Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles
et la Promotion des Technologies propres, ASBL
Sous la présidence de Son Altesse Royale le Prince Laurent de Belgique

ETAT DE LA QUESTION

Cahier N° 10

Mai 2005

Nederlandstalige versie verkrijgbaar op aanvraag

Mission de l'IRGT

L'IRGT contribue à promouvoir en Belgique la gestion durable des ressources naturelles, ainsi que la diffusion des technologies propres, en y intégrant les dimensions économiques et sociales. Dans ces domaines, l'Institut est un soutien et une plate-forme d'échanges pour les Régions.

L'appui des Régions et des sponsors

Les moyens dont dispose l'IRGT viennent des trois Régions ainsi que du sponsoring.
Nous tenons à les en remercier chaleureusement et sommes à l'écoute de leurs préoccupations environnementales.

RÉGION WALLONNE

Avec l'aide de la Région de Bruxelles-Capitale et de l'IBGE

DEXIA Banque

belgacom

BanqueNationaleBank DE BELGIQUE VAN BELGIE

Ce document a été imprimé sur papier respectueux de l'environnement

Infographie : nathalie.clement@cimaise.be

EROSION des SOLS en BELGIQUE

Mai 2005

ETAT DE LA QUESTION

Etude effectuée par : Katleen Gillijns[1], Gerard Govers[1], Jean Poesen[1], Erik Mathijs[2], Charles Bielders[3]

[1] K.U.Leuven, Faculté des Sciences, Département de géographie physique et régionale, Laboratoire de géomorphologie expérimentale.

[2] K.U.Leuven, Faculté d'agronomie et de Sciences biologiques appliquées, Département d'agrotechnique et d'économie.

[3] U.C.L., Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, Département des Sciences du milieu et de l'aménagement du territoire, Unité de Génie rural.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE 1

PARTIE I : PROCESSUS 3

1.1. Définition de l'érosion des sols 3
1.2. Érosion hydrique 3
1.3. Erosion par le travail du sol 4
1.4. Perte de terre par l'arrachage des cultures à racines et à tubercules 4
1.5. Erosion éolienne 5
1.6. Transport de masse 5
1.7. Erosion en galerie 6
1.8. Erosion des berges 6

PARTIE II : FACTEURS ET ACTEURS 7

2.1. Facteurs 7
2.1.1. Précipitations 7
2.1.2. Sol 8
2.1.3. Topographie 9
2.1.4. Couvert végétal et occupation du sol 10
2.2. Acteurs 11

PARTIE III : ESTIMATIONS 15

3.1. Mesures de l'érosion des sols: indicateurs et méthodes de mesure 15
3.2. Prévisions de l'érosion des sols 16
3.2.1. Prévisions de l'érosion des sols en Région flamande 16
3.2.2. Prévisions de l'érosion des sols en Région wallonne 18
3.3. Intensité du processus d'érosion 18
3.3.1. Valeurs actuelles du taux d'érosion 18
3.3.2. Taux actuelles de transfert de sédiment pour les petits bassins versants 20
3.3.3. Valeurs historiques pour le taux d'érosion et le transfert de sédiment 20

PARTIE IV : CONSEQUENCES 27

4.1. Conséquences locales de l'érosion hydrique 28
4.2 . Conséquences en aval de l'érosion hydrique 28

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'EROSION 31

5.1. Aperçu général des mesures de lutte contre l'érosion 31
5.1.1. Mesures portant sur les techniques de culture 31
5.1.2. Mesures portant sur la végétation 34
5.1.3. Mesures physiques 34
5.1.4. Modification de l'occupation du sol 35
5.2. Efficacité des mesures de lutte contre l'érosion en ce qui concerne la production de sédiments 36
5.3. Implications économiques, écologiques et sociales des mesures de lutte contre l'érosion 41
5.3.1. Implications financières 41
5.3.2. Implications écologiques 42
5.3.3. Implications sociales 42
5.3.4. Durabilité des mesures de lutte contre l'érosion 43
5.4. Mise en œuvre des mesures de lutte contre l'érosion 44

PARTIE VI : PROJETS TERMINES ET EN COURS CONCERNANT L'EROSION DES SOLS 45

6.1. Aperçu général des projets achevés et en cours concernant l'érosion des sols au 31/12/2003 45
6.6.1. Projets achevés 45
6.6.2. Projets en cours 51
6.2. Projets de démonstration concernant l'érosion des sols 54

PARTIE VII : MESURES POLITIQUES DE GESTION 57

7.1. Mesures politiques de gestion en Région flamande 57
7.1.1. Soutien financier des agriculteurs 57
7.1.2. Soutien financier des Communes et Provinces 60
7.1.3. Soutien financier des Polders et Wateringues 61
7.2. Mesures politiques de gestion en Région wallonne 62

RÉSUME ET PERSPECTIVES 65

BIBLIOGRAPHIE 67

Composition du Comité d'Accompagnement

Le Comité d'Accompagnement, qui est animé par Jacques Wirtgen, Ir. Directeur de l'IRGT, assisté de Mark Duyck, gestionnaire de projets scientifique était composé de :

Prof. Dr. Ir. M. Acheroy, membre du Comité Consultatif Scientifique (CCS) de l'IRGT;
M. G. Bollen, Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Agriculture, Direction de l'Espace rural, Directeur;
Dr. Ir. V. Brahy, Ministère de la Région wallonne, DGRNE, Direction de la Coordination de l'Environnement, Cellule Etat de l'Environnement wallon, Attaché scientifique;
Prof. Dr. Ir. S. Dautrebande, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Unité d'Hydrologie et d'Hydraulique agricole (Génie rural);
M. F. Dethier, Agrenwal;
Mme. G. Detiège, Phytofar – Fédération Belge des Industries Phyto-pharmaceutiques, Secrétaire-Générale;
Ir. P. Dewil, Ministère wallon de l'Equipement et des Transports, Service d'Etudes Hydrologiques, Premier Ingénieur des Ponts et Chaussées;
Ir. N. Lécuyer, Inter-Environnement Wallonie, Chargée de mission;
M. E. Poelman, Région flamande – "Provinciaal Centrum voor Milieuonderzoek Oost-Vlaanderen";
Dr. Ir. M. Swerts, Ministère de la Région flamande, AMINAL, Département des Sols;
Ir. D. Van Gijseghem, Ministère de la Région flamande, Administration de l'agriculture et de l'horticulture, Directeur;
Dr. M. Van Steertegem, Membre du CCS de l'IRGT;
Dr. K. Vandaele, Région flamande – "Interbestuurlijke Samenwerking Land & Water", Wateringue de Saint-Trond.

