONEUSE

6.4.1.2 Variabilité spatiale du seuil topographique

Les seuils topographiques ont été déterminés pour les trois régions selon la méthode de la régression quantile. Le quantile est fixé à 0.05 pour les jeux de données supérieures à 50 données et 0.1 pour les autres jeux de données de manière à se préserver d'un nombre de données potentiellement erronées suffisant. Les Figure 45 à Figure 47 montrent les seuils topographiques pour les trois régions. La Figure 48 permet de les visualiser simultanément. Le nombre de ravines qui ont servi à la détermination des seuils varie d'une région à l'autre puisqu'il est de 82 en Région jurassique, 19 en Famenne et 31 en Région jurassique. La méthode de la régression quantile délimite d'une manière satisfaisante la base du nuage de point.

La pente du seuil d'incision pour la Région jurassique est deux fois plus importante que pour la Région limoneuse et trois fois plus importante que pour la Famenne. L'ordonnée à l'origine est également la plus élevée pour la région jurassique. La région agricole qui nécessite les plus faibles pentes pour l'initiation des ravines est la Région limoneuse alors qu'elles sont les plus importantes en Région jurassique pour des aires contributives en deçà de 2 ha. Par exemple, une aire contributive de 1 ha nécessite respectivement une pente de 1.9%, 2.6 % et 3.3% pour potentiellement initier une ravine en Région limoneuse, Famenne et Région jurassique. Ces seuils reflètent donc bien des différences entre région. Cependant, au-delà des conditions intrinsèques topographiques, ils sont également le reflet de l'occupation du sol et du climat à une période donnée. Il est donc nécessaire de pouvoir évaluer l'impact de ces facteurs sur le seuil topographique.

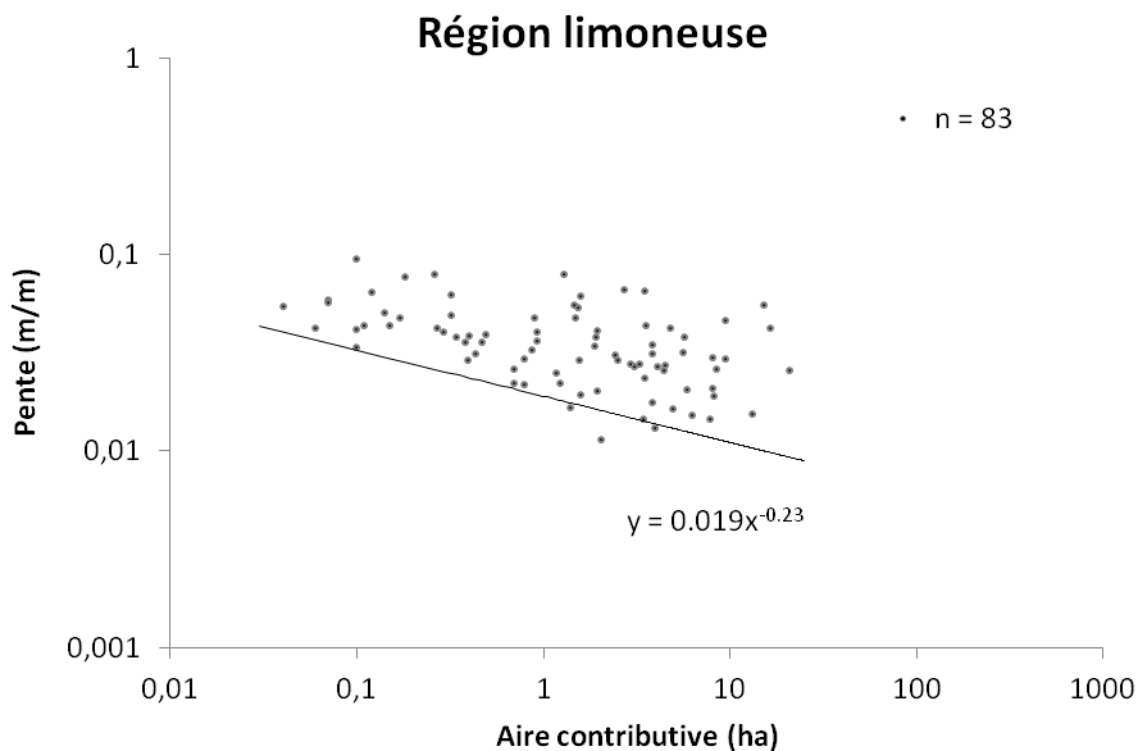


FIGURE 45 : SEUIL TOPOGRAPHIQUE D'INCISION POUR LE RAVINEMENT SELON LA METHODE DE LA REGRESSION QUANTILE POUR LA REGION LIMONEUSE

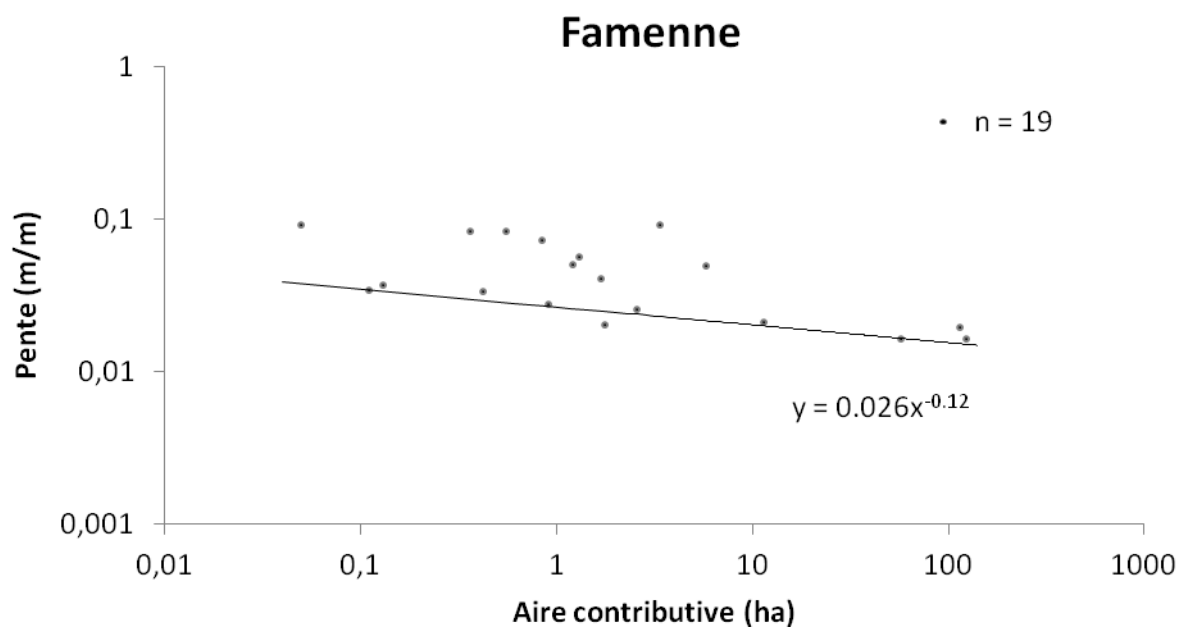


FIGURE 46 : SEUIL TOPOGRAPHIQUE D'INCISION POUR LE RAVINEMENT SELON LA METHODE DE LA REGRESSION QUANTILE POUR LA FAMENNE

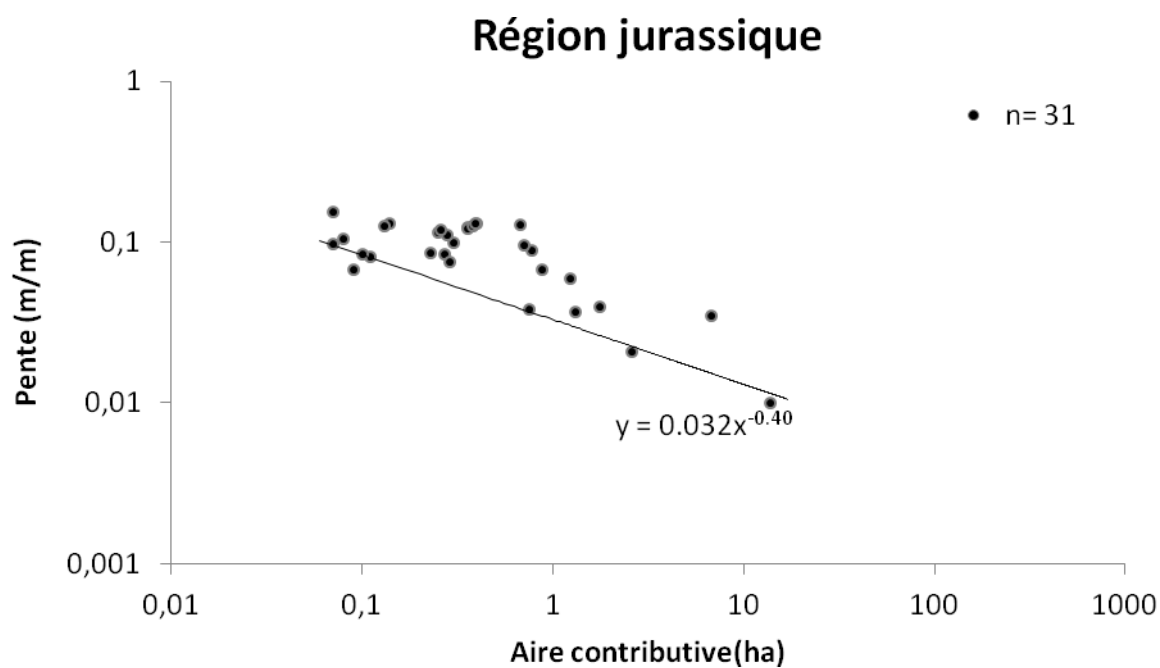


FIGURE 47 : SEUIL TOPOGRAPHIQUE D'INCISION POUR LE RAVINEMENT SELON LA METHODE DE LA REGRESSION QUANTILE POUR LA REGION JURASSIQUE

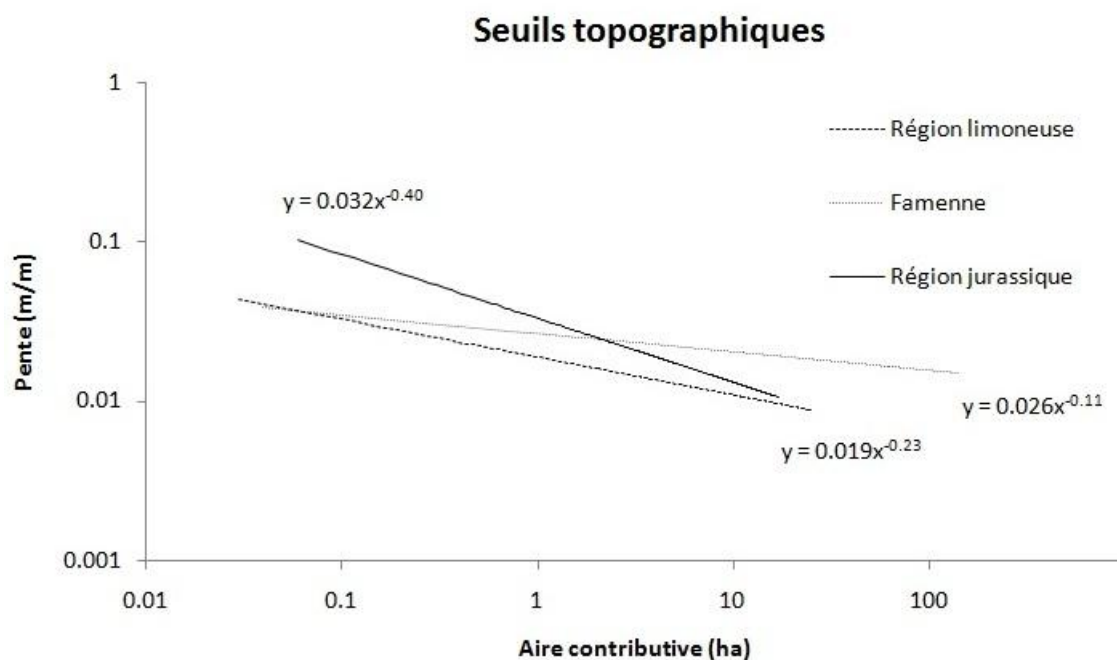


FIGURE 48 : SEUILS TOPOGRAPHIQUES D'INCISION POUR LE RAVINEMENT SELON LA METHODE DE LA REGRESSION QUANTILE POUR LES TROIS REGIONS AGRICOLES SUIVIES

6.4.1.3 Variabilité spatiale du seuil topographique

Sur base du jeu de données établi pour évaluer la récurrence du phénomène de ravinement, les seuils topographiques ont été définis selon les jeux d'orthophotoplans pris lors de différentes années. L'objectif est ici de voir de quelle manière le seuil topographique varie d'une année à l'autre et d'évaluer sa sensibilité aux facteurs aléatoires tels que l'occupation du sol ou le climat. Le résultat est présenté à la Figure 49.

La pente du seuil est identique d'une année à l'autre mais sa position est quant à elle différente. Ceci souligne ici l'impact des conditions autres que les conditions topographiques. Cet impact est non négligeable car selon le seuil de l'année considérée, pour une aire contributive de 1 ha, la pente nécessaire pour potentiellement initier une ravine est 1.1%, 1.9% ou 2.5%.

Il apparaît donc nécessaire d'intégrer au seuil topographique d'incision de l'information sur les facteurs aléatoires et notamment sur l'occupation du sol qui, comme nous l'avons vu, joue un rôle prépondérant sur l'initiation et la localisation des ravines.

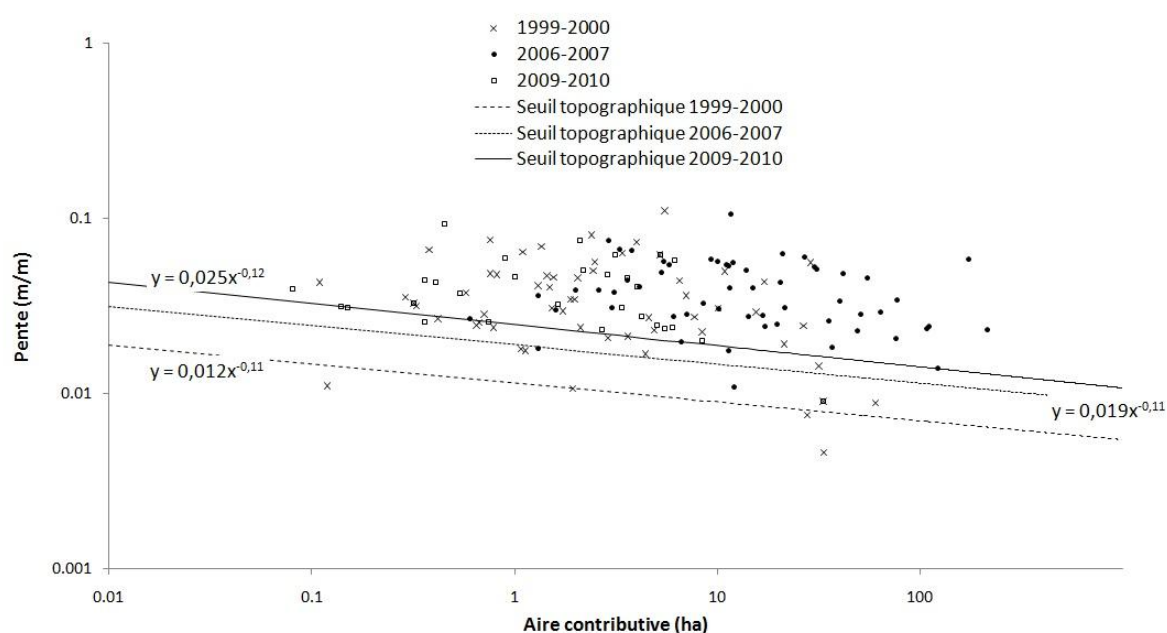


FIGURE 49 : SEUILS TOPOGRAPHIQUES D'INCISION POUR LE RAVINEMENT SELON LA METHODE DE LA REGRESSION QUANTILE POUR LA ZONE N°4 ET POUR TROIS JEUX D'ORTOPHOTPLANS PRIS LORS D'ANNEES DIFFERENTES

6.4.2 INTEGRATION DE FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AU SEUIL D'INCISION

L'aire contributive qui est intégrée au seuil topographique d'incision est dans les faits un estimateur du volume d'eau ruisselée qui, combiné à une certaine valeur de pente, peut inciser le sol. Pour intégrer l'information sur l'occupation du sol, il est donc possible de définir un seuil qui serait fonction de la valeur de la pente et du volume de ruissellement, lui-même dépendant du type de culture en place. Ceci peut être fait via la méthode du Curve Number du SCS qui permet d'estimer pour une pluie donnée, une lame d'eau ruisselée fonction de l'occupation du sol mais également des propriétés hydrauliques du sol (Chow, 1964). Cette lame d'eau ruisselée multipliée par la surface de l'aire contributive permet de déterminer un volume ruisselé (Figure 50).