PRÉFACE

En 2002, le Conseil d'Administration de l'IRGT – dans lequel les trois Régions sont représentées – a décidé d'inclure dans la Programmation de l'Institut une étude pluriannuelle sur l'érosion des sols.

L'IRGT a constitué un Comité d'Accompagnement, dans lequel des experts de la Région flamande et de la Région wallonne ont reçu pour tâche d'assurer la conduite du projet ainsi que de contribuer à son niveau scientifique.

En une première phase – conformément à la logique de conduite des projets à l'IRGT – un état de la question des connaissances en la matière, des pratiques existantes et des initiatives en cours a été fait, en vue de déterminer, sur une base argumentée, les objectifs de la Phase 2, qui constituera l'étude proprement dite. A la fin de celle-ci, l'IRGT proposera des recommandations de gestion aux Régions et aux autres acteurs.

Pour ce qui est de l'exécution de la première phase en question, l'IRGT a fait appel au Laboratoire de Géomorphologie expérimentale et au Centre d'Etudes économiques agricoles et environnementales de la « Katholieke Universiteit Leuven », qui ont collaboré avec l'Unité de Génie rural de l'Université Catholique de Louvain. Le présent document, qui peut également être consulté sur le site Internet de l'IRGT, est le résultat de cette Phase. Quoiqu'il soit reconnu que la complexité de la problématique fasse que ce document ne s'adresse pas au « grand public », l'Institut a néanmoins décidé de le publier sous forme d'un Cahier IRGT, plutôt que d'une Notice scientifique. En effet, ceux qui ont pu prendre connaissance des projets de ce document, ont reconnu sa valeur et son caractère unique, en tant que synthèse de la problématique de l'érosion des sols en Belgique. Il sera source d'informations et de références pour de nombreux étudiants, chercheurs et membres des Administrations.

Se basant sur les recommandations finales de la Phase 1 – et après avis du Comité Consultatif Scientifique de l'IRGT – le Conseil d'Administration a décidé de concentrer les efforts de la Phase 2 sur une comparaison détaillée des méthodes de prévention et de protection contre l'érosion (voir Partie V), en prenant en compte les implications sociales, économiques et écologiques. Il sera essentiel que cette analyse soit menée sous l'angle de la société dans son ensemble, tout autant que sous celui du monde agricole : des mesures « soutenables » doivent être du domaine du possible pour les agriculteurs. Complémentairement, une analyse comparative des modèles de mesure d'érosion des sols utilisés en Flandre et en Wallonie sera effectuée.

Une phase ultérieure sera axée sur la communication et la sensibilisation, en particulier celles des agriculteurs, qui sont des acteurs essentiels de gestion des espaces ouverts.

Jacques Wirtgen, Ir
Directeur

1.1. Définition de l'érosion des sols

L'érosion du sol est un processus au cours duquel des particules de sol sont détachées et déplacées par un vecteur (eau, vent, travail du sol) (Poesen et Govers, 1994). Dans cette partie, nous donnons un aperçu de tous les processus d'érosion du sol. En Belgique, les processus d'érosion du sol sont principalement actifs dans les champs (fig.1).

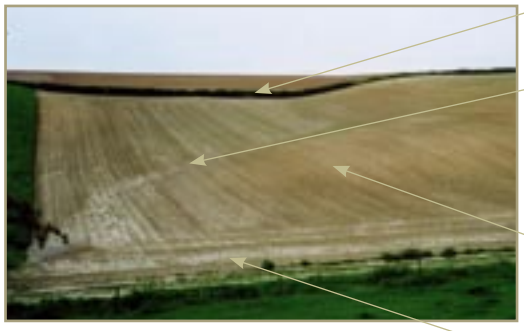

Fig. 1 Champ dans la région limoneuse belge touché par l'érosion par le travail du sol et l'érosion hydrique

1.2. Érosion hydrique

Fig. 2 Rigoles réparties uniformément sur la pente et sédimentation au pied de la pente (Poesen, J.)

Fig. 3 Ravine sur un champ à Letterhoutem (Poesen, J.)

Pendant ou immédiatement après de fortes précipitations, les particules de sol sont détachées sous l'impact des gouttes et déplacées par le ruissellement de surface. Ce processus entraîne une érosion diffuse par couches (érosion inter-rigoles), identifiable par la formation de pédestals sous les résidus de culture, les pierres etc. A l'échelle du paysage, l'érosion hydrique se traduit par la formation de rigoles ou de ravines qui se différencient sur base de section du chenal ainsi formé : si la section excède 900 cm^2, il s'agit d'une ravine, dans le cas contraire on parlera de rigole (Poesen, 1993).

Les rigoles et ravines se différencient également sur base de leur localisation. Les rigoles sont généralement réparties de manière uniforme sur la pente (fig.2), alors qu'une ravine suit le chemin de drainage naturel du paysage (ravines sur champs), ou se développe là où l'eau de pluie qui s'écoule croise un talus (ravines de talus). On trouve également régulièrement des ravines le long des éléments linéaires du paysage, comme les limites des parcel-

les, les sillons, les ornières de tracteur etc. L'aspect morphologique d'une ravine diffère selon qu'elle ait été formée en hiver ou en été. En moyenne, les ravines d'hiver sont plutôt étroites (50 cm) et profondes (25 cm) alors que les ravines d'été sont relativement peu profondes (10 cm) et larges (300 cm). Ceci est dû au fait que 1. les débit de pointe de l'eau de ruissellement sont plus importants en été qu'en hiver et 2. l'érodibilité des lits de semence limoneux séchés à l'air et présentant une couverture végétale relativement faible est 5 fois supérieure à l'érodibilité du matériau sous-jacent plus humide (Nachtergaele et al., 2002). Les ravines se développant dans un sol argilo-calcaire peuvent atteindre une profondeur de plusieurs mètres (fig.3), étant donné que les sols argilo-calcaires ne contiennent pas d'éléments structurants (faible teneur en argile, très faible teneur en matière organique). L'érosion hydrique génère une quantité importante de sédiments dans le paysage. L'ensemble du matériau érodé n'atteint cependant pas les cours d'eau: environ 80 à 90% des sédiments se redéposent avant d'y arriver.

1.3. Erosion par le travail du sol

Au cours du travail du sol sur les champs se produisent d'une part un déplacement net du sol vers l'aval de la pente et, d'autre part, des nuages de poussières. Ces deux processus sont repris sous le vocable d'érosion par le travail du sol ou «érosion aratoire ». Des expérimentations ont montré que la distance moyenne de déplacement du sol sous l'effet des outils de travail du sol est proportionnelle au gradient de la pente (Govers et al., 1994). De plus, l'intensité dépend également de l'outil utilisé, de la vitesse d'avancement de l'outil et de la profondeur de travail (Van Muysen et al., 2002). Les variations de gradient de la pente et la présence de limites de parcelles déterminent si il y a érosion ou sédimentation (fig.1). L'érosion du sol se produit sur les pentes convexes (les 'bosses') ainsi qu'en aval des limites de parcelles alors qu'une sédimentation importante s'observe sur les pentes concaves (le 'pied de la pente') et en amont des limites de parcelles. Etant donné que l'érosion par le travail du sol est un phénomène qui a lieu à l'intérieur des limites de parcelles, ses conséquences sont principalement locales (une redistribution de substances nutritives comme l'azote, le phosphore et le carbone organique au sein des parcelles). La formation de talus est également due en grande partie à l'érosion par le travail du sol.

1.4. Perte de terre par l'arrachage des cultures à racines et à tubercules

Lors de l'arrachage de cultures comme les betteraves, les pommes de terre ou la chicorée, une certaine quantité de terre reste collée aux racines en plus des mottes de terre qui peuvent être ramassées par les machines (fig.4). Ce matériau quitte le champ et doit donc être considéré comme une perte de terre (Poesen et al., 2001). Contrairement à l'érosion hydrique et à l'érosion par le travail du

Fig. 4 Le contraste entre les betteraves sucrières lavée et non lavée après récolte montre l'importance de la quantité de terre collée aux betteraves (Ruysschaert, G.)

sol, l'intensité de ce processus de dégradation ne dépend pas de la topographie. L'importance de la perte de sol lors de l'arrachage des cultures à racines et à tubercule est principalement déterminée par le type de plante, le taux d'humidité du sol au moment de la récolte, la texture du sol et la méthode d'arrachage.

1.5. Erosion éolienne

L'érosion éolienne se présente principalement en Campine anversoise et limbourgeoise, mais des cas importants d'érosion éolienne sont également rapportés pour certaines parties de la Flandre occidentale et du Brabant (Poesen et al., 1996). L'érosion éolienne apparaît le plus souvent au cours d'un printemps sec, lorsque les champs sont en friche ou viennent d'être ensemencés. Pour des sols sablonneux, la part la plus importante du matériau érodé se déplace par bonds successifs à la surface du sol (saltation). Elle se dépose généralement à l'intérieur des limites du champ. Une fraction plus faible de matériau érodé quitte le champ sous forme de nuages de poussières en suspension. L'érosion éolienne est souvent une apparition locale et temporaire, ce qui fait que les dommages restent limités au niveau agraire (Goossens, 2002). L'érosion éolienne se produit également dans les dunes et s'observe sous forme de nuages de poussières sur et près des lieux de déchargement (de charbon, de minéraux, de grains, etc.).

Fig. 5 Transport de masse dans les Ardennes flamandes (Poesen, J.)

1.6. Transport de masse

Le transport de masse est caractérisé par un déplacement du matériau érodé d'un point élevé vers un point situé plus bas sous l'influence de la pesanteur. Ni l'eau, ni le vent n'agissent donc en tant que premiers agents transporteurs. Ces déplacements de sol sont perceptibles entre autre dans les Ardennes flamandes (Ost et al., 2003; Vanmaercke-Gottigny, 1980; Vanpaemel et al., 2000) (fig.5) et sur les collines du Mont-de-l'Enclus (Ozer et al., 1998). Dans cette zone, on trouve une combinaison de collines à pentes raides et d'un sol constitué de couches successives d'argile et de sable riche en smectite. Après une longue période humide, la cohésion du mélange sable-smectite baisse, entraînant facilement des glissements de terrain. C'est pourquoi dans le cadre de la conservation des sols en relation avec le transport de masse, on s'efforcera de drainer les sols au maximum. En Belgique, on observe également des glissements de terrain dans le 'Pays de Herve' (Demoulin et al., 2000). Des glissements de terrain s'observent également sur les talus et le long des berges des rivières.

1.7. Erosion en galerie

L'érosion en galerie est une érosion du sol causée par un écoulement concentré souterrain ('écoulement hypodermique') qui amène à la formation de galeries à faible profondeur sous la surface du sol. Cette forme d'érosion se rencontre fréquemment dans les talus en Belgique du Nord et du Centre (Poesen et al., 1996), et sporadiquement dans les Ardennes flamandes et la région des Fourons (Poesen, Bielders, comm. pers.).

1.8. Erosion des berges

L'érosion des berges de cours d'eau apparaît lorsqu'il y a une action combinée de l'eau courante et d'un glissement de terrain au niveau des berges. Ce processus n'est pas important pour la plupart des rivières belges, étant donné qu'elles sont généralement endiguées et que les berges sont stabilisées.

Etant donné que les champs sont nus pendant une part importante de l'année, ce sont eux qui souffriront de l'érosion hydrique. De plus, l'érosion par le travail du sol contribue à la redistribution d'une quantité appréciable de terre sur les champs. Pour les champs pentus de la région limoneuse belge, environ la moitié de l'érosion totale est due à l'érosion hydrique et l'autre moitié à l'érosion par le travail du sol (Van Oost et al., 2000a; Van Rompaey, 2001a). Bien que l'intensité de l'érosion par le travail du sol soit donc au moins aussi importante que l'érosion hydrique, ce dernier processus a un impact environnemental nettement plus important en aval (Verstraeten et al., 1999b). **C'est pourquoi nous nous attacherons principalement à l'érosion hydrique des champs dans la partie 2 du rapport.**

2.1. Facteurs

L'érosion hydrique est le résultat de l'interaction de quatre facteurs : les précipitations, le sol, la topographie ainsi que la couverture végétale et l'occupation du sol. On retrouve ces facteurs dans l'équation universelle des pertes de sol (RUSLE). A partir de cette équation, il est possible de calculer la perte en terre annuelle moyenne par l'érosion de type inter-rigoles et en rigoles (voir Partie 3). Dans cette partie, nous présentons des cartes relatives à l'érosivité de la pluie ('aggressivité' des pluies, facteur R), l'érodibilité du sol (sensibilité du sol à l'érosion; facteur K) et au facteur topographique (facteur LS). Les cartes sont présentées de la même manière que dans la littérature.