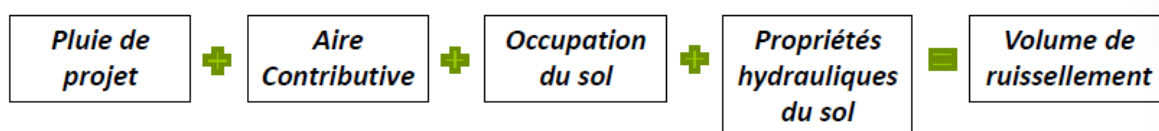


FIGURE 50 : SCHEMATISATION DE LA METHODE DU CURVE NUMBER DU SCS QUI PERMET D'INTEGRER L'INFORMATION SUR L'OCCUPATION DU SOL ET LE TYPE DE SOL D'UNE AIRE CONTRIBUTIVE DONNEE VIA LE CALCUL D'UN VOLUME DE RUISSELLEMENT A PARTIR D'UNE PLUIE DE PROJET

L'occupation du sol de chacune des aires contributives a donc été déterminée sur base du SIGEC pour la zone agricole. Pour la partie non agricole, nous nous sommes basés sur la carte d'occupation du sol de Wallonie de 2005. Pour chaque occupation du sol, une valeur de Curve Number est attribuée sur base des tables de CN 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 4 à 6). Les Curve Number appliqués sont repris dans le Tableau 16.

TABEAU 16 : CURVE NUMBER APPLIQUES POUR LA DETERMINATION DES VOLUMES DE RUISSELLEMENT AUX POINTS D'INCISION (D'APRES CHOW (1964))

		Groupe hydrologique du sol			
		A	B	C	D
Occupation du sol	Cultures sarclées	72	81	88	91
	Céréales	65	76	84	88
	Prairie	39	61	74	80
	Forêts	30	55	70	77
	Zones urbaines ¹	88	92	94	97

¹ : moyenne des valeurs pour les routes et les quartiers résidentiels.

Pour les zones où le groupe hydrologique du sol n'est pas renseigné, la moyenne globale de la classe d'occupation concernée sur les groupes A, B et C est utilisée. Le groupe D n'est pas pris en considération étant donnée les faibles surfaces qu'il représente. Lorsque la COSW 2005 renseigne une occupation agricole mais que la zone n'est pas reprise au parcellaire du SIGEC, la valeur attribuée est la moyenne des occupations agricoles pour le groupe hydrologique considéré.

Le calcul des volumes de ruissellement générés par chacune des aires contributives a été effectué pour les trois régions agricoles pour différentes pluies (25, 30, 50, et 100 mm) afin d'étudier l'impact de la quantité précipitée sur le seuil d'incision (Figure 51 à Figure 54). Ici également, la régression quantile a été utilisée pour déterminer les seuils.

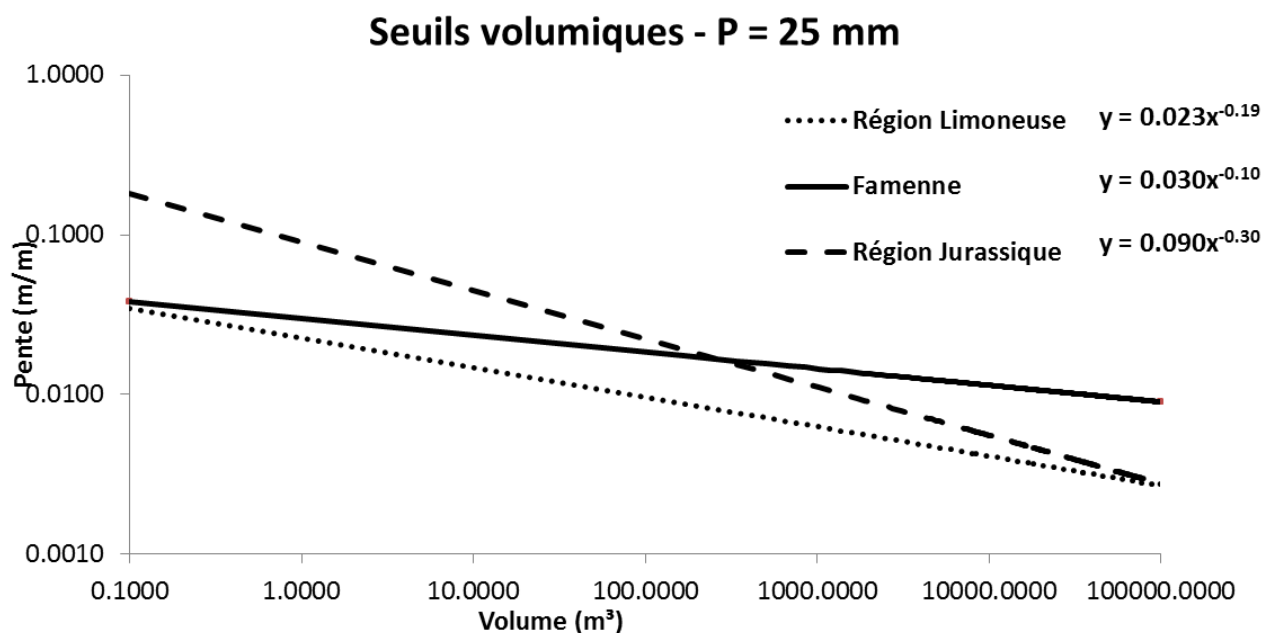


FIGURE 51 : SEUILS D'INCISION PAR LE RAVINEMENT BASES SUR LE VOLUME DE RUISSELLEMENT POUR LES TROIS REGIONS POUR UNE PLUIE DE 25 MM

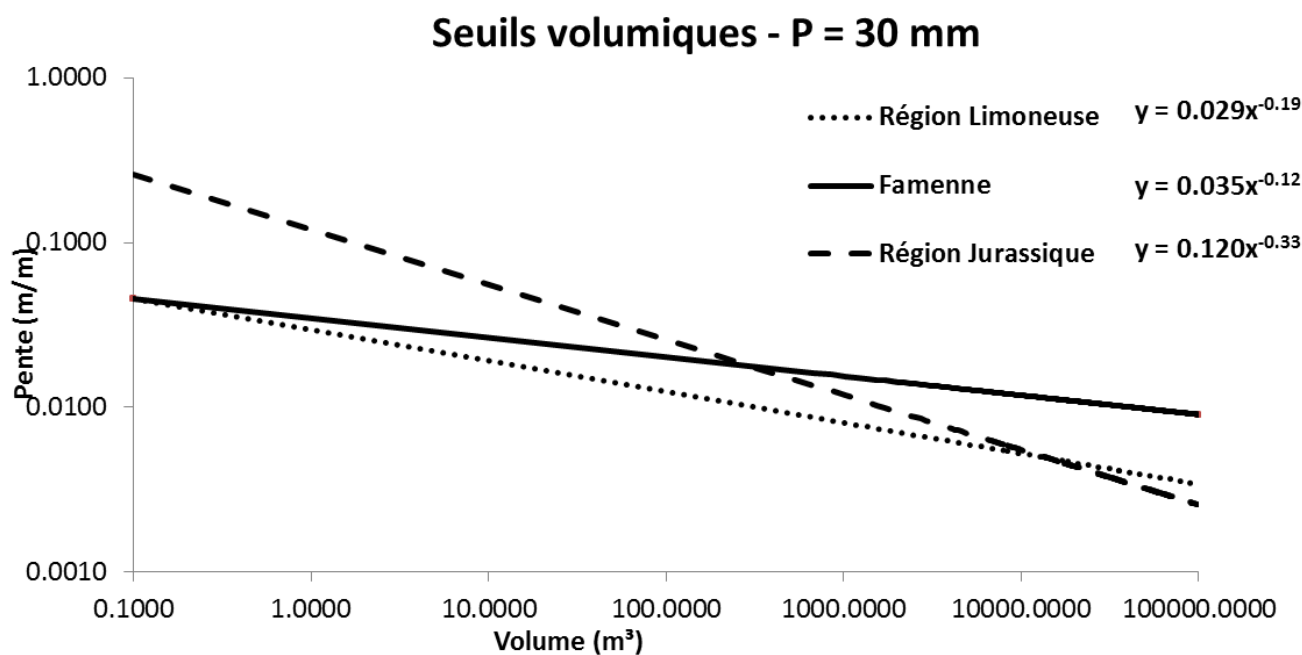


FIGURE 52 : SEUILS D'INCISION PAR LE RAVINEMENT BASES SUR LE VOLUME DE RUISSELLEMENT POUR LES TROIS REGIONS POUR UNE PLUIE DE 30 MM

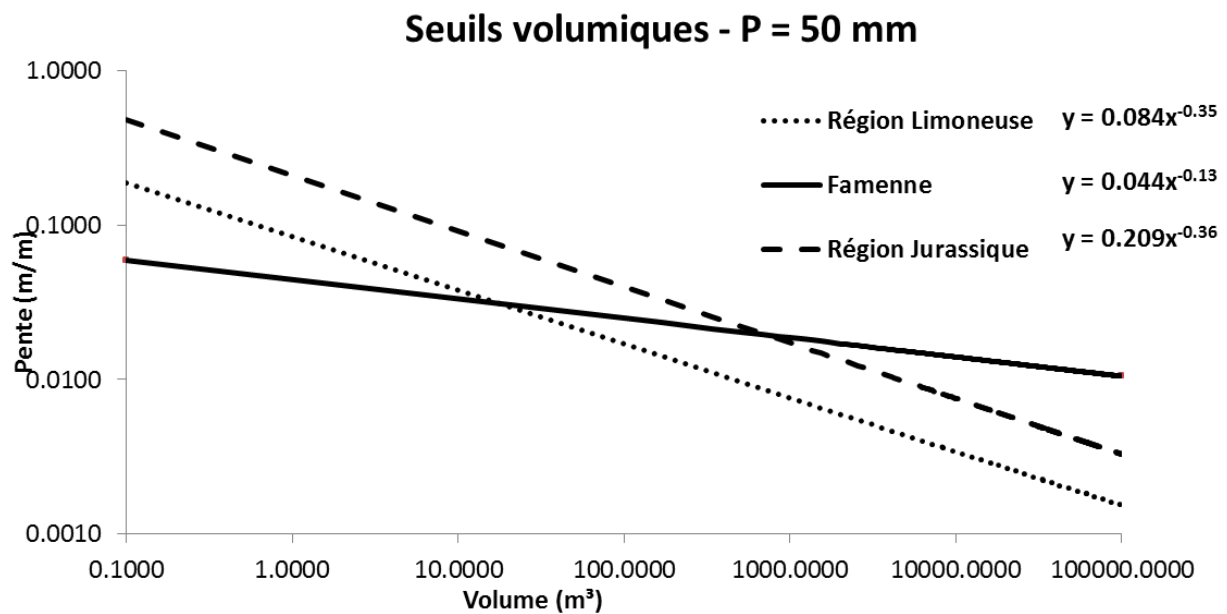


FIGURE 53 : SEUILS D'INCISION PAR LE RAVINEMENT BASES SUR LE VOLUME DE RUISSELLEMENT POUR LES TROIS REGIONS POUR UNE PLUIE DE 50 MM

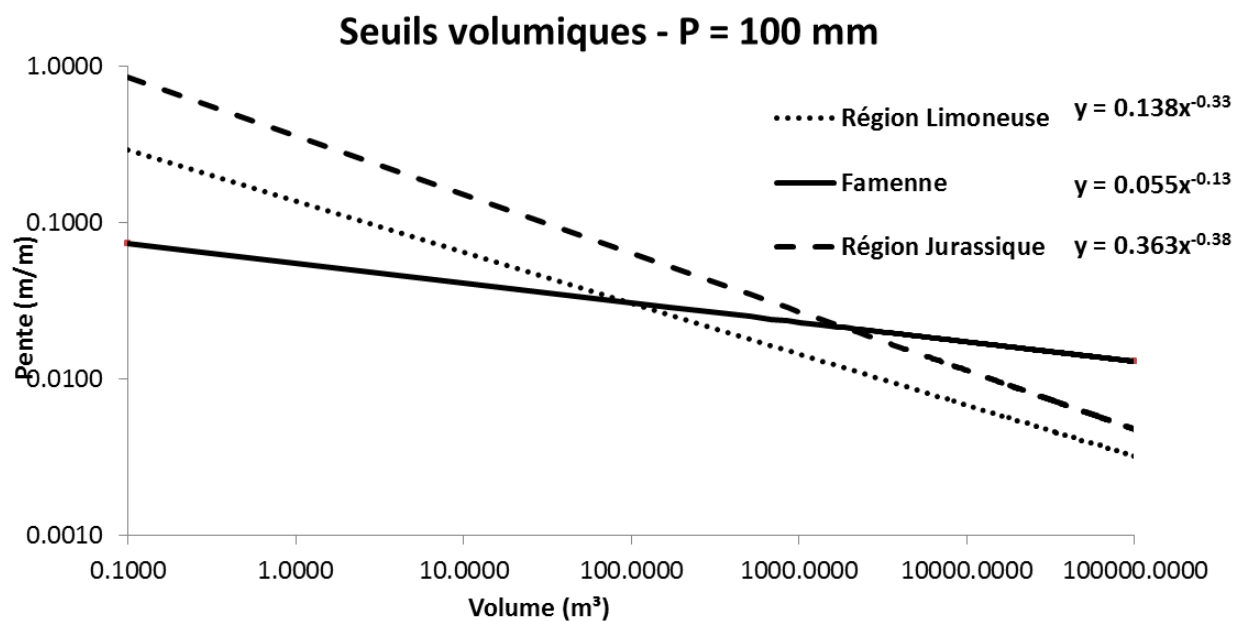


FIGURE 54 : SEUILS D'INCISION PAR LE RAVINEMENT BASES SUR LE VOLUME DE RUISSELLEMENT POUR LES TROIS REGIONS POUR UNE PLUIE DE 100 MM

Les Figures 16 à 18 montrent que la quantité de pluie simulée a une influence sur la pente du seuil d'incision. Ceci provient du fait que pour certains types d'occupation du sol, du ruissellement n'est généré par le modèle qu'à partir d'une certaine quantité de précipitation. En deçà de 30 mm, les occupations du sol de type céréales ne ruissellent pas ou très peu. Ceci explique pourquoi la région limoneuse est la plus sensible. Il s'agit en effet de la région agricole qui compte le plus de surfaces en céréales. La Famenne est quant à elle très peu sensible alors que pour la Région jurassique la pente du seuil varie de près de 30%.

Lorsque l'on compare les 3 régions pour des pluies simulées de 25 à 100 mm, on s'aperçoit que la tendance reste la même que pour les seuils topographiques pour la Région jurassique et la Famenne. Pour la région limoneuse, le seuil topographique est assez proche de ce qui est observé pour des pluies de 25 à 30 mm alors qu'il diffère de manière significative à partir de 50 mm de pluie

Cette nouvelle méthode pour définir le seuil est intéressante car elle intègre en plus de l'information topographique, de l'information sur l'occupation du sol et le type de sol. Elle permet à ce stade d'identifier tous les pixels où la probabilité d'occurrence d'un point d'incision est très faible (i.e., tous les couples de points 'pente - volume' situés sous le seuil d'incision). Cependant cela nécessite de poser comme hypothèse qu'une pluie unique et fixée arbitrairement a initié l'ensemble des ravines sur la zone d'intérêt. Cette hypothèse influence de manière non négligeable la pente du seuil d'incision. L'idéal serait donc de pouvoir définir pour chacune des ravines la pluie à l'origine de sa formation.

6.4.3 INTEGRATION DU FACTEUR PLUIE AU SEUIL D'INCISION

Le travail effectué jusqu'à présent montre qu'il est possible, pour les ravines d'origine topographique, de définir des seuils d'incision tenant compte des facteurs topographiques mais également de l'occupation du sol et du type de sol en place. Cependant, pour établir ces « seuils volumiques », il est nécessaire de définir une pluie type qui a une influence non négligeable sur la valeur de la pente du seuil. Il est donc nécessaire de pouvoir associer à chaque ravine la pluie qui l'a générée.

Pour cela, nous avons sollicité les données radar de l'IRM pour une période antérieure à la date de prise de vue des orthophotoplans allant de septembre 2005 à juillet 2006. Pour rappel, la date de prise de vue des orthophotoplans est le 2 juillet 2006. L'objectif est d'analyser pour les ravines dont le point d'incision se trouve en culture de printemps les pluies sur la période allant de mars à juillet, c'est-à-dire approximativement la période culturale. Pour les points d'incision en culture d'hiver, les pluies seront analysées depuis le 1er septembre.

L'objectif pour chacune des ravines est de reconstituer le passif de précipitations sur l'aire contributive. Pour cela, les données radar sont disponibles sous forme d'un taux de précipitation pour un pas de temps de 5 min et pour une grille de 600 m. Ces données proviennent du radar de Wideumont. Nous disposons également d'un jeu de données provenant du radar de l'Avesnois en France proche de Valenciennes.

Les données radar brutes sont fournies en format binaire. Elles sont accompagnées de cumuls horaires corrigés sur base des mesures pluviométriques du réseau de mesure du SETHY à partir de différentes méthodes de correction.

Dans un premier temps, il a été décidé de reconstituer sur base des données brutes le passif de précipitations sur l'aire contributive avec un pas de temps de 5 min afin de déterminer l'événement ou la succession d'événements qui a la plus forte probabilité d'avoir initié la ravine. Dans un second temps, cet événement ou ces événements seront caractérisés d'un point de vue quantitatif de manière plus précise via les données horaires corrigées.

Un script a été mis au point sur un échantillon de données qui représente une journée de précipitations afin d'extraire l'information sur les données radar brutes pour le centroïde des aires contributives de chaque ravine. Le script permet de relever l'intensité maximum observée dans un rayon de 2100 m autour du centroïde. Cette distance a été définie en raison de la vitesse moyenne d'avancement des orages. Ceci s'explique par le fait qu'un orage pourrait survoler une aire contributive en un laps de temps inférieur à 5 min qui est le pas de la donnée radar brute. Il se trouverait donc au temps t et $t+1$ en dehors de l'aire contributive mais l'aurait traversé entre ces deux points de mesure. En considérant une vitesse moyenne d'avancement de 50 km/h, il est possible de couvrir la vitesse moyenne de plus de 90% des orages (Figure 55). Une vitesse de 50 km/h représente un trajet de 4200 m en 5 min d'où la nécessité de traiter l'information dans un rayon de 2100 m autour du centroïde de l'aire contributive.

A partir de ces données, il est possible de reconstituer pour une ravine l'intensité maximum observée dans un rayon de 2100 m autour du centroïde de son aire contributive tout au long de la journée pour un pas de temps de 5 min (Figure 56). La méthodologie présentée ici reste cependant fort approximative. A l'avenir, il est prévu de prendre en compte la trajectoire des averses afin de mieux interpoler les données radar. Les différents pics d'intensité susceptibles d'être à l'origine de la ravine pourront être extraits et associés aux données corrigées afin de déterminer pour chacune des ravines les « pluies seuils » qui les ont générées et de calculer les volumes de ruissellement au sein des aires contributives.

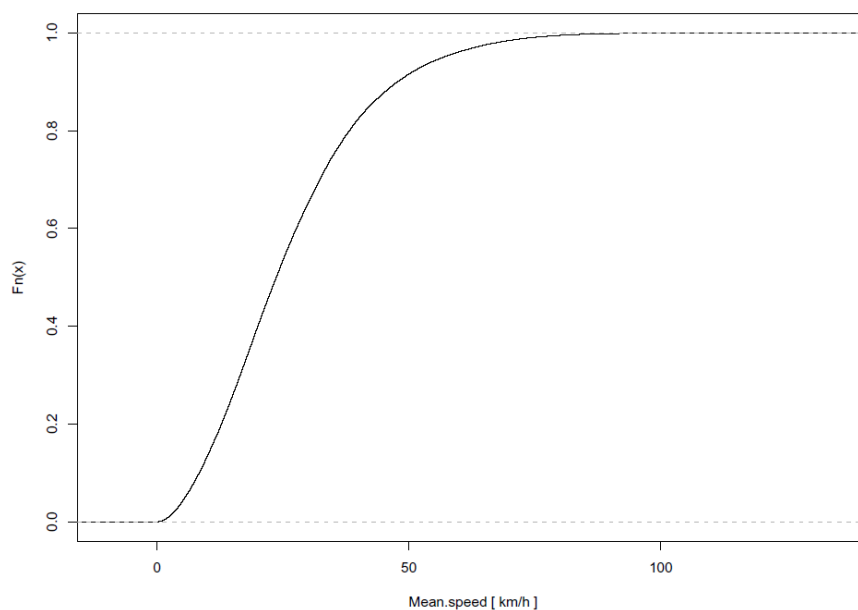


FIGURE 55 : DISTRIBUTION DE FREQUENCE DE LA VITESSE MOYENNE D'AVANCEMENT D'UN ORAGE (IRM, 2011)

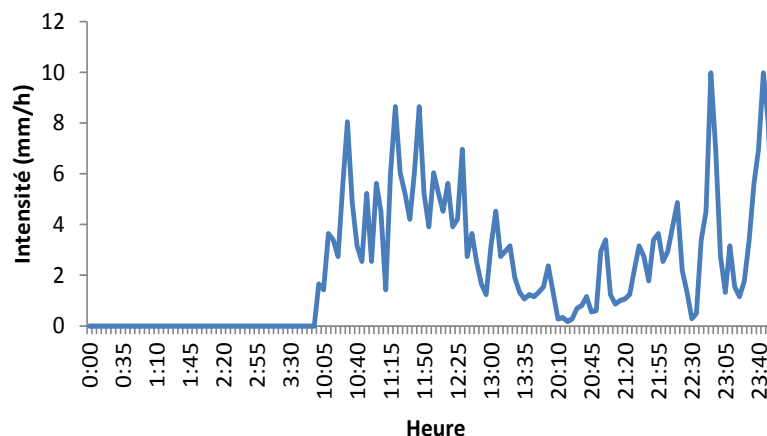


FIGURE 56 : INTENSITE MAXIMALE OBSERVEE DANS UN RAYON DE 2100 M DU CENTROIDE DE L'AIRE CONTRIBUTIVE D'UNE RAVINE RELEVÉE EN REGION LIMONEUSE POUR LA DATE DU 8 MAI 2006 ET POUR UN PAS DE TEMPS DE 5 MIN

6.5 PERSPECTIVES

6.5.1 INTEGRATION DU FACTEUR PLUIE AU SEUIL D'INCISION

Les données sur la pluie doivent être extraites et étudiées avant de pouvoir être intégrées aux seuils actuellement définis sur base des critères topographiques et environnementaux. Ce travail est actuellement en cours de réalisation pour la Région limoneuse. Une fois la méthodologie au point, le travail sera effectué sur les deux autres régions agricoles.

6.5.2 DETECTION AUTOMATISEE DES RAVINES SUR BASE D'ORTHOPHOTOPLANS.

Lorsque les seuils auront été optimisés à l'aide du facteur pluie, il sera nécessaire de pouvoir automatiser la détection des ravines sur les orthophotoplans, pour différentes années et pour l'ensemble du territoire afin de grossir notre jeu de données. L'objectif à terme est de pouvoir associer en chaque localisation de la zone agricole une probabilité d'occurrence de phénomènes d'érosion concentrée.

7 EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENT DES BANDES ENHERBEES

L'objectif de ce chapitre est de permettre la détermination de l'efficacité de rétention en sédiment par des bandes enherbées implantées en Région wallonne 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.

7.1 RAPPEL DES ACQUIS DE LA CONVENTION GISER 2009-2011

Lors de la convention GISER 2009-2011, une méthodologie pour la détermination de l'efficacité des bandes enherbées a été mise au point et a été testée pour un contexte spécifique (pluie de projet avec une période de retour de 5 ans, pour les régions Limoneuse et Sablo-Limoneuse et pour une rotation Froment-Betterave). 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 lors de la convention ELIPSOL (Cordonnier et Biielders., 2007 et 2008). L'efficacité de rétention en sédiment est fonction de la concentration en sédiment du flux entrant dans la bande enherbée et de la surface de l'aire contributive. 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 longueur⁴. Les parcelles d'essai avaient une longueur standard de 100 m et les concentrations en sédiment entrant étaient comprises entre 4 et 4 et 104 g/cm³ pour des volumes de ruissellement compris entre 0.09 et 0.940 m³. Les Figure 57 et Figure 58 montrent les comparaisons entre les valeurs de ruissellement et d'érosion mesurées et simulées suite à la calibration du modèle VFSSmod. Le Tableau 17 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)

⁴ Comme précédemment, 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.

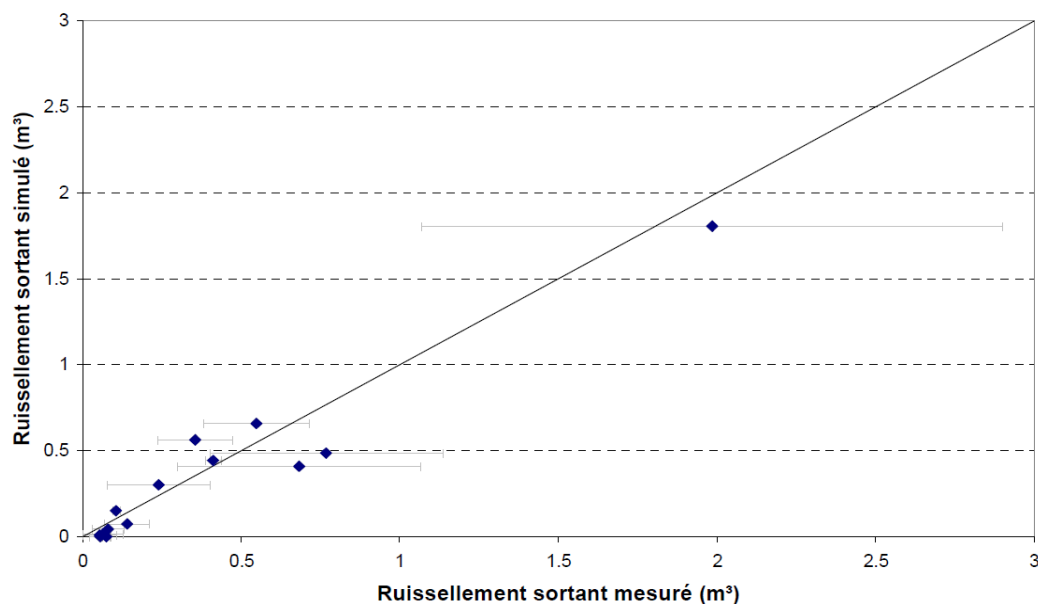


FIGURE 57 : COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE RUISSELLEMENT SORTANT MESUREES ET LES VALEURS SIMULEES SUR LES BANDES DE 5 M ET 10 M DE LONG SUR BASE SUITE A LA CALIBRATION DU MODELE VFSSMOD. LA DROITE EST LA DROITE 1 :1. (CORDONNIER ET BIELDERS 2007)

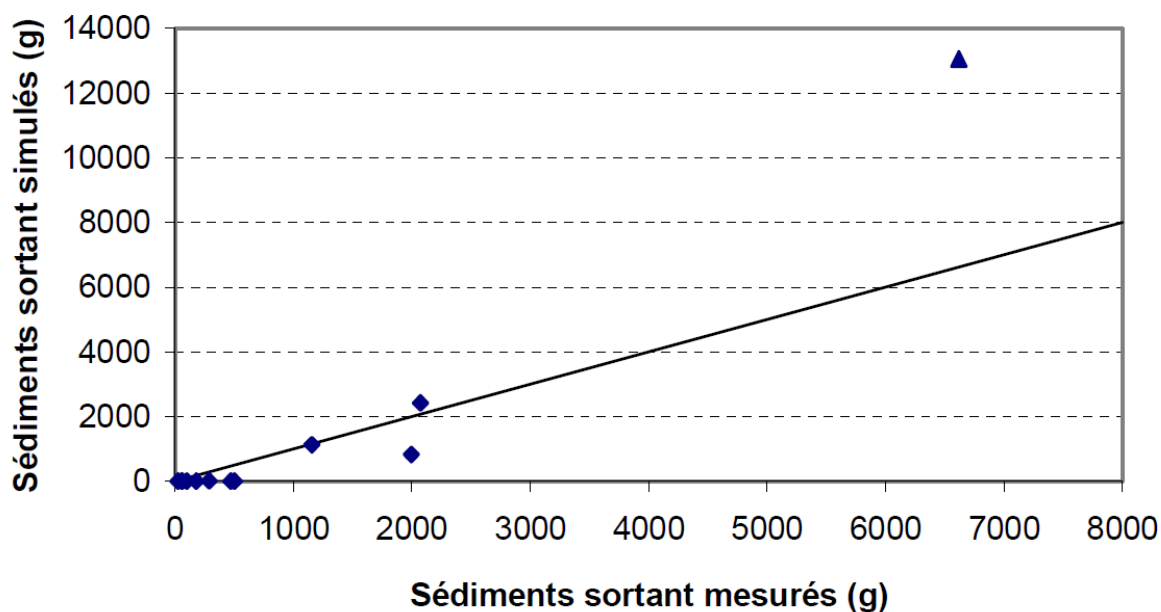


FIGURE 58 : COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE SEDIMENTS SORTANT MESUREES ET LES VALEURS SIMULEES SUR LES BANDES DE 5 M ET 10 M DE LONG SUR BASE SUITE A LA CALIBRATION DU MODELE VFSSMOD. LA DROITE EST LA DROITE 1 :1. (CORDONNIER ET BIELDERS 2007).

TABLEAU 17 : PARAMETRES OBTENUS SUITE A LA CALIBRATION DU MODELE VFSSMOD (CORDONNIER ET BIELDERS, 2007)

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

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 et représentatifs que possibles, ainsi que pour des longueurs de bandes enherbées et des types d'occupation du sol variables.

7.2 APPROCHE GÉNÉRALE

Le modèle VFSSMOD5 (Muñoz-Carpena et al., 1999) permet, entre autres, de déterminer l'efficacité en rétention des bandes enherbées sur base de 4 caractéristiques (Figure 59, 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 qui reflètent les spécificités du milieu (Figure 59, 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.

⁵<http://abe.ufl.edu/carpena/vfssmod/>

L'objectif poursuivi est de calculer au moyen du modèle VFMOD 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 VFMOD. A partir de ces résultats de simulation, un ou plusieurs métamodèles⁶ 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-dessus et permettra de s'affranchir de la lourdeur liée à la mise en œuvre du modèle VFMOD. Ces métamodèles pourront être implémentés dans un module lié à un Système d'information géographique afin de calculer l'efficacité des bandes enherbées existantes 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 comme le ratio de la somme de la quantité de sédiments sortant de chacun des pixels de la bande sur la somme de la quantité de sédiments entrant dans chacun des pixels de la bande. Pour déterminer les scénarii les plus probables, il convient de déterminer pour les pixels du parcellaire agricole où potentiellement une bande enherbée pourrait être implantée, c'est-à-dire en limite de parcelle, les valeurs que peuvent prendre les différentes variables.

⁶Un 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 curvenumber, l'aire contributive, etc.), ces relations complexes étant préalablement établies au moyen d'un modèle déterministe (à base physique). (Pineros Garcet et al., 2006).