2.1.1. Précipitations

Vu à l'échelle mondiale, on ne peut certainement pas considérer le climat en Belgique comme un climat érosif. En Belgique, les averses à fort risque d'érosion présentent souvent un caractère local. L'érosivité de la pluie est souvent quantifiée sur la base du facteur R de l'équation RUSLE. Dans le calcul de l'érosivité de la pluie interviennent l'intensité maximale des précipitations pendant 30 minutes ainsi que l'énergie cinétique de la pluie pour toutes les averses dépassant un certain seuil pluviométrique. Les conséquences d'une averse sur l'érosion ne dépendent pas seulement de l'averse elle-même, mais aussi de la nature et de l'état de la surface du sol. Sur des sols fortement encroûtés et humides, une pluie avec une intensité de quelques mm par heure peut entraîner un ruissellement et de l'érosion. Lorsque le sol est plus sec et présente une meilleure structure, des intensités supérieures sont nécessaires pour provoquer l'apparition de ruissellement et d'érosion.

Fig. 6 Erosivité de la pluie en Belgique (Bollinne et al., 1979) (RUSLE facteur R) ($t.m.cm.ha^{-1}.h^{-1}.i^{-1}.10^{-2}$)

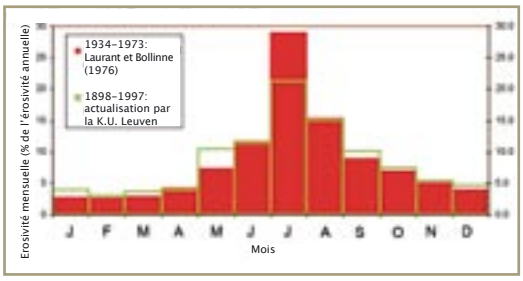

Fig. 7 Répartition annuelle de l'érosivité moyenne de la pluie mensuelle calculée sur base d'une série de précipitations étalée sur 40 et 100 années à Uccle (Verstraeten et al., 2001).

En 1979, Bollinne et al. ont publié une carte donnant les valeurs de l'érosivité de la pluie en Belgique (fig.6). Cette carte se base sur le facteur d'érosivité (R) calculés pour Uccle, Saint-Hubert, Spa et Florennes ainsi que sur des valeurs estimées pour 480 autres stations météorologiques (voir aussi: Bollinne e.a, 1979, p.86). Cette carte montre que les érosivités les plus élevées sont enregistrées au sud du sillon Sambre et Meuse. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour la région côtière.

La fig.7 indique la répartition moyenne annuelle de l'érosivité de la pluie pour Uccle sur la base de séries pluviométriques de 40 et 100 ans. L'érosivité des précipitations est la plus importante au cours des mois d'été (juillet – août), à cause des pluies d'orages intenses. Vu que des événements pluvieux influencent fortement le calcul de l'érosivité de la pluie, il est conseillé de prendre une période de données la plus longue possible. Bollinne et al. (1978a, 1979) ont également établi des répartitions semblables sous forme mensuelle pour l'érosivité de la pluie à Saint-Hubert, Spa et Florennes. Tant les valeurs annuelles de l'érosivité de la pluie que les valeurs mensuelles peuvent varier fortement d'année en année, ce qui peut se traduire par des variations importantes au niveau de la perte en terre annuelle (Verstraeten et al., 2001b). Les changements climatiques peuvent éventuellement entraîner une augmentation de la fréquence des averses à forte intensité et donc un risque d'érosion plus élevé (Verstraeten et al., 2003b)

2.1.2. Sol

La sensibilité à l'érosion (érodibilité) d'un sol est très souvent quantifiée sur la base du facteur K de l'équation de RUSLE. La stabilité structurale du sol dépend de différents facteurs, dont la texture et la teneur en matières organiques sont les plus importants (fig. 8). En Belgique, une part importante des champs cultivés pentus est caractérisée par des sols sablo-limoneux et limoneux ayant un diamètre granulométrique moyen compris entre 0,015 mm et 0,150 mm (Poesen et Govers, 1994). De tels sols sont fortement affectés par la dégradation physique, ce qui se traduit par un encroûtement de la surface du sol (battance). Cette battance se traduit par une réduction importante de la capacité d'infiltration. La dégradation physique est la plus marquée pour des sols ayant une faible teneur en matière organique, ce qui est le cas en Belgique. Plus la teneur en matière organique est faible, plus la structure du sol est mauvaise. La teneur en matière organique des sols limoneux est généralement inférieure à 2,5%. L'érodibilité d'un sol dépend également de l'humidité du sol, un sol très sec étant nettement plus érodible qu'un sol humide (Govers et al., 1990). L'érodibilité peut ainsi varier énormément dans le temps en fonction des conditions climatiques. Au printemps ou en été, l'érodibilité de la couche arable peut atteindre 2 à 4 fois la valeur moyenne (Verstraeten, 2001b).

La fig.9 représente l'érodibilité des sols en Flandre et en Wallonie. La valeur du facteur K a été calculée différemment pour les deux Régions. Pour la Flandre (fig.9a), on a uniquement tenu compte de la texture du sol, plus spécifiquement du diamètre granulométrique moyen des particules (Dg). Le facteur K a été estimé sur base de Dg à partir d'une formule établie par Declercq & Poesen (1991) (voir aussi: Van Rompaey,

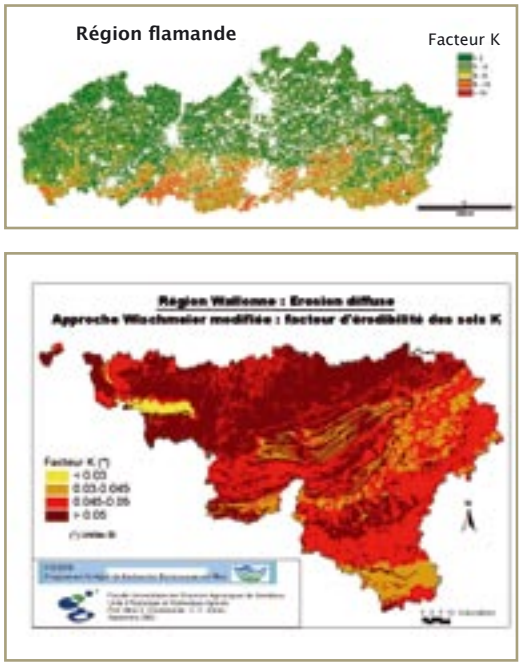

Fig. 9 Érodibilité du sol (facteur K de RUSLE)
a) en Région flamande (van Rompaey, 2001a) (t.h.MJ^{-1})
b) en Région wallonne (Sohier & Dautrebande, 2003) (t.h.MJ^{-1})

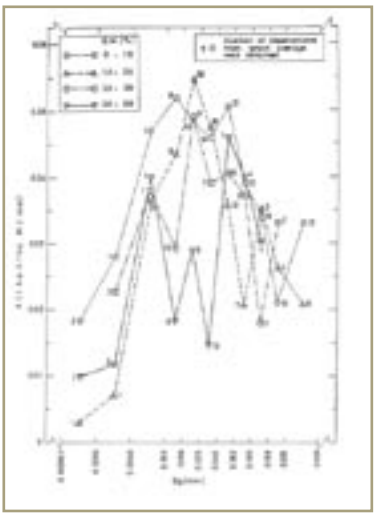

Fig. 8 Rapport entre le diamètre moyen des particules de sol (Dg) et la teneur en matière organique (MO) de la couche arable et l'érodibilité (Facteur K) pour 279 sols différents (Poesen et Govers, 1994)

2001a, p.52). Pour la Wallonie (fig.9b), le facteur K a été estimé à partir de nomogrammes établis par Wishmeier et Smith (1978) (Sohier et Dautrebande, 2003). Pour cela, il faut disposer d'informations sur la texture du sol, sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité.