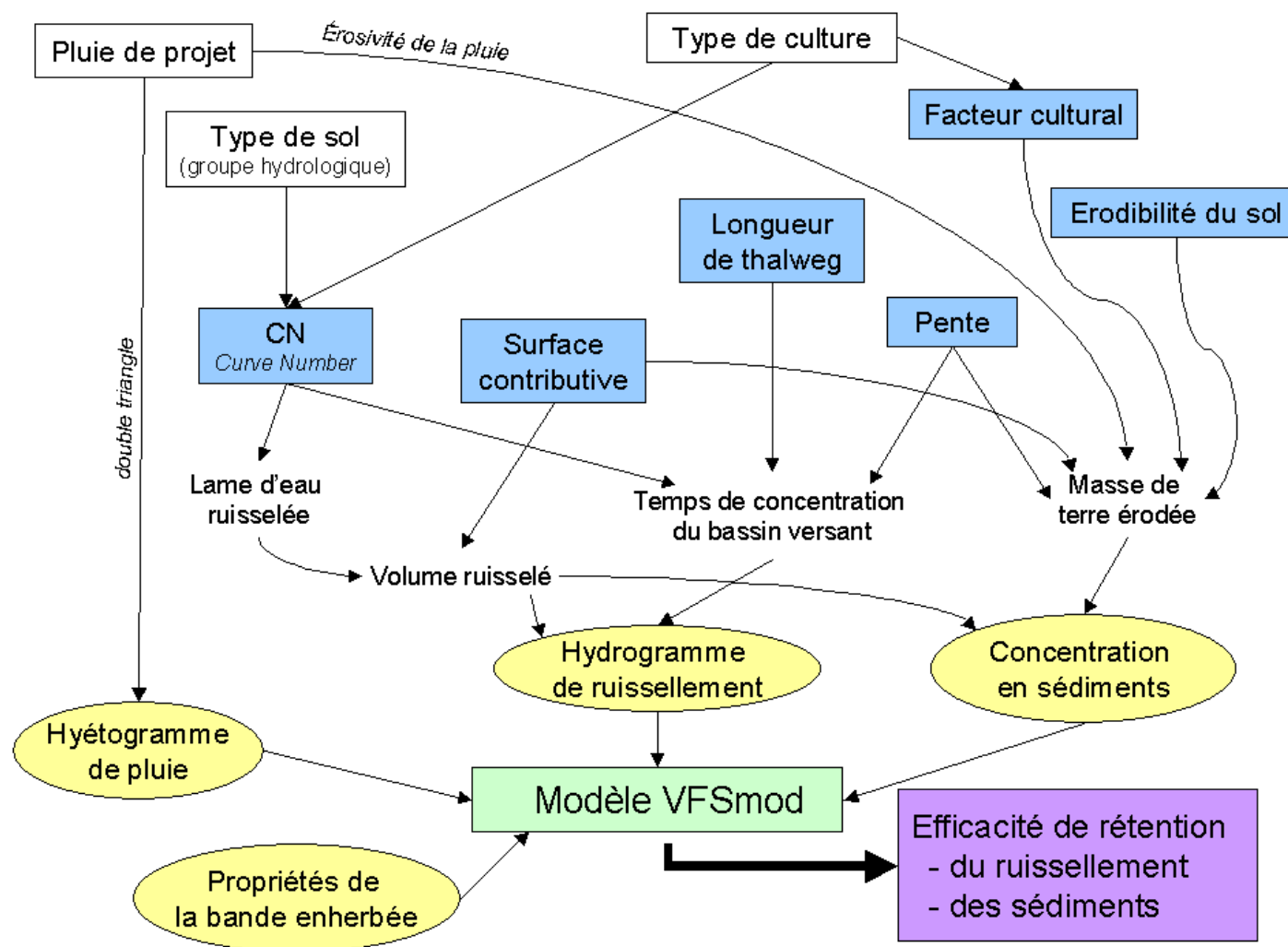


FIGURE 59 : APPROCHE DE CALCUL DE L'EFFICACITE DE RETENTION DES BANDES ENHERBEEES, CENTREE SUR L'UTILISATION DU MODELE VFSMOD. EN JAUNE, LES INPUTS CALCULES A PARTIR DES VARIABLES INDIQUEES EN BLEU (CORDONNIER ET BIELDERS, 2008)

7.3 VARIABLES ET GAMMES DE VALEURS A TESTER

7.3.1 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 Bielders., 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 60), soit une pluie de 29 mm en 2h30 avec une période intense de 17.4 mm en 30 minutes.

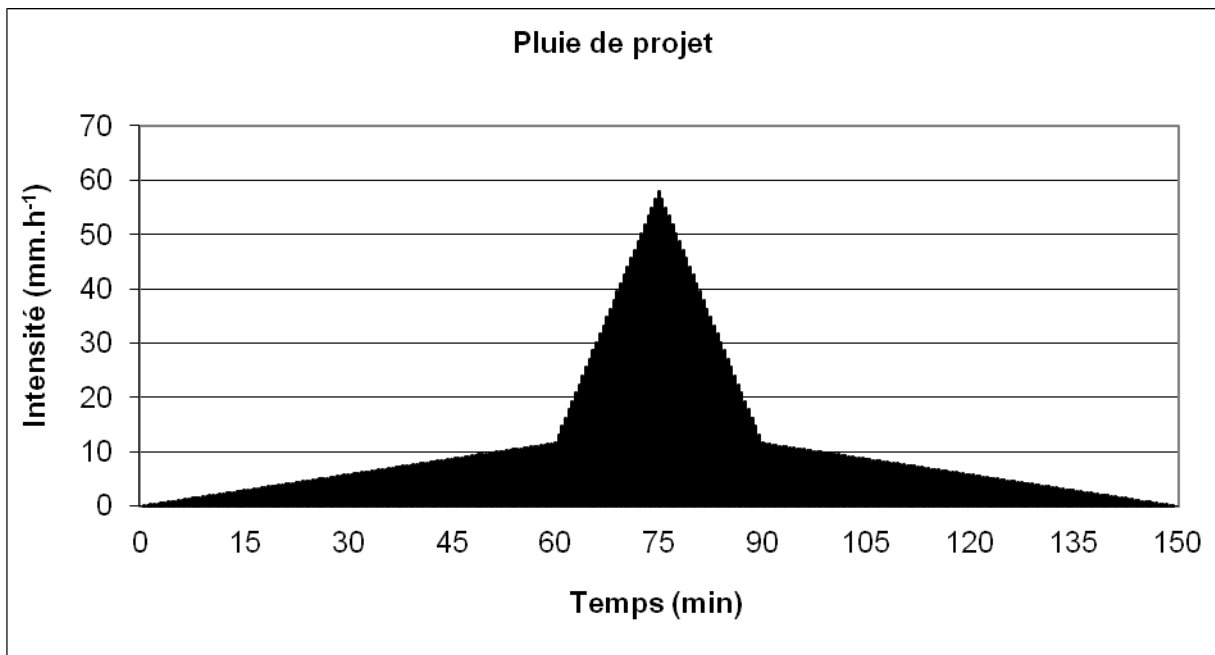


FIGURE 60: HYETOGAMME DE LA PLUIE DE PROJET (29 MM EN 2H30)(ELIPSOL, CORDONNIER ET BIELDERS., 2008)

7.3.2 HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT

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 Région wallonne, 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 4 à 6).

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.

7.3.2.1 Curve Number

Le Tableau 18 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 « pauvres », c'est-à-dire la situation la plus défavorable en terme de ruissellement. Les superficies relatives de chacun des groupes hydrologiques de sol au sein du parcellaire du SIGEC 2009 sont également renseignées.

TABLEAU 18 : CURVE NUMBER POUR LES OCCUPATIONS DU SOL DE TYPE CEREALES, CULTURES SARCLES ET SOLS NUS POUR DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES PAUVRES (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>Cultures sarclées</i>	72	81	88	91
<i>Céréales</i>	65	76	84	88
<i>Sol nu</i>	77	86	91	
<i>Superficie relative</i>	27,84%	55,94%	16,22%	0,01%

Compte tenu de la très faible représentation du groupe hydrologique D (Tableau 18), 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

7.3.2.2 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 FlowAcc renseignées varient de 0 à 26865 et environ 95 % des pixels de limite de parcelle ont une valeur de FlowAcc comprise entre 1 et 300 si l'on ne tient pas compte des pixels de valeur nulle.

La Figure 61 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 Biolders., 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 19), c'est-à-dire là où la pente de la relation est la plus importante (Figure 61).

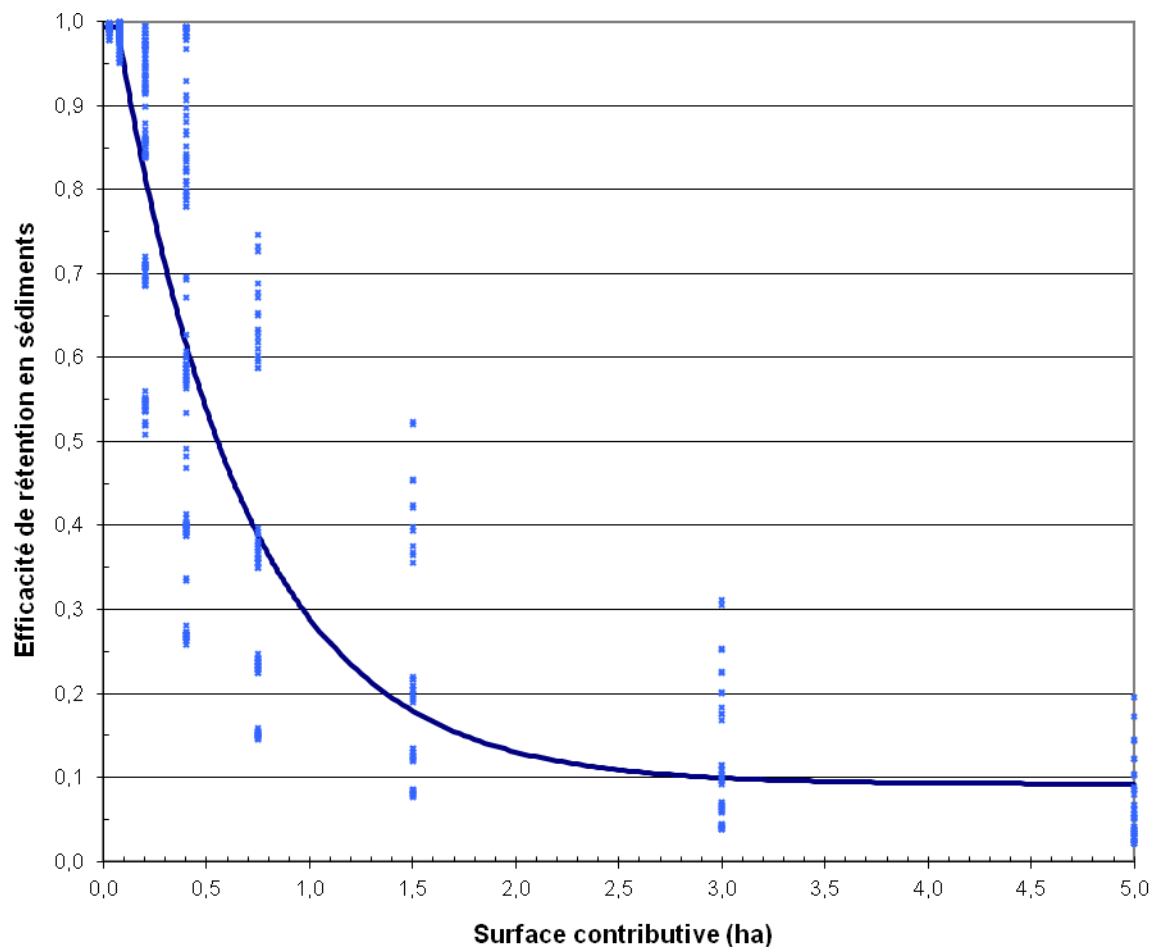


FIGURE 61: RELATION EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS – TAILLE DE L' AIRE CONTRIBUTIVE POUR DES BANDES ENHERBEES DE 12 M (ELIPSOL, CORDONNIER ET BIELDERS., 2008)

7.3.2.3 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 62 montre comme attendu une corrélation importante entre la valeur moyenne de longueur de thalweg et la valeur de l'aire contributive.

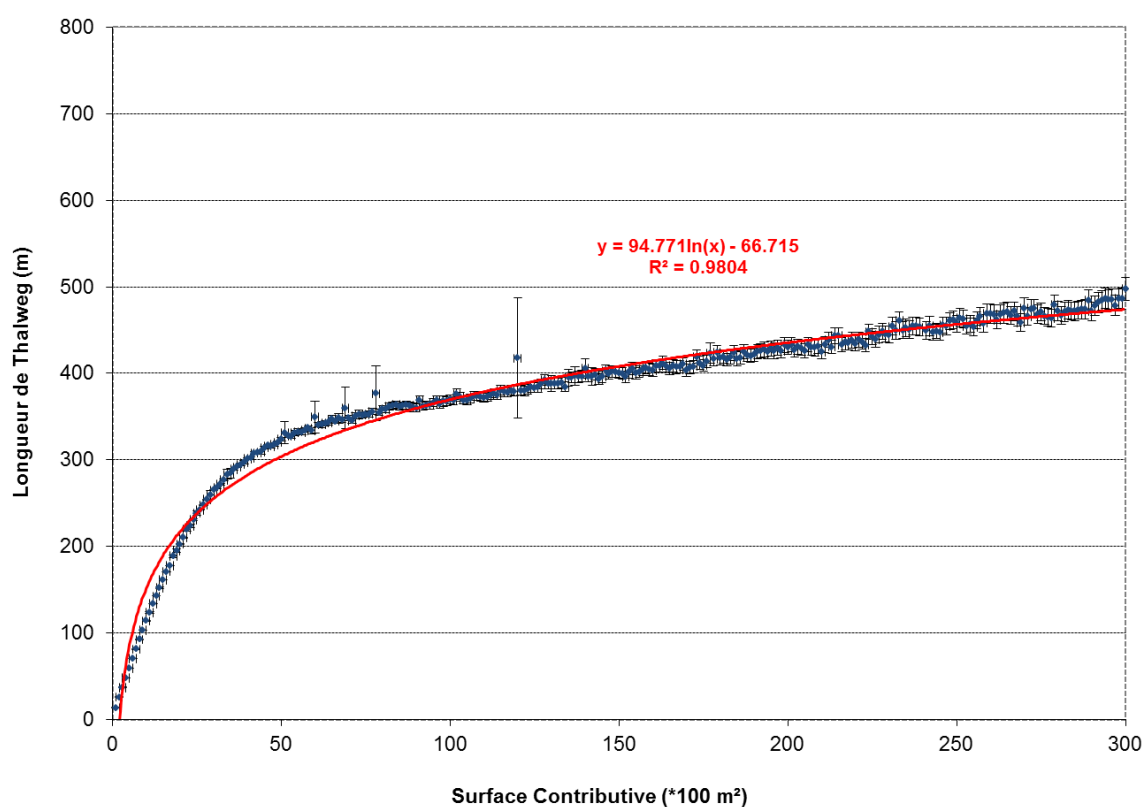


FIGURE 62 : VALEUR MOYENNE DE FLOW LENGTH POUR LES VALEURS DE FLOW ACCUMULATION ENTRE 1 ET 300

Une valeur de longueur de thalweg a été attribuée à chacune des 7 classes d'aire contributive (Tableau 19) selon la relation représentée à la Figure 62. Les hydrogrammes de ruissellement seront donc définis pour ces 7 combinaisons Aire contributive-Longueur de thalweg.

TABLEAU 19: CLASSES D'AIRE CONTRIBUTIVE ET DE LONGUEUR DE THALWEG MOYENNE RETENUES POUR LE CALCUL DES HYDROGRAMMES ET DE L'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENT

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

7.3.2.4 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 Région wallonne 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 20).

TABLEAU 20 : CLASSES DE PENTE POUR LA DETERMINATION 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

7.3.2.5 Concentration en sédiments

Comme discuté dans le rapport final de la convention GISER 2009-2011, les concentrations en sédiments retrouvées dans la littérature pour de l'érosion diffuse en région limoneuse dépassent rarement les 200 g/L (Steege et al., 2000) (Figure 63). D'autres mesures de concentration en sédiments effectuées dans le cadre du projet PROSENSOLS (Maugnard et Biélders, 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.

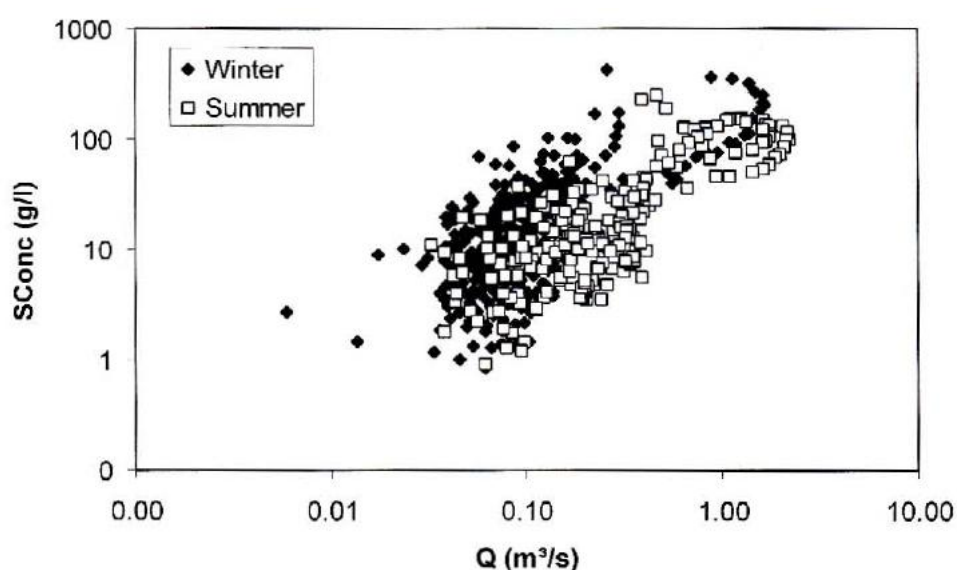


FIGURE 63: CONCENTRATIONS EN SEDIMENTS A L'EXUTOIRE D'UN BASSIN VERSANT DE LA REGION LIMONEUSE DURANT L'ETE ET L'HIVER (STEEGE ET AL., 2000). SUR BASE DE CES ELEMENTS ET

COMPTE TENU DU FAIT QUE LES BANDES ENHERBEES NE SONT PAS CONÇUES POUR RETENIR LES SEDIMENTS EN CAS D'ÉCOULEMENTS CONCENTRES, IL A ÉTÉ DÉCIDÉ DE LIMITER LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS À 250 G/L COMME DONNÉE D'ENTRÉE POUR LE MODÈLE VFSSMOD.

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 64). 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 21.

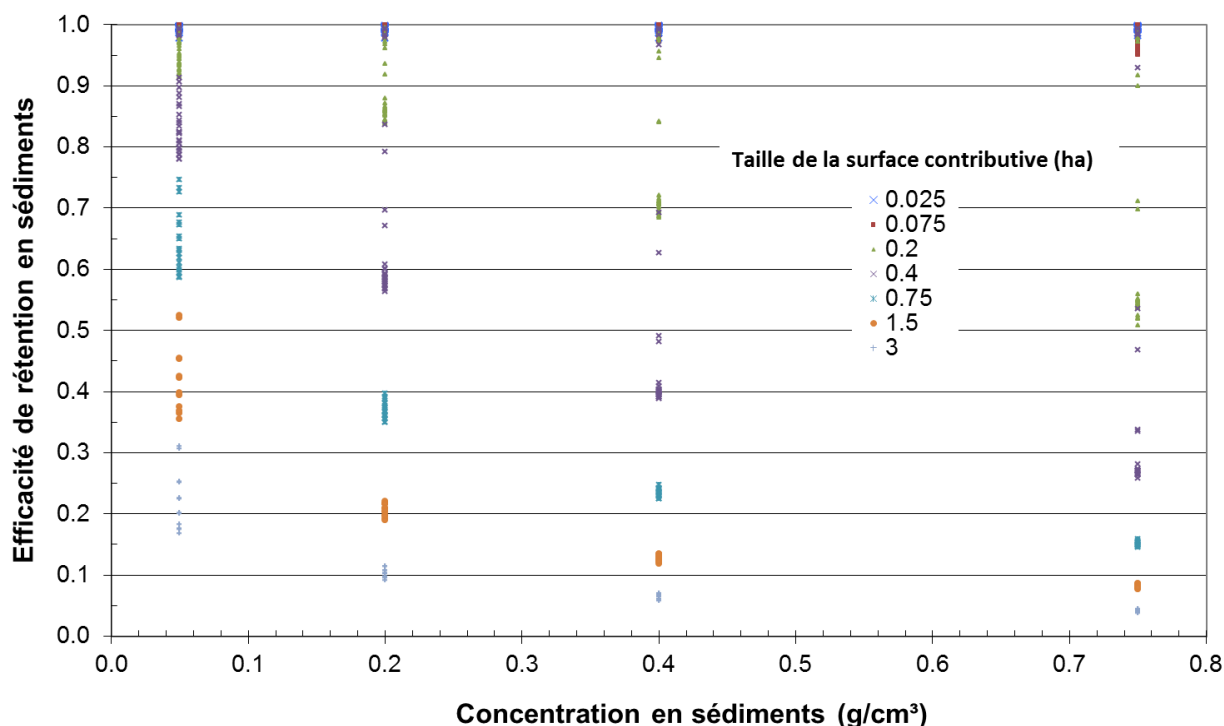


FIGURE 64 : RELATION EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS – CONCENTRATION EN SEDIMENTS ENTRANTE POUR DIFFERENTES TAILLES D'AIRES CONTRIBUTIVES. GRAPHIQUE ÉTABLI SUR BASE DES DONNÉES ELIPSOL (CORDONNIER ET BIELDERS, 2008)

TABLEAU 21 : CLASSES DE CONCENTRATION EN SEDIMENTS RETENUES POUR LE CALCUL DE L'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS

Concentration en sédiments (g/cm ³)	Valeur médiane de la classe (g/cm ³)
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

7.3.2.6 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 (Cordonnier et Bielders, 2007)(Tableau 17).

Seule la longueur de la bande enherbée sera variable. La bande enherbée pouvant être subsidiée en Région Wallonne pour des longueurs comprises entre 12 et 21 m avec une incrémentation de 3m ainsi que pour des longueurs de 6 m. Cinq classes ont donc été retenues : 6 m 12m, 15m, 18m et 21 m ont été retenues.

7.3.2.7 Combinaisons à tester

Au total les différentes classes définies pour les variables liées à l'occupation du sol et au groupe hydrologique du sol (CurveNumber), 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 22).

7.4 AUTOMATISATION DE LA PROCEDURE POUR LA CREATION DES FICHIERS D'ENTREE ET LES RUNS DU MODELE VFSSMOD

Pour pouvoir utiliser le modèle VFSSMOD, 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 VFSSMOD pour l'ensemble des combinaisons. Ce script permet également de créer les fichiers nécessaires pour lancer en boucle le programme VFSSMOD.

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

TABLEAU 22 : CLASSES RETENUES POUR LES DIFFERENTES VARIABLES INTERVENANT DANS LE CALCUL DE L'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENT PAR LA MODELE VFSSMOD.

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				

7.5 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 de sédiments entrant dans la bande donnée, pouvait être estimée sur base de l'aire contributive selon le modèle suivant :

$$RS = 1/(1+A*AC) \quad \text{ÉQUATION 5}$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 (g/g)

AC = Aire contributive (m²)

a = paramètre du modèle fonction de la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée (m⁻²)

Plusieurs modèles, valables pour des bandes enherbées de 12 m, avaient été proposés dans le cadre de cette convention en fonction de la concentration en sédiments entrant dans la bande (Figure 65).

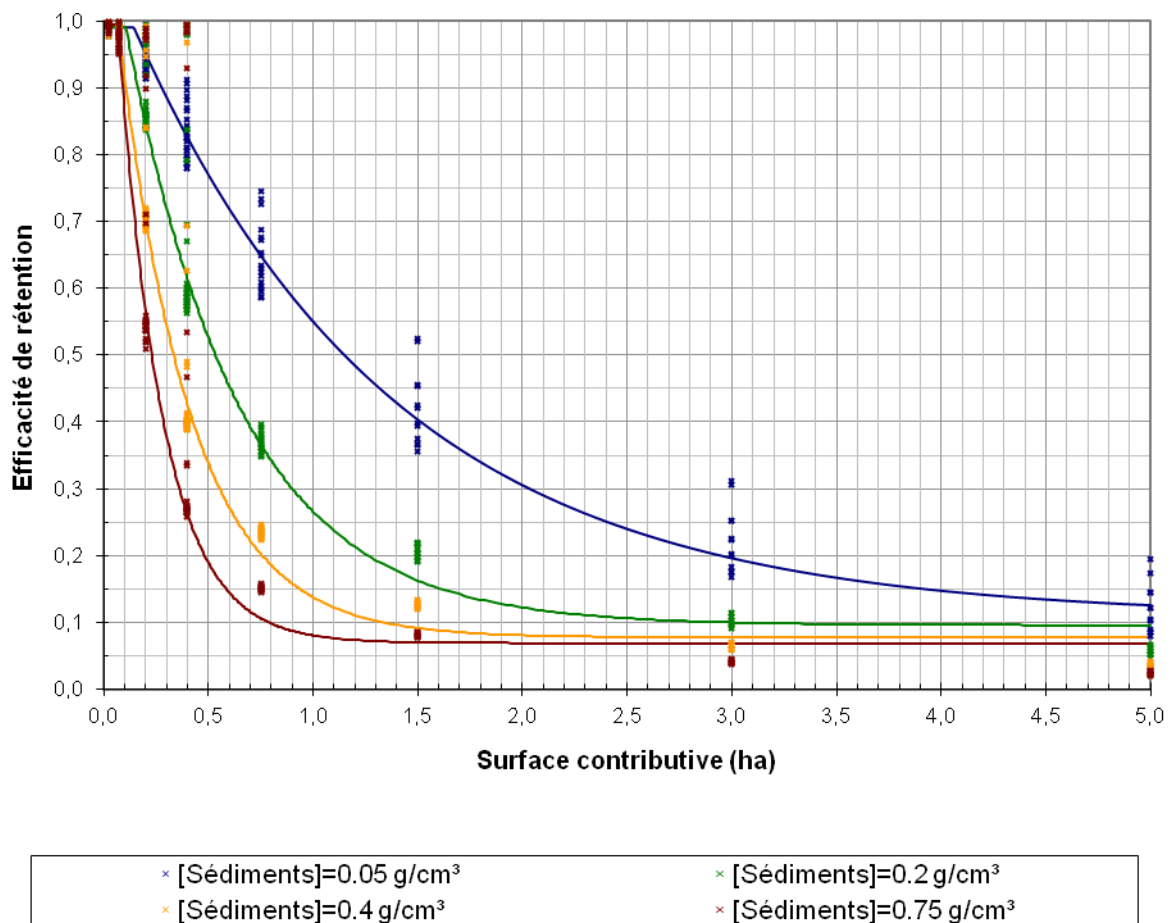


FIGURE 65 : PREVISION DE L'EFFICACITE D'UNE BANDE ENHERBEE DE 12 M DE LONG EN FONCTION DE LA TAILLE DE L'AIRE CONTRIBUTIVE DU BASSIN VERSANT EN AMONT ET DE LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS DU RUISSELLEMENT ENTRANT (CORDONNIER ET BIELDERS, 2008).

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 66). 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 67). 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 68). Plus le Curve Number est élevé, plus la décroissance est rapide et marquée.

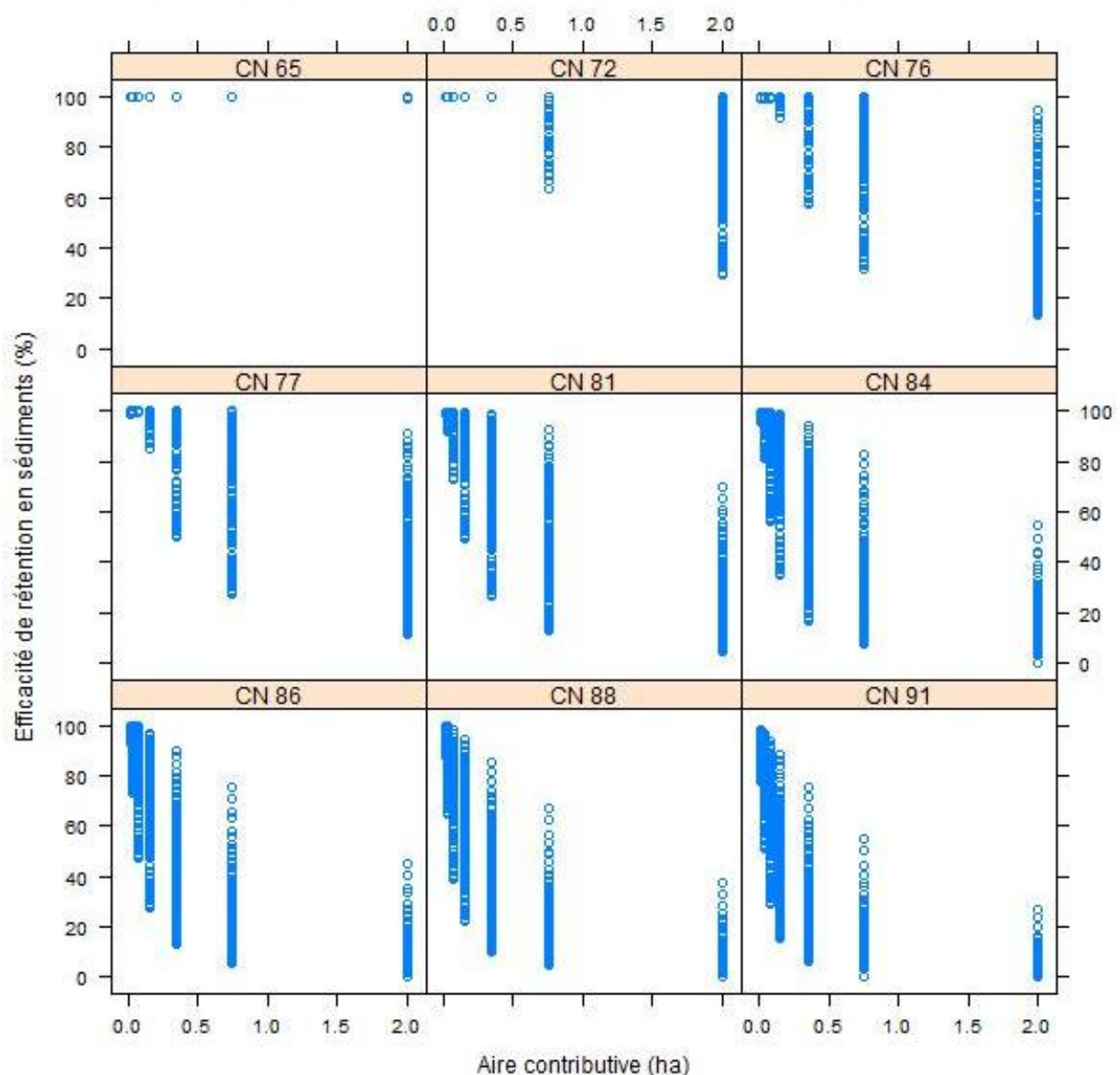


FIGURE 66 : RELATION ENTRE L'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS ET LA TAILLE DE L'AIRES CONTRIBUTIVE POUR LES DIFFERENTS CURVE NUMBER. LES ROND BLEUS REPRESENTENT LES SIMULATIONS POUR DIFFERENTES PENTES, CONCENTRATION EN SEDIMENT ET LONGUEURS DE BANDES.

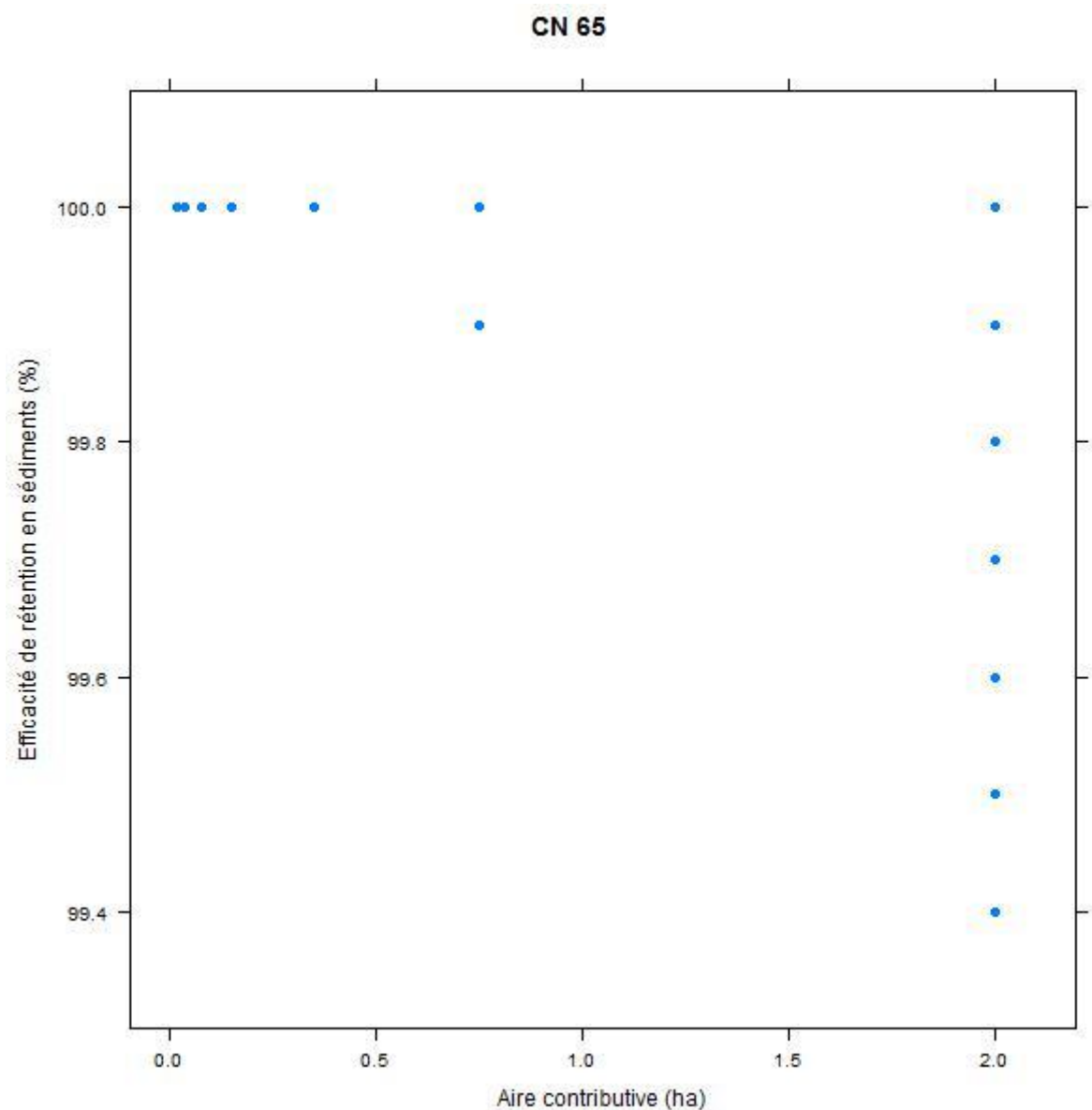


FIGURE 67 : RETENTION EN SEDIMENTS SELON LA TAILLE DEL'AIRE CONTRIBUTIVE POUR UN CURVE NUMBER DE 65 (CEREALE SUR SOL DE GROUPE HYDROLOGIQUE A)