2.1.3. Topographie

Les paramètres de relief les plus importants qui déterminent l'intensité de l'érosion hydrique sont le gradient de la pente et la superficie du bassin versant en amont : l'érosion hydrique se manifeste sur les parcelles pentues ainsi qu'aux endroits où les eaux de ruissellement se concentrent dans un grand bassin. L'effet conjoint du gradient de la pente et de sa longueur ou de sa superficie est repris par le facteur topographique ou facteur LS (dans l'approche RUSLE ou MUSLE). Les fig.10a et 10b renseignent sur l'érodabilité en Flandre et en Wallonie sur la base de la topographie. La méthode utilisée pour calculer le facteur LS diffère entre les deux Régions.

A l'origine, RUSLE a été conçu comme un modèle de calcul de la perte en terre uni-dimensionnel permettant de chiffrer le taux d'érosion pour des segments de pentes individuels. Pour pouvoir prendre en compte la convergence et la divergence de l'écoulement en fonction du relief, on a utilisé en Flandre une version bi-dimensionnelle du facteur LS. On a pu montrer en effet que l'utilisation d'une approche bi-dimensionnelle du facteur LS permet une meilleure prédiction de l'érosion en rigoles ou inter-rigoles (Desmet et Govers, 1996). De plus, l'érosion par ravines temporaires, qui n'est pas prévisible avec les valeurs LS originelles de RUSLE, est prise en compte pour une grande part dans l'approche bi-dimensionnelle. Ceci est très important, étant

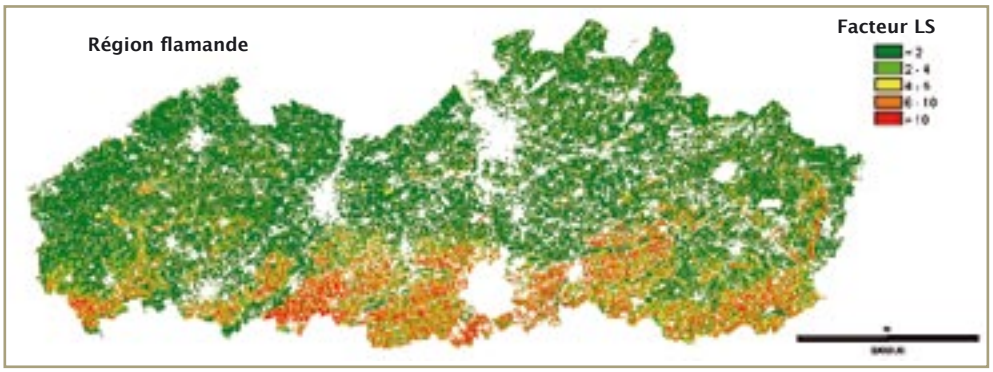

Fig. 10a Carte des Facteurs LS pour la Région flamande : érodibilité sur base de la topographie (adimensionnel) (Van Rompaey, 2001a)

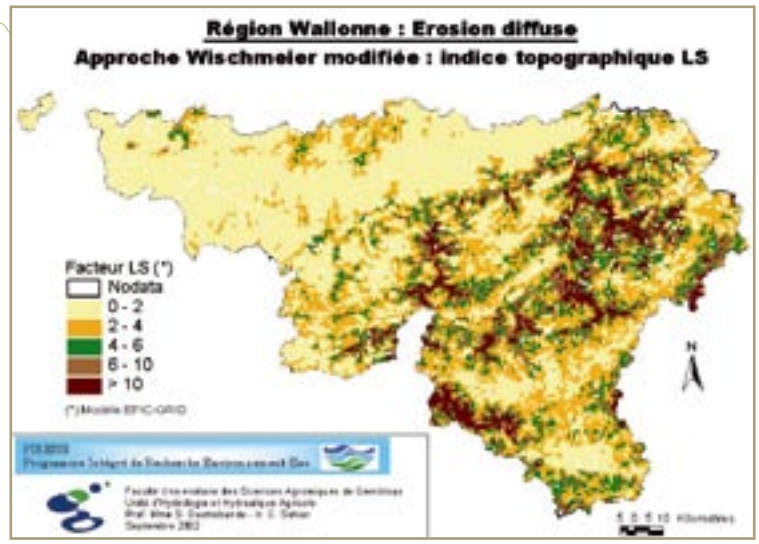

Fig. 10b
Carte des Facteurs LS pour la Région wallonne : érodibilité sur base de la topographie (adimensionnel) (Sohier & Dautrebande, 2003)

donné que l'érosion en ravines temporaires peut représenter la moitié du volume total de la perte en terre annuelle (voir Partie III). Lors du calcul du facteur LS en Flandre, on a également tenu compte de la structure du site, qui a une influence importante sur le tracé de l'écoulement et donc sur la perte en terre.

En Flandre, le facteur LS en un endroit du paysage est donc calculé sur base de la pente locale et de la superficie du bassin versant en amont de ce point (en lieu et place d'une longueur de pente uni-dimensionnelle). Ces deux paramètres sont estimés à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). Un MNT créé à partir des courbes de niveau scannées sur des cartes au 1:50000 est actuellement disponible pour la Flandre auprès de OC-GIS Vlaanderen (MNT, niveau 2). Les informations concernant la structure du site sont déduites des cartes du parcellaire agricole en format vecteur. En Flandre, le facteur LS est calculé pour des pixels avec une résolution de 20 m x 20 m.

Une carte LS a été établie en Wallonie selon la méthode décrite par Williams et al. (1976). Sur la base de cette carte, on peut déduire le transport de sédiments à l'échelle de bassins versants (Dautrebande & Sohier, comm. pers.)