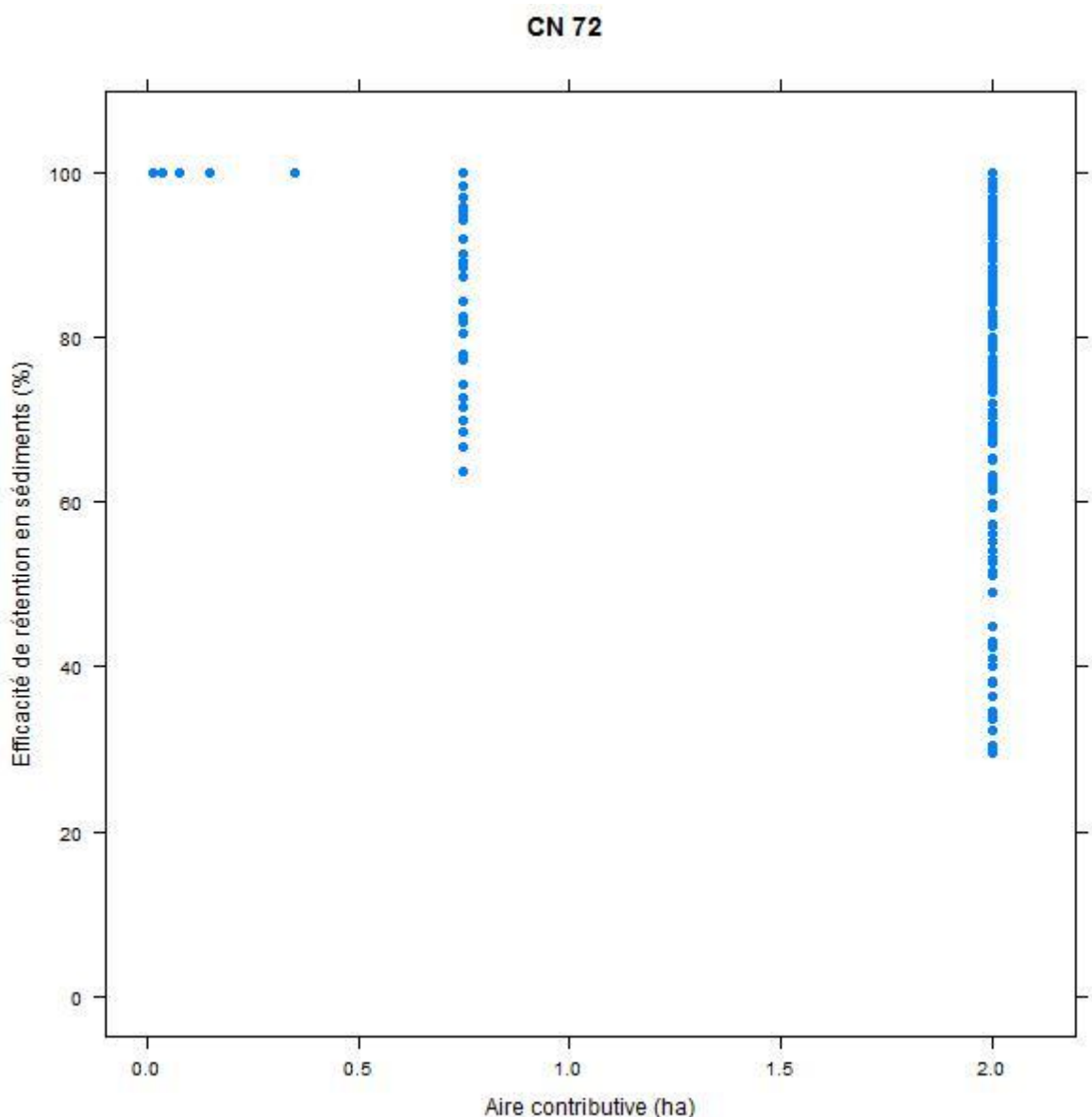


FIGURE 68: RÉTENTION EN SÉDIMENTS SELON LA TAILLE DE L'AIRE CONTRIBUTIVE POUR UN CURVE NUMBER DE 72 (CULTURE SARCLEE SUR SOL DE GROUPE HYDROLOGIQUE A)

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 a été défini de manière à obtenir un modèle unique quel que soit la concentration en sédiments entrant. Pour ce faire, le paramètre a 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 69).

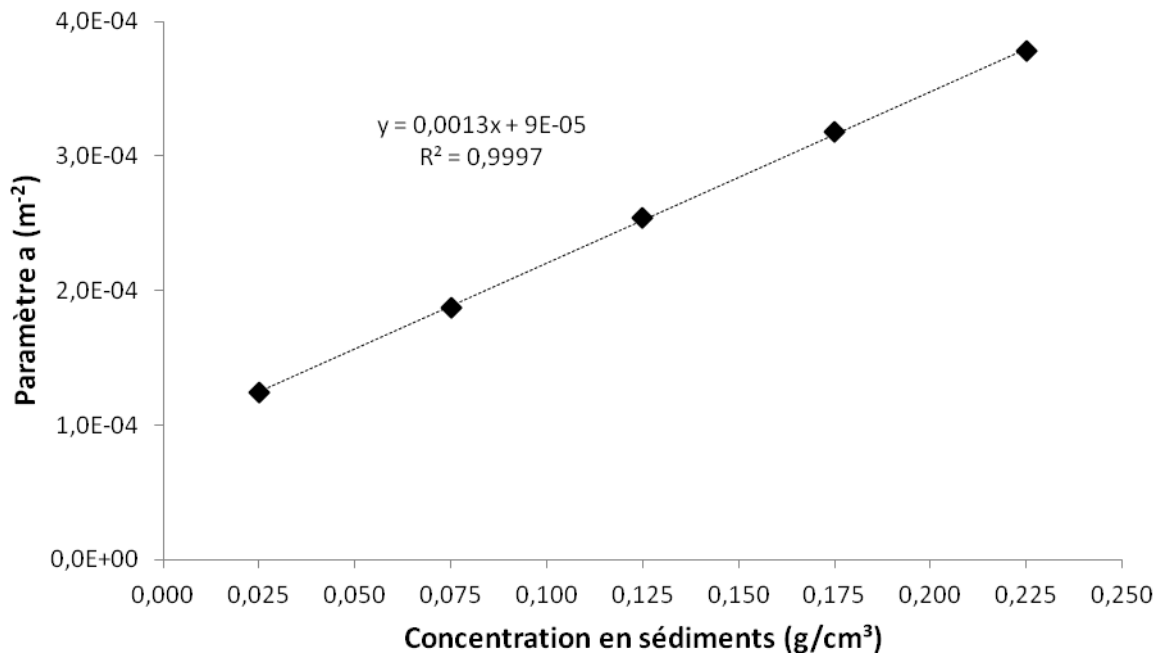


FIGURE 69 : RELATION ENTRE LE PARAMETRE DE L'EQUATION 6 ET LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS POUR LES DONNEES D'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS SIMULEES PAR VFSSMOD POUR UN CN = 84.

L'équation 6 peut dès lors être reformulée de la manière suivante :

$$RS = 1 / (1 + (0.0013 * Cs + 0.00009) * AC) \quad \text{ÉQUATION 6}$$

Avec

$$RS = \text{Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 (g/g)} \quad \text{ÉQUATION 7}$$

AC = Aire contributive (m²)

Cs = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée (g/cm³)

Si l'on compare les résultats issus de ce métamodèle avec les résultats issus du modèle VFSSMOD, on obtient une relation avec un R^2 relativement satisfaisant (0.91) mais avec une dispersion fortement marquée et une erreur type élevée (11.1 %) (Figure 70). 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 23). 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 ; Tableau 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.

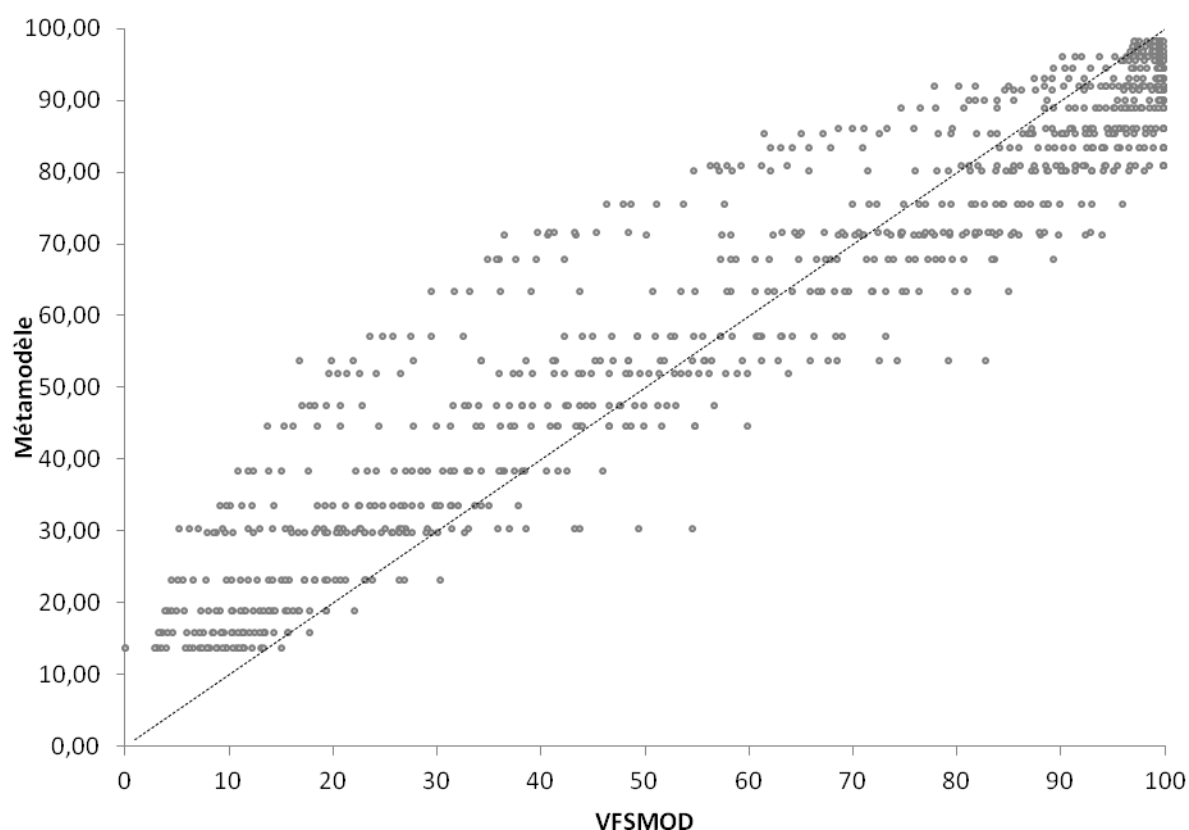


FIGURE 70 : RELATION ENTRE LES VALEURS DE RETENTION EN SEDIMENTS ISSUES DU MODELE VFSMOD ET CELLES ISSUES DU METAMODELE REPOSANT SUR L'AIRE CONTRIBUTIVE ET LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS (EQUATION2) POUR LES DIFFERENTS SCENARIII RELATIFS AU CURVE NUMBER 84.

TABEAU 23 : MATRICE DE CORRELATION DES VARIABLES (AC = AIRE CONTRIBUTIVE, LT = LONGUEUR DE THALWEG, P = PENTE, LBE = LONGUEUR DE BANDE ENHERBEE, CS = CONCENTRATION EN SEDIMENTS, RS = RETENTION EN SEDIMENTS)

Variables	AC(ha)	LT(m)	P(m/m)	LBE(m)	Cs (g/cm ³)	RS(%)
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)	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
Cs (g/cm ³)	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.171
RS(%)	-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'équation 7 avec la relation entre le paramètre a et la concentration en sédiments fonction de la longueur de bande enherbée (Equation 3).

$$RS = 1/(1+a*AC)$$

$$a = b*Cs+c$$

$$b = f(LBE)$$

$$c = f(LBE)$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 (g/g)

AC = Aire contributive (m²)

Cs = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée (g/cm³)

LBE = Longueur de bande enherbée (m)

La Figure 71 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.

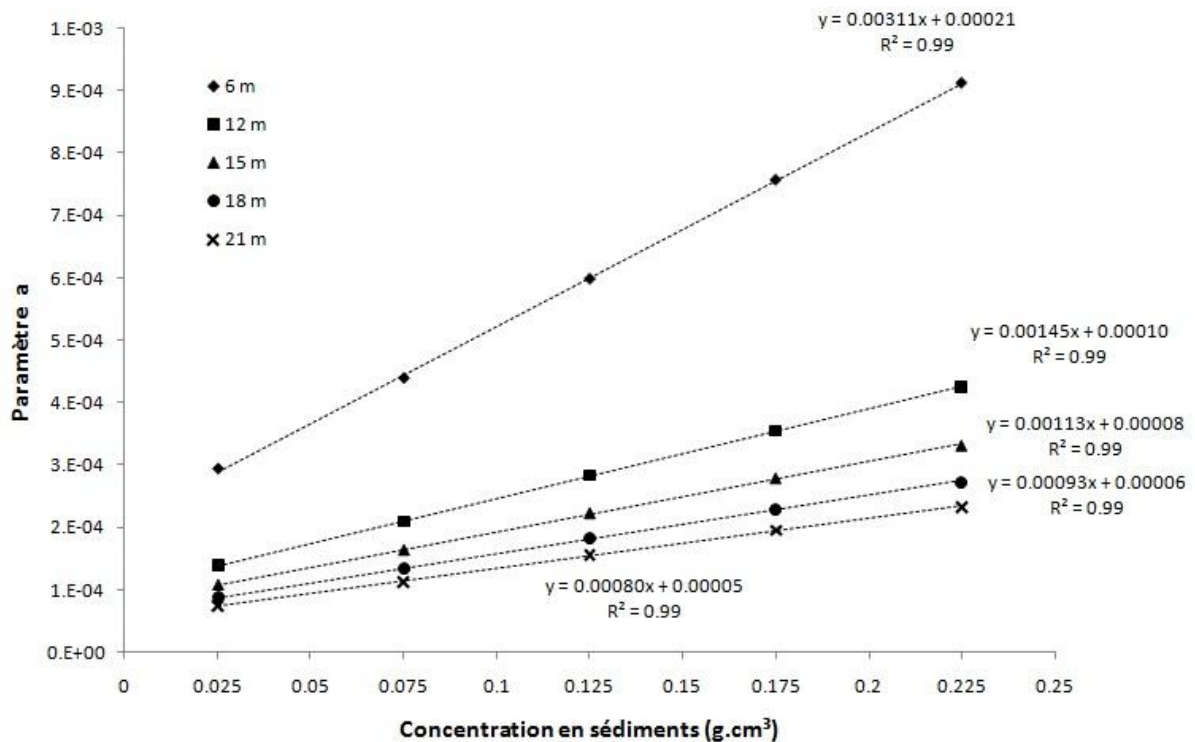


FIGURE 71 : RELATIONS ENTRE LE PARAMETRE A DE L'EQUATION 1 ET LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS SELON LA LONGUEUR DE BANDE ENHERBEE POUR LES DONNEES D'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS SIMULEES PAR VFSMOD POUR UN CN = 84

Les Figure 72Figure 73 montrent que des fonctions puissances permettent d'obtenir une excellente corrélation entre ces différents paramètres. Le nouveau métamodèle s'écrit donc :

$$RS = 1 / (1 + ((0.0218 * LBE - 1.0904) * Cs + 0.0017 * LBE - 1.1381) * AC)$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 (g/g)

ÉQUATION 4

AC = Aire contributive (m²)

Cs = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée

LBE = Longueur de bande enherbée (m)

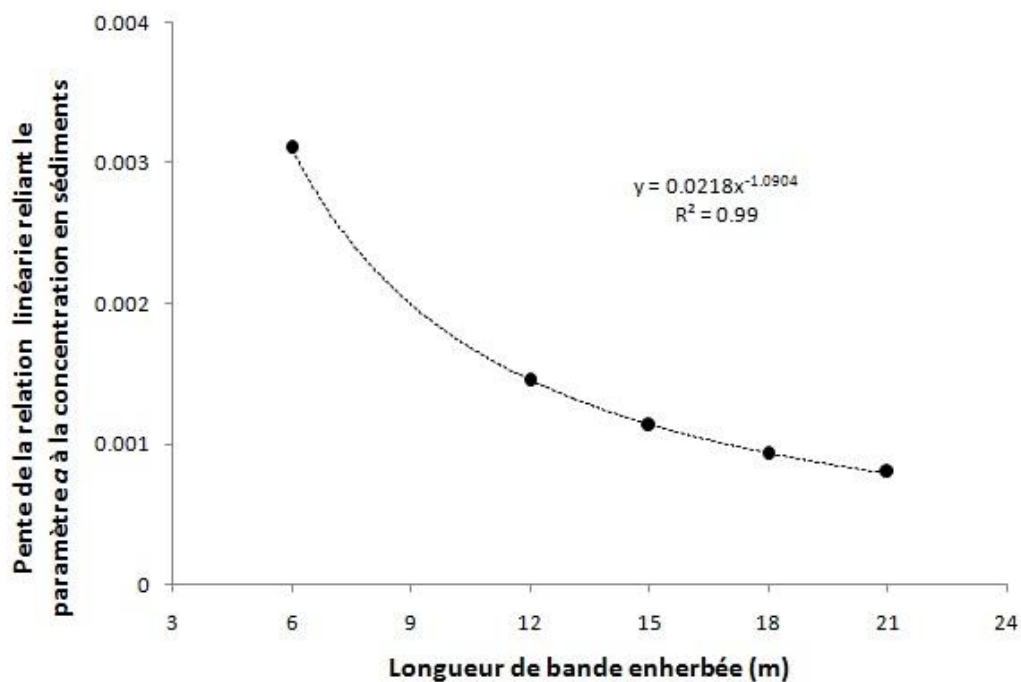


FIGURE 72 : RELATION ENTRE LA LONGUEUR DE BANDE ENHERBEE ET LA PENTE DE LA RELATION LINEAIRE RELIANT LE PARAMETRE ADE L'EQUATION 1 A LA CONCENTRATION EN SEDIMENTSPOUR LES DONNEES D'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS SIMULEES PAR VFSSMOD POUR UN CN = 84

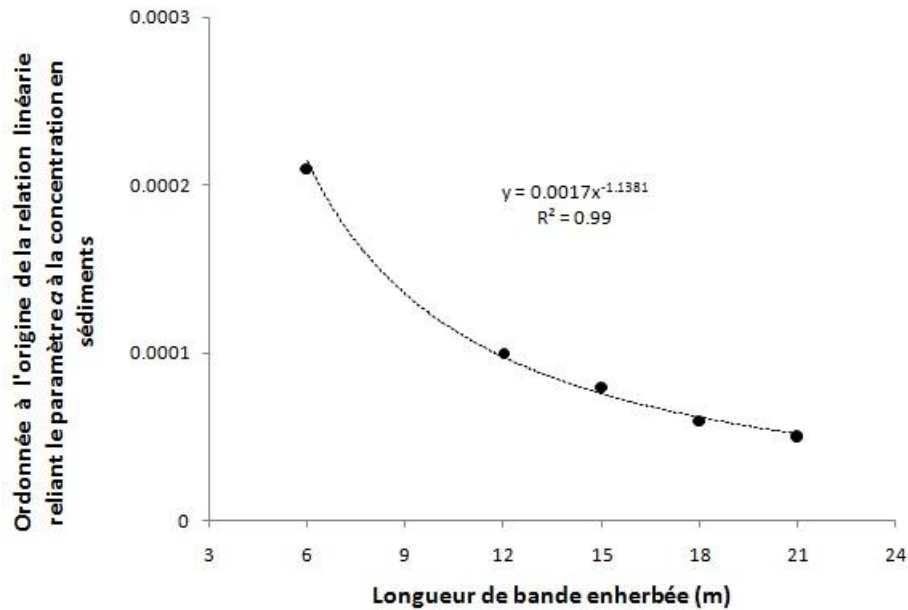


FIGURE 73 : RELATION ENTRE LA LONGUEUR DE BANDE ENHERBEE ET L'ORDONNEE A L'ORIGINE DE LA RELATION LINEAIRE RELIANT LE PARAMETRE ADE L'EQUATION 1 A LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS POUR LES DONNEES D'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS SIMULEES PAR VFSSMOD POUR UN CN = 84

La Figure 74 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.

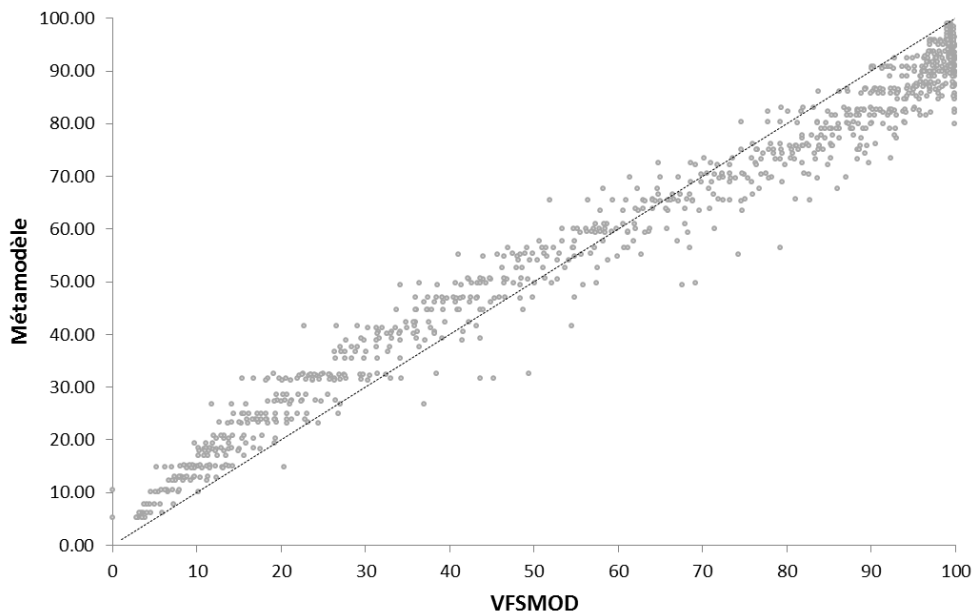


FIGURE 74 : RELATION ENTRE LES VALEURS D'EFFICACITE DE RETENTION EN SEDIMENTS ISSUES DU MODELE VFSSMOD ET CELLES ISSUES DU METAMODELE REPOSANT SUR L'AIRE CONTRIBUTIVE, LA CONCENTRATION EN SEDIMENTS ET LA LONGUEUR DE BANDE ENHERBEE (EQUATION3) POUR LES DIFFERENTS SCENARIIS RELATIFS AU CURVE NUMBER 84. LA DROITE EST LA DROITE 1 :1.

7.6 PERSPECTIVES

A ce stade de la convention, le métamodèle (Equation 4) n'est pas encore finalisé et doit être amélioré pour obtenir notamment une dispersion des résidus plus aléatoire. Elle sera ensuite généralisée aux autres valeurs de CN. L'adaptation de la méthodologie pour la détermination de l'efficacité des bandes enherbées développée dans le cadre de la convention GISER 2009-2011 et l'implémentation du métamodèle qui sera mis au point doit ensuite permettre d'évaluer l'efficacité des bandes enherbées actuellement en place en RW. Pour finir, une analyse de la variance appliquée aux simulations effectuées via le modèle VFSSMOD 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.

8 PROPOSITIONS DE TAUX D'ÉROSION MAXIMUM SOUHAITABLES POUR LES SOLS DE WALLONIE SUR BASE DE LA CARTE NUMÉRIQUE DES SOLS

Dans le cadre de la convention GISER 2009-2011, une proposition pour le calcul du taux d'érosion maximal souhaitable pour les sols de Wallonie a été formulée (Equation 8). Le taux d'érosion souhaitable pour un sol donné (T_{si}) est considéré comme étant le taux érosion maximum souhaitable défini pour l'ensemble des sols (T_s) pondérée en fonction de l'épaisseur de l'horizon A, de la profondeur du sol et de la charge caillouteuse. Il était proposé d'utiliser comme taux maximum d'érosion souhaitable le seuil de 12.5 t/ha/an utilisé aux Etats-Unis.

$$T_{si} = [\text{Coeff_A} \cdot Z_A + \text{Coeff_B} \cdot Z_P \cdot (1-C)] \cdot T_s$$

ÉQUATION 8

où T_s = taux d'érosion maximum souhaitable, T_{si} = taux d'érosion maximum souhaitable pour le sol i , Coeff_A et Coeff_B = coefficients de pondération de l'horizon A (horizon de surface enrichi en matière organique = Ah, Ap) et du profil, C = limite inférieure de la classe de charge caillouteuse volumique, et Z_A et Z_P sont, respectivement, les coefficients traduisant l'épaisseur de l'horizon A et du profil.

Suite à cette proposition, une collaboration avec l'équipe du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (PCNSW) a été mise en place. Il en ressort que l'information sur l'horizon A n'est disponible que pour les sols limoneux de la série Aba et ne peut donc pas être employée pour l'ensemble des sols de Wallonie. Par ailleurs, l'horizon A fait référence à l'épaisseur combinée des horizons Ah (ou Ap) et E (éluvial) et donc inclus un horizon non enrichi en matière organique. Enfin, la présence éventuelle d'un horizon Ah épais résultant de l'accumulation de colluvions riches en matière organique n'est pas inclus dans la notion d'horizon A épais. L'épaisseur de l'horizon A ne sera donc pas pris en compte par la suite. L'information sur la profondeur du sol est quant à elle disponible pour les différents types de sol. Cependant, l'extraction de cette information à partir de la carte numérique des sols n'est pas triviale et nécessite une connaissance approfondie de la structure de la légende de la carte. En effet, selon le type de sol considéré, l'information sur la profondeur du sol est à rechercher parmi les 13 possibilités fournies à la Figure 75. L'équipe du PCNSW a donc défini pour chacun des sigles de la carte des sols, des codes permettant de retrouver de manière simple et directe l'information sur la profondeur du sol. De plus, des codes renseignant sur la présence et la nature d'une contrainte sont renseignés (Figure 76).

En effet, la présence d'une contrainte comme une nappe permanente (gley) ou temporaire (pseudo-gley), un fragipan ou encore la présence d'une charge caillouteuse importante diminue la profondeur « effective » du profil de sol. Cependant, certaines contraintes comme le fragipan, posent problème pour leur intégration dans le calcul d'érosion maximum souhaitable car l'équipe du PCNSW estime que seuls 10% des sols présentant un fragipan sont renseignés sur la Carte Numérique des Sols de Wallonie. En ce qui concerne la présence d'une nappe, seules les nappes permanentes seront prises en considération en tant que contrainte. En effet, les nappes temporaires sont par définition absentes pendant les mois les plus chauds de l'année, où l'évapotranspiration est la plus élevée, et donc lorsque les fonctionnalités du sol sont les plus actives. Il ne semble donc pas judicieux de considérer que la présence de pseudo-gley limite la capacité du sol à remplir ses fonctions par une limitation de sa profondeur.

Prof.	00	Pas de symbole informant de la profondeur du sol
	01	Symbole informant de la profondeur du sol : SUBSTRAT OU/ET PHASE_1
	02	Symbole informant de la profondeur du sol : SUBSTRAT / VAR_DEV_1 (<i>part</i>)
	03	Symbole informant de la profondeur du sol : VAR_DEV_1 (<i>part</i>)
	04	Symbole informant de la profondeur du sol : VAR_DEV_4
	05	Symbole informant de la profondeur du sol : VAR_MAT_1
	06	Symbole informant de la profondeur du sol : PHASE_1 / VAR_MAT_1
	07	Symbole informant de la profondeur du sol : VAR_MAT_3
	08	Symbole informant de la profondeur du sol : SUBSTRAT OU/ET PHASE_1 / VAR_MAT_3
	09	Symbole informant de la profondeur du sol : PHASE_1
	10	Symbole informant de la profondeur du sol : PHASE_2
	11	Symbole informant de la profondeur du sol : PHASE_2 OU/ET SUBSTRAT
	12	Symbole informant de la profondeur du sol : PHASE_5

Figure 75 : Codes attribués pour déterminer où trouver l'information sur la profondeur du sol dans la table d'attribut de la carte numérique des sols de Wallonie (source : PCNSW)

Présence d'une contrainte	10	horizon réduit (gley)
	20	horizon induré (fragipan)
	30	sol devenant plus fin (textures Z ou S) ou plus lourd (textures L, A, E, U ou G) en profondeur
	31	horizon réduit (gley) et sol devenant plus lourd (textures L, A, E, U ou G) en profondeur
	40	sol devenant plus grossier ou plus léger en profondeur
	41	horizon réduit (gley) et sol devenant plus grossier ou plus léger en profondeur
	42	horizon induré (fragipan) et sol devenant plus léger en profondeur
	50	sol devenant plus caillouteux en profondeur
	52	horizon induré (fragipan) et sol devenant plus caillouteux en profondeur

Figure 76 : Codes attribués pour déterminer la nature d'un horizon limitant lorsqu'il est présent (source : PCNSW)

La Figure 77 fournie par l'équipe du PCNSW reprend 15 codes de profondeur qui renseignent la profondeur du profil de sol ou la profondeur à laquelle la contrainte est présente. Il s'agit généralement d'intervalles de profondeur plus ou moins importants. Cependant, certains types de sol ont une information sur la profondeur qui n'est pas exploitable puisque le code 15 renseigne une profondeur « variable » (variations importantes de l'épaisseur sur de courtes distances) et le code 02 une profondeur comprise entre 0 et plus de 125 cm. Pour ce dernier code, il s'agit principalement des sols AbB associés aux sols limoneux de versant. Ces derniers peuvent se décliner sous trois formes AbB1, AbB2 et AbB3 selon la profondeur à laquelle on retrouve l'horizon C. Cette information indiquant la profondeur du sol est disponible sur les levés effectués par les pédologues mais a été écartée des « minutes » et de la carte finale. Il est donc impossible d'associer sur base de la carte numérique des sols une profondeur à ce type de sol.

Pour les autres codes, il convient de définir la valeur à prendre au sein de l'intervalle pour définir la profondeur du profil. La limite inférieure est intéressante si l'on veut appliquer le principe de précaution mais aboutira à des résultats plus sévères en termes d'érosion souhaitables que si l'on utilise la limite supérieure de la classe. La valeur moyenne de la classe peut également être utilisée. Il est proposé de tester chacune des options pour en évaluer l'impact sur le résultat final.

		SUBSTRAT	VAR_DEV_1	VAR_DEV_4	VAR_MAT_1	VAR_MAT_3	PHASE_1	PHASE_2	PHASE_5
00	> 125 cm		0	1			0		
01	généralement > 125 cm						- (. . p. et ou G . p .)		
02	0 à > 125 cm			-			- (G . p .)		
03	< 125 cm				a	(x)			
04	> 80 cm	(.)-	0_1				0_1		
05	80-125 cm	(.) ou . 1u	1				1		
06	généralement > 80 cm		- (p)						
07	> 40 cm						0_1_2		
08	40-125 cm	(.)2- (.)-		2			1_2 2	3	
09	40-80 cm	. 2 ou . 2u	(c)				2 ou 7	3	
10	< 40 cm			3					
11	20-125 cm	(.)-					2_3 (G) 2_4 (G)		
12	20-80 cm	. 2_3 (G) . 2_4 (G)					2_3 (G) 2_4 (G)		
13	20-40 cm	. 3 (G) . 4 (G)					3 (G) 4 (G)	5	
14	< 20 cm						6		
15	variable	. - ou . /							P/T/U

combinaison de deux symboles (SUBSTRAT et PHASE_1)

Figure 77 : Codes de profondeur renseignant sur la profondeur du profil de sol ou de l'horizon limitant (source : PCNSW)

La profondeur du sol et la présence d'une contrainte sont deux informations pertinentes disponibles à l'échelle de la Région wallonne sur base de la carte numérique des sols pour la détermination de l'érosion maximum souhaitable des sols de Wallonie.

A ce stade, la collaboration avec l'équipe du PCNSW a permis de structurer cette information de manière à pouvoir être plus facilement extraite. Il convient maintenant d'adapter l'équation 1 pour la détermination du taux d'érosion tolérable et de procéder à sa mise en œuvre sur base des outils fournis par l'équipe du PCNSW.