2.1.4. Couvert végétal et occupation du sol

Le degré de couverture de la surface du sol joue un rôle crucial dans le processus d'érosion. Les terres agricoles peuvent être couvertes de cultures, de résidus d'une culture de couverture morte ou de résidus de la culture précédente. Le sol est ainsi protégé de l'impact direct des gouttes de pluie, ce qui ralentit l'apparition de la croûte de battance. De plus, les résidus végétaux freinent l'écoulement des eaux de ruissellement. Le système racinaire des cultures donne à la couche arable une résistance au détachement et améliore ainsi sa résistance à l'érosion. On observe ainsi une réduction exponentielle de la perte en terre en fonction du taux de couverture du sol : une faible augmentation du taux de couverture végétale entraîne une importante diminution de l'érosion hydrique (Stocking, 1981).

Au cours de certaines périodes, le taux de couverture végétale est très faible dans les champs. La fig.11 montre que les champs de céréales d'hiver présentent un potentiel élevé d'érosion

entre octobre et avril. Lorsque ces champs atteignent le taux critique de couverture de 30 %, les champs destinés aux cultures de printemps sont en préparation. La période entre mars et juillet est caractérisée par un risque d'érosion potentiel élevé pour les champs de pommes de terre, de maïs, de betteraves, de céréales d'été et de chicons (Vandaele, 1997).

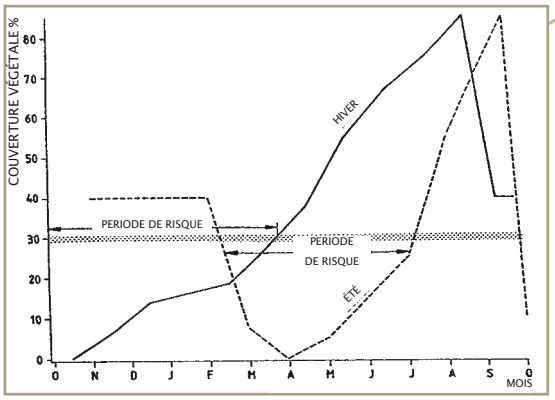

Fig. 11 Périodes avec risque d'érosion élevé en fonction du degré de couverture pour un cycle de culture d'hiver et un cycle de culture d'été (Vandaele, 1997).

Si l'on compare la fig.11 avec la fig.7, on constate que les cultures d'hiver offrent une bonne couverture pendant la période présentant la plus grande érosivité de la pluie (mai – septembre). Les cultures d'été sont ensemencées au printemps et offrent donc un taux de couverture plus faible. Elles sont particulièrement susceptible à l'érosion hydrique au cours des mois de mai et de juin. Une enquête effectuée auprès de 28 agriculteurs wallons (ADALI-Expérimentation, 2003) montre que les problèmes d'érosion sur leurs champs sont effectivement plus importants au cours des mois de mai et de juin. En Flandre, la répartition au cours de l'année de coulées de boue et autres inondations à petite échelle a été déduite sur base d'une revue de la presse écrite (1987-1997) (Verstraeten et al., 1999b). On remarque dans l'étude que les cas de coulées de boue les plus fréquents et les plus graves se situent en mai et juin, alors que les problèmes d'inondation (sans boues) sont plus importants en juillet et août. Ceci est dû au fait que les cultures de printemps n'offrent qu'une très faible couverture au cours des mois de mai et de juin.

2.2. Acteurs

De manière directe ou indirecte, les acteurs humains peuvent avoir une influence importante sur le risque d'érosion. L'influence directe, entre autre via l'établissement d'accords de gestion spécifique à la lutte contre l'érosion, est précisée dans la partie 7. Toutefois, des prescriptions légales ont souvent une influence indirecte importante sur le risque d'érosion. En voici un bref aperçu.

Le remembrement des parcelles est un outil qui influence l'occupation du sol et la structure paysagère. Les parcelles agricoles d'une zone préalablement délimitée sont ainsi réorganisées pour obtenir des parcelles continues, régulières et d'un accès facile, situées le plus près possible de l'exploitation agricole. Etant donné que le remembrement des parcelles modifie le tracé de l'écoulement, il modifie également l'érosion. Une étude a montré que, dans le cas du remembrement de Verlaine, la perte totale en sol a augmenté de 14% suite à l'agrandissement des parcelles (Binard et Bollinne, 1980). Au total, un tiers de la zone agricole flamande est concerné par le remembrement. De plus, une enquête effectuée auprès de 28 agriculteurs wallons a montré que pratiquement la moitié d'entre eux n'attend pas un remembrement pour échanger des parcelles ou pour les agrandir (ADALI-Expérimentation, 2003). Actuellement, on tient toutefois compte de l'impact du remembrement sur le réseau d'écoulement et l'érosion lors de son élaboration.

En fixant des prescriptions légales qui ont une influence sur l'occupation du sol et/ou la structure du paysage, les politiques contribuent indirectement aux modifications du risque d'érosion, comme c'est la cas par exemple pour la réglementation de la Politique Agricole Commune de l'Union européenne. Depuis sa réforme en 1992, les agriculteurs sont obligés (afin de pouvoir bénéficier de subsides) de retirer un pourcentage déterminé de leurs champs de la production. Ce pourcentage dépend de la situation du marché et est donc modifié chaque année. Entre 1992 et aujourd'hui, il a oscillé entre 5 et 15%. Les agriculteurs peuvent décider eux-mêmes quelles parcelles ils mettent en jachère, mais ils sont néanmoins obligés de semer des cultures résistant à l'hiver (ex. herbes, trèfle etc.). De cette manière, il n'y a pas d'érosion du sol sur les parcelles en jachère. Afin de savoir quelles sont les parcelles retirées de la production par les agriculteurs, on a demandé à 31 agriculteurs de la région limoneuse belge (qui ensemble travaillent 974 parcelles) d'indiquer leurs parcelles en jachère sur une carte (Jacobs, 1998). Une analyse statistique a montré que les champs mis de préférence en jachère sont des champs pentus avec une texture sablonneuse ou argileuse ou ayant un mauvais drainage. Etant donné que les parcelles les plus pentues, et donc les plus sensibles à l'érosion, sont les premières à être retirées de la production, le pourcentage de réduction de l'érosion est presque deux fois plus important que le pourcentage de champs mis en jachère. Dans la zone sélectionnée pour l'étude, une mise en jachère obligatoire de 10% entraîne une réduction du risque d'érosion du sol de 18% (Van Rompaey et al., 2001b). Bielders et al. (2003) ont également suggéré que les champs actuellement en jachère dans la région limoneuse wallonne étaient, à l'origine, des champs avec un risque d'érosion élevé. Une mesure prise d'une perspective économique peut donc avoir un impact important sur la réduction de l'érosion.

La Politique Agricole européenne, et plus spécifiquement la fixation des prix, détermine le choix des cultures cultivées par les agriculteurs. La fig.12 donne l'évolution de la superficie cultivée totale et des principales cultures en Belgique. On constate ainsi que la superficie des cultures fort sensibles à l'érosion, (maïs et cultures maraîchères) ont augmenté en Flandre aux dépens des cultures d'hiver, moins sensibles à l'érosion (Verstraeten et al., 2002b). En Wallonie, l'augmentation ou la réduction de la superficie des principales cultures est moins marquée. La superficie consacrée au maïs a légèrement augmenté et, tout comme en Flandre, la réduction de la superficie occupée par les cultures d'hiver s'observe clairement dans les graphiques.

A l'avenir, il faudra tenir compte d'autres réformes de la Politique Agricole européenne qui pourraient entraîner des modifications importantes dans les successions culturales. En 2002, le Commissaire européen Fischler a proposé une réforme radicale de la politique dans le cadre d'une évaluation intermédiaire ('mid-term review') de l'Agenda 2000. La ligne de force la plus importante de la réforme est le fait que dorénavant une seule prime d'exploitation, indépendante de la production, serait accordée. La forme finale de la nouvelle politique est toutefois encore inconnue.

Par toutes sortes de règlement, les politiques influencent indirectement le risque d'érosion à l'échelle régionale également. Que ce soit du côté flamand ou wallon, les autorités ont mis en place plusieurs instruments financiers qui n'ont pas été développés spécifiquement pour la lutte contre l'érosion, mais qui ont effectivement un effet sur la réduction du risque d'érosion du sol (voir également Partie 7). C'est ainsi que des accords peuvent être conclus pour l'installation et l'entretien de bosquets, de talus boisés, et de haies et la mise en place de tournières

le long des cours d'eau. Tant en Flandre qu'en Wallonie, une prime est octroyée pour le semis d'une culture de couverture. Cette prime est avant tout accordée pour éviter le lessivage de l'azote au cours des mois d'hiver, mais exerce également un effet positif sur la structure du sol et sur la réduction de l'érosion. En Flandre, les agriculteurs peuvent obtenir une compensation financière lorsqu'ils reboisent des terrains agricoles. Une série de scénarios de reboisement ont été simulés pour le bassin de la Dyle par Van Rompaey et al. (2002) à partir de l'occupation actuelle du sol. Les résultats montrent que le reboisement a un double effet positif sur le transport de sédiments vers la Dyle : d'une part la production de sédiments décroît et, d'autre part, il y a apparition de zones de sédimentation supplémentaires dans le site. Si, par exemple, le pourcentage de terres agricoles diminue de 10% dans le bassin-versant, le risque d'érosion diminue de 15% (parce que les parcelles les plus pentues sont retirées de la production en premier) mais le transfert de sédiment vers les cours d'eau diminue de 24%.

Les habitants des zones situées en aval sont ceux qui exercent le plus de pression afin que des mesures soient prises pour remédier au problème de l'érosion. Ces dernières années, l'urbanisation s'est fortement étendue en zone rurale et la situation sociologique s'est modifiée : la plupart des personnes habitant la campagne ne vivent plus de l'agriculture. En raison d'une politique de l'aménagement du territoire imparfaite et de mauvaises décisions de planification, de nombreuses habitations ont été construites dans des zones situées en aval, souvent confrontées à un excédent d'eau et de boue. La pression sur l'administration locale et régionale augmente au fur et à mesure que la colère monte chez les habitants, qui exigent que des mesures soient prises contre l'érosion.

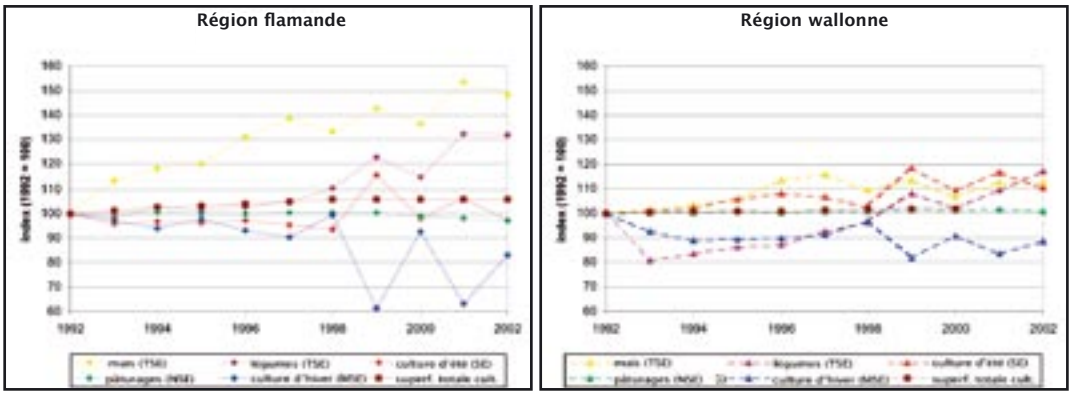

Fig. 12 Evolution de la superficie totale des terres agricoles et de la superficie des (groupes de) cultures principaux en Région flamande et en Région wallonne entre 1992 et 2000 (source : INS, Evaluation agricole annuelle; Verstraeten et al., 2002). (TSE: très sensible à l'érosion, SE: sensible, MSE: moyennement sensible, NSE: non sensible à l'érosion)

La perte en terre peut être soit mesurée sur le terrrain, soit être modélisée. Dans cette partie, nous donnerons en premier lieu un aperçu des techniques de mesure de l'érosion sur le terrain. Ensuite, nous nous intéresserons à la modélisation de l'érosion, pour ensuite donner un aperçu de toutes les mesures de l'érosion et des prévisions de l'érosion pour la Belgique. De cette manière, on obtient une idée de l'intensité du processus d'érosion du sol.

3.1. Mesures de l'érosion des sols : indicateurs et méthodes de mesure

Des parcelles expérimentales ouvertes ou fermées peuvent être utilisées pour mesurer directement l'érosion hydrique causée par les précipitations naturelles. L'utilisation de petites parcelles fermées permet de quantifier l'importance de l'érosion inter-rigoles et en rigoles (Bollinne, 1982; Pauwels et al., 1976). A cette fin, la dimension des parcelles est souvent celle des parcelles Wischmeier (3.66m x 22.1m). Wischmeier a utilisé ces parcelles expérimentales pour établir l'équation universelle de la perte de sol (USLE) (voir plus loin). La perte de sol mesurée rapportée à la superficie de la parcelle expérimentale donne la perte en terre spécifique pour cette superficie (m^3/ha.an ou t/ha.an). Pour avoir une idée de la perte en terre par érosion en ravines temporaires, il faut installer des parcelles plus grandes (Govers et Poesen, 1988).