VOLET COMMUNICATION

1 JOURNÉES D'ÉTUDE, COLLOQUES

FOIRE DE LIBRAMONT 2011

La cellule GISER a assuré une permanence à la foire de Libramont au sein du stand de la DRCE.

JOURNÉE D'ÉTUDE GISER

La 1ère journée d'étude GISER s'est déroulée le 16/11 à l'Espace Senghor à Gembloux, avec près de 250 participants (sur 680 invitations).

Les présentations ont porté sur les actions menées en Flandre, en Seine-Normandie, en Autriche et en Wallonie : Plan PLUIES, Erruissol, Modèle de calcul de l'érosion et cartographie (échelle parcelle et bassin versant). Les diaporamas correspondant sont disponibles au téléchargement sur www.giser.be

Une session de posters était exposée en parallèle, de même que l'exposition PROSENSOLS.



FORMATION CONSEILLERS MAE

Une journée d'étude a été organisée en décembre 2011 à destination des conseillers en méthodes agro-environnementales. La journée était partagée en une matinée en salle et une après-midi de visites sur le terrain, à Pont-à-Celles.

2 CONFÉRENCES D'INFORMATION

6 septembre 2011	Jodoigne	Séance d'informations avec les agriculteurs
22 septembre 2011	Orp-Jauche	Réunion d'une partie de la commission agricole communale
11 octobre 2011	Wavre	Séance d'informations organisée par le CR Dyle-Gette
13 décembre 2011	Orp-Le-Grand	Réunion présentant les aménagements GISER dans le cadre du remembrement d'Orp-Jauche
14 décembre 2011	Jodoigne	GAL culturalité réunion concernant l'appel à projet relatif au « Renforcement du maillage écologique intercommunal et lutte contre l'érosion sur le canton de Jodoigne »
14 décembre	Wavre	Gouverneur du BW « Table Ronde inondation »
15 décembre 2011	Pont-à-Celles	Journée érosion avec les conseillers MAE
15 décembre 2011	Pont-à-Celles	Séance d'information érosion à destination des agriculteurs de la commune
21 décembre 2011	Jambes	Réunion de collaboration projet PROSENSOLS.
12 janvier 2012	Wavre	conférence du CPAR « Parcelles en pente (R10-R15) : obligations, recours et réduction du risque érosif »
16 février 2012	Jodoigne	Journée annuelle de l'UAW du BW « Erosion, coulées de boues...»
16 février 2012	Clabecq	Contrat de rivière Senne : groupe de travail érosion
20 février 2012	Jambes	Réunion avec la direction de l'archéologie
31 janvier 2012	Jehay	Journée d'étude SPW et visites d'aménagements sur le thème « Lutte contre l'érosion et les coulées de boues : quelles solutions pratiques en grandes cultures ? »
01 mars 2012	Walcourt	Séance d'information érosion à destination des agriculteurs de la commune

06 mars 2012	Nivelles	AG de la FIWAP « Maîtriser l'érosion et le ruissellement : un défi pour l'avenir de la pomme de terre en Wallonie ! »
07 mars 2012	Jodoigne	Réunion de sélections des projets relatifs au « Renforcement du maillage écologique intercommunal et lutte contre l'érosion" sur le canton de Jodoigne »
27 mars 2012	Herve	Journée d'étude SPW et visites d'aménagements sur le thème « Lutte contre l'érosion et les coulées de boues en Haute Ardenne »
29 mars 2012	Braine le Château	Soirée d'information à destination des agriculteurs

Les dates liées à la démarche avec les communes sont reprises dans le volet expertise (état d'avancement).

3 ACTIONS DANS LA PRESSE

RTBF Radio dans l'émission NUWA du 16/9/2011 (5'15"), agroforesterie, MAE, érosion.

RTBF Radio sur le Journal parlé de 7h30 le 14/11/2011 (1'42"), en accompagnement d'un témoignage d'agriculteur à Orp.

Rédaction d'un Dossier de presse à l'occasion de la Journée d'étude du 16/11

Rédaction du discours du Ministre (pour partie) à l'occasion de la Journée d'étude du 16/11.

Différents articles dans la presse locale (écrite et TV)

Emission TV-COM (Brabant wallon) : débat autour des coulées de boues, enregistrée le 29/3/2012.

4 PARTENARIATS

INTERREG FLANDRES-WALLONIE

L'équipe GISER a rencontré en juin 2011 les équipes flamandes de la KUL et VMM en vue d'un échange de pratique au sein du projet interregional érosion Wallonie-Flandres.

PROVINCE DE BRABANT WALLON

Giser a participé à la Table ronde sur les inondations, organisée par la Gouverneure du BW en décembre 2011 à Wavre.

Giser a noué un dialogue avec les services agricoles provinciaux (CPAR, à La Hulpe), en vue de travailler de concert sur les aspects pratiques liés au fonctionnement des dispositifs anti-érosifs (sédimentation amont, dégâts aux cultures...)

5 SITE WEB

Mise en ligne du site web www.giser.be et insertion des documents de référence disponibles.



Une journée « modèle »
Posted on 17 novembre 2011



Beau succès pour la 1ère journée d'étude GISER à Gembloux ce 16 novembre ! Près de 250 participants et des échanges fructueux autour du thème de l'érosion en Wallonie mais aussi ailleurs, avec la participation de conférenciers venus de Flandre, de Seine-Normandie et d'Autriche. Les équipes de recherche de GISER ont présenté les modèles de ruissellement et d'érosion développés en Wallonie, ainsi que l'organisation du plan PLUIES. Merci à tous pour votre participation !

Les présentations sont disponibles au téléchargement ici.

Publié dans **Activités**

CONTACT
Cellule GISER
SPW DG 03 - D.GARNE
Av. Prince de Liège
5100 Jambes
081 336 473
giser.dgarne@spw.wallonie.be

DOCUMENTS GISER

- Communiqué de presse
- Erosion 243
- Journée d'étude 2011
- Lutter contre l'érosion

DOSSIERS THÉMATIQUES

- Bandes enherbées
- Erosion en Belgique
- Infos TCS
- MAE bande anti-érosive
- MAE tournière enherbée

LIENS UTILES

Le site est sous WordPress, un utilitaire web 2.0 qui travaille comme un blog, avec une mise en forme de base. Cela signifie que chaque membre de l'équipe peut accéder au site à partir d'une connexion internet et y « poster » un article, un document, une photo... L'avantage est d'avoir un site dynamique, très réactif par rapport à la vie du projet. L'inconvénient est que le graphisme est limité au canevas proposé (et relativement simple).

Le coût engagé est de 79 euros/an pour la réservation du nom de domaine et la location de l'espace avec utilisation illimitée de WordPress (*voir annexe*).

Une amélioration du graphisme et la mise en ligne d'utilitaires plus avancés (toujours sous WordPress) impliquerait un budget de l'ordre de 1500 à 2000 euros. Cette option n'est pas retenue à ce stade vu le coût, et les perspectives d'intégrer le site sous le portail Wallonie.be dans un futur + /- proche.

BIBLIOGRAPHIE

Brugioni M., Mazzanti B., Franceschini S., HOW MEANINGFUL IS FLASH FLOOD RISK MAPPING?, acte de colloque.

Chow V.T. (1964). *Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology*. New york : Mc Graw Hill.

Collectif, 2004. *Plans de prévention des risques naturels (PPR) Les risques d'inondation Le ruissellement péri-urbain*, Direction de la Prévention des pollutions et des risques, Paris, France.

Cordonnier H., Bielders C., Appui à la mise en oeuvre 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 Général de l'Agriculture, 2007.

Cordonnier H., Bielders C., Etat des Lieux de la Protection des Sols agricoles en région wallonne. Convention ELIPSOL. Université catholique de Louvain – Direction Général de l'Agriculture, 2008.

Dehotin, J., P. Breil, 2011. Rapport technique du projet IRIP : Cartographie de l'aléa ruissellement, Cemagref-Publications, France.

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.

Direction Générale de l'Agriculture -Service Public de Wallonie, Earth and Life Institute- Université catholique de Louvain, Gembloux AgroBioTech-Université de Liège. Rapport final de la convention GISER 2009-2011, 2011

Forte F., Pennetta L., Strobl R. O., 2005. Historic records and GIS applications for flood risk analysis in the Salento peninsula (southern Italy), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 833–844.

Patton C., & Schumm S.A. (1975). *Gully erosion, Northwestern Colorado: a threshold phenomenon*. *Geology* 3, 88– 90.

Payraastre O., Néron A., Gaume E., 2011. *EPRI, Mission ruissellement et crues soudaines*, Rapport final, Laboratoire central des ponts et Chaussées, Nantes, France.

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

Vandekerckhove L., Poesen J., Oostwoud Wijdenes D., & De Figueiredo T. (1998). *Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean*. *Catena*, 33(3-4), 271-292.

Van Dyck S. (2011). *Contribution à l'étude des ravines en Wallonie : distribution et détermination du seuil de formation*. Mémoire de fin d'études. Université catholique de Louvain.

Vanwalleghe T., Poesen J., Nachtergaele J., & Verstraeten G. (2005). *Characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils*. Elsevier, *Geomorphology* 69, 76– 91.

Verstraeten G., Poesen J., Demarée G., Salles C., Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research*, 111, D22109, 2006.

Yoder D. C., Porter J. P., Laflen J. M., Simanton J. R., Renard K. G., McCool D. K., Foster G. R., Cover-Management Factor (C), in Renard K. G. et al. (ed), *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, *Agricultural Handbook* (703), pp 143-181, 1997.

ANNEXES

**ANNEXE 1 : VALEURS MOYENNES ANNUELLES DU FACTEUR C
TOUTES REGIONS CONFONDUES ET POUR LA REGION LIMONEUSE
AINSI QUE LES VALEURS DE LA LITTERATURE (GABRIELS ET AL.,
2003 ET VERSTRAETEN ET AL., 2001) POUR LES MONOCULTURES
(GISER 2009-2011).**

	Monoculture	Toutes régions agricoles		Région Limoneuse		Gabriels et al., 2003	Verstraeten et al., 2001
		Labour d'automne	Labour de printemps	Labour d'automne	Labour de printemps		
Facteur C	Maïs	0.55	0.57	0.53	0.55	X	0.45
	Froment	0.42		0.40		X	0.34
	Escourgeon	0.35		0.31		X	X

**ANNEXE 2 : VALEURS MOYENNES ANNUELLES DU FACTEUR C
TOUTES REGIONS CONFONDUES ET POUR LA REGION LIMONEUSE
AINSI QUE LES VALEURS DE LA LITTERATURE (GABRIELS ET AL.,
2003 ET VERSTRAETEN ET AL., 2001) POUR LES ROTATIONS A 2
CULTURES (GISER 2009-2011).**

Succession de deux cultures			Toutes régions agricoles		Région Limoneuse		Gabriels et al., 2003	Verstraeten et al., 2001
			Labour d'automne	Labour de printemps	Labour d'automne	Labour de printemps		
Facteur C	Froment-Betterave	2 F et 1 B	0.40	0.39	0.37	0.36	X	X
		2 B et 1 F	0.38	0.38	0.35	0.35		
	Froment-Maïs	2 F et 1 M	0.46	0.45	0.43	0.43	0.32	0.41
		2 M et 1 F	0.50	0.50	0.48	0.48		
	Froment- PdT	2 F et 1 PdT	0.45	0.44	0.44	0.42	X	X
		2 PdT et 1 F	0.49	0.50	0.48	0.49		
	Froment-Lin	2 F et 1 L	0.48	0.47	0.46	0.45	X	X
		2 L et 1 F	0.55	0.55	0.54	0.55		
	Froment-Colza	2 F et 1 C	0.40		X	X	X	X
		2 C et 1 F	0.38					
	Froment-Escourgeon	2 F et 1 E	0.40		0.37		X	X
		2 E et 1 F	0.37		0.34			
	Escourgeon- PdT	2 E et 1 PdT	0.40	0.39	0.38	0.37	X	X
		2 PdT et 1 E	0.46	0.47	0.45	0.46		
	Escourgeon-Lin	2 E et 1 L	0.42	0.41	0.40	0.39	X	X
		2 L et 1 E	0.51	0.52	0.50	0.51		
	Escourgeon-Colza	2 E et 1 C	0.35		X	X	X	X
		2 C et 1 E	0.36					
	Epeautre- Betterave	2 Ep et 1 B	0.41	0.41	X	X	X	X
		2 B et 1 Ep	0.39	0.39				
	Epeautre-Maïs	2 Ep et 1 M	0.48	0.47	X	X	X	X
		2 M et 1 Ep	0.51	0.51				
	Epeautre- PdT	2 Ep et 1 PdT	0.47	0.46	X	X	X	X
		2 PdT et 1 Ep	0.50	0.51				

**ANNEXE 3 : VALEURS MOYENNES ANNUELLES DU FACTEUR C
TOUTES REGIONS CONFONDUES ET POUR LA REGION LIMONEUSE
AINSI QUE LES VALEURS DE LA LITTERATURE (GABRIELS ET AL.,
2003 ET VERSTRAETEN ET AL., 2001) POUR LES ROTATIONS A 3
CULTURES (GISER 2009-2011).**

Succession de trois cultures			Toutes régions agricoles		Région Limoneuse		Gabriels et al., 2003	Verstraeten et al., 2001
			Labour d'automne	Labour de printemps	Labour d'automne	Labour de printemps		
Facteur C	Betterave-Froment-PdT	B-F-PdT	0.44	0.44	0.41	0.42	0.28	0.31
		PdT-F-B	0.44	0.44	0.42	0.42		
	Betterave-Froment-Maïs	B-F-M	0.44	0.44	0.41	0.41	0.29	X
		M-F-B	0.44	0.45	0.41	0.41		
	Betterave-Froment-Lin	B-F-L	0.46	0.47	0.44	0.45	X	X
		L-F-B	0.46	0.46	0.44	0.44		
	Maïs-Froment-PdT	M-F-PdT	0.50	0.51	0.48	0.49	0.39	0.38
		PdT-F-M	0.50	0.49	0.48	0.48		
	PdT-Escourgeon-Betterave	X	0.41	0.41	0.39	0.39	0.28	X
	Lin-Escourgeon-Betterave	X	0.43	0.43	0.41	0.41	X	X
	PdT-Escourgeon-Maïs	X	0.47	0.47	0.45	0.45	0.39	X
	Escourgeon-PdT-Froment	E-PdT-F	0.43	0.42	0.41	0.40	X	X
		F-PdT-E	0.43	0.42	0.41	0.40		
	Escourgeon-Lin-Froment	E-L-F	0.45	0.44	0.43	0.42	X	X
		F-L-E	0.45	0.44	0.43	0.42		
	Escourgeon-Colza-Froment	Toutes combinaisons	0.38		X	X	X	X
	Froment-Escourgeon-Betterave	X	0.37	0.37	0.34	0.33	X	0.26
	Froment-Escourgeon-Maïs	X	0.43	0.43	0.41	0.40	0.32	0.41

ANNEXE 4 : CURVE NUMBER POUR LES CULTURES (CHOW, 1964)

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group—			
Cover type	Treatment ²	Hydrologic condition ³	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	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	Straight row + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	Contoured + 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
	Contoured & terraced + CR	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	Straight row + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	Contoured	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	Contoured + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	Contoured & terraced + CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

¹ Average runoff condition.

² Crop residue cover (CR) applies only if residue is on at least 5% of the surface throughout the year.

³ Hydrologic condition is based on combination 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 in rotations, (d) percent of residue cover on the land surface (good $\geq$ 20%), and (e) degree of surface roughness.

Poor: Factors impair infiltration and tend to increase runoff.

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

ANNEXE 5 : CURVE NUMBER LES TERRES AGRICOLES AUTRES QUE CULTURES (CHOW, 1964)

Cover type	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group—			
		A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ²	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ³	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ⁴	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or tree farm). ⁵	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods ⁶	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ⁴	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

¹ Average runoff condition.

² 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.

³ Poor: <50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: > 75% ground cover.

⁴ Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

⁵ CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

⁶ Poor: Forest, litter, small trees, and brush have been 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 6 : CURVE NUMBER POUR LES ZONES URBAINES (CHOW,1964)

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group—			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area ²	A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
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	69	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
<i>Developing urban areas</i>					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) ⁵		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2a).					

¹ Average runoff condition.

² The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. 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 CN's shown are equivalent to those of pasture. Composite CN's may be computed for other combinations of open space cover type.

⁴ Composite CN's for natural desert landscaping should be computed based on the impervious area (CN = 98) and the pervious area CN. The pervious area CN's are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

⁵ Composite CN's to use for the design of temporary measures during grading and construction should be computed using the degree of development (impervious area percentage) and the CN's for the newly graded pervious areas.