Une autre technique utilisée pour déterminer le taux d'érosion en rigoles ou en ravines temporaires est de mesurer les volumes des rigoles et des ravines sur les champs (Gabriels et al., 1977; Govers, 1991; Poesen et al., 1996; Steegen et al., 2001; Takken et al., 1999; Vandaele, 1997). Ces mesures volumétriques peuvent être converties en unités de masse à l'aide de la densité apparente du sol sec. Cette valeur n'est pas toujours rapportée par tous les auteurs. Pour pouvoir comparer les vitesses d'érosion, les données volumétriques reprises dans les tableaux 1a et 3 ont été recalculées en supposant une densité apparente du sol sec de 1.35 t/m^3 (Govers, 1986). La masse totale d'érosion hydrique peut être obtenue en ajoutant une valeur pour l'érosion inter-rigoles aux mesures volumétriques des rigoles et ravines. Le plus souvent, on ajoute 10% de la valeur de l'érosion en rigoles et en ravine (Steegen, 2001; Steegen et al., 2000; Takken et al., 1999). Le volume des rigoles et des ravines peut également être déterminé à partir de photos aériennes (Nachtergaele et Poesen, 1999; Vandaele et al., 1997). Le potentiel des images satellitaires à haute résolution pour la détermination des volumes érodés n'a pas été analysé suffisamment jusqu'à présent. De telles images peuvent cependant être utilisées pour valider des paramètres d'érosion, tels que le taux de couverture végétale (van der Knijff et al., 1999).

Les mesures volumétriques citées plus haut permettent de calculer le taux actuel d'érosion. Les valeurs historiques du taux d'érosion sont également souvent déterminées volumétriquement. En exécutant des carottages (Desmet, 1986; Goossens, 1987; Vandaele, 1997) ou en étudiant la carte du sol (Gullentops, 1992; Vandaele, 1997), on peut apprécier le décapage du profil de sol et ainsi calculer la perte de sol. La sédimentation dans les vallées sèches (Macar, 1974) ou dans les dépressions fermées (Bollinne, 1977; Gillijns et al., accept.) permet de calculer le taux de sédimentation. Si l'on connaît la taille de la zone érodée en amont, on peut déterminer le taux d'érosion spécifique pour cette surface. Il s'agit ici toujours du taux d'érosion totale à long terme.

L'arrachage de cultures à racines peut entraîner une perte importante en terre. Celle-ci peut être mesurée en nettoyant les racines arrachées et en récupérant le sol, pour le sécher et ensuite le peser (Poesen et al., 2001).

L'inventaire du césium 137 (137Cs) dans le sol permet de déterminer le taux net d'érosion et de sédimentation pour un endroit déterminé du site (Van Oost, 2003). Le 137Cs a été rejeté dans l'atmosphère au cours des expériences nucléaires des années 1950-60 (et au cours de la catastrophe de Tchernobyl en 1986). Lors de la détermination de l'inventaire du 137Cs, on doit tenir compte du fait que l'érosion hydrique, l'érosion par le travail du sol et la perte en terre par l'arrachage des cultures à racines œuvrent en commun et que leur contribution respective ne peut être simulée qu'à l'aide de modèles de simulation ou par des données fournissant des mesures complémentaires.

Des mesures effectuées pour des unités spatiales plus grandes (bassins versants) montrent qu'une grande partie du sol érodé est déposé au sein du bassin versant. Le taux final d'exportation de sédiment d'un bassin versant est donc le résultat à la fois du processus d'érosion et du processus de sédimentation dans le bassin et ne donnent donc pas d'information directe sur le taux d'érosion au sein du bassin. La mesure continue du débit des cours d'eau et la prise d'échantillons pour la détermination de la concentration en sédiment permettent de déterminer les valeurs de l'exportation de sédiment (Lamalle et al., 1989; Steegen, 2001). De cette manière, on peut calculer la masse de sol charriée par un cours d'eau. Une autre méthode est la mesure des volumes de sédimentation dans les bassins d'orage construits pour éviter des inondations à petite échelle (Verstraeten, 2000; Verstraeten et Poesen, 2001a). Si l'on connaît la superficie du bassin versant en amont du bassin d'orage, on peut calculer le taux d'érosion spécifique pour cette superficie.

3.2. Prévisions de l'érosion des sols

3.2.1. Prévisions de l'érosion des sols en Région flamande

Dans le modèle USLE2D, qui a été établi par le 'Laboratorium voor Experimentele Geomorfologie' - (K.U.Leuven), la perte de sol due au ruissellement est calculée à l'aide d'une version adaptée de l'équation universelle de la perte de sol (RUSLE) (Desmet et Govers, 1996; Van Oost et al., 2000). Le modèle RUSLE, développé aux U.S.A., évalue la perte moyenne annuelle de sol due à l'érosion de type inter-rigoles et en rigoles par le biais de l'équation suivante : A = R.K.L.S.C.P où

A: perte annuelle moyenne de sol à la suite de l'érosion en rigoles et inter-rigoles (t/ha.an)
R: facteur d'érosivité de la pluie (MJ.mm/ha.an)
K: facteur de sensibilité à l'érosion du sol (t.h/MJ.mm)
LS: facteur topographique pente et longueur (adimensionnel)
C: facteur culture et exploitation (adimensionnel)
P: facteur conservation du sol ou maîtrise de l'érosion (adimensionnel)

Tous les paramètres du modèle ont été adaptées au contexte flamand et le modèle a été élargi pour la modélisation en 2 dimensions, afin de pouvoir tenir compte de la convergence du

drainage dans les thalwegs (voir 2.1.3). Cet extension du modèle à 2 dimensions a permis de prendre en compte une partie importante de l'érosion en ravines temporaires, non prévisible avec le modèle RUSLE originel. La première carte de l'érosion en Flandre a été calculée à l'aide du modèle USLE2D (Van Rompaey et al., 1999 en 2000). Elle donne la perte en terre en chaque point (taille du pixel 20m x 20m), et représente une aide utile pour l'élaboration des plans communaux de la lutte contre l'érosion en Flandre.

La version adaptée du modèle RUSLE présente quelques limites importantes :

- L'ensemble des sédiments érodés ne quitte pas le bassin, une partie est déposée avant d'atteindre le cours d'eau. Le modèle ne tient pas compte de cette sédimentation.
- L'exportation de sédiments vers les cours d'eau ne peut pas être calculée correctement de cette manière.
- L'influence des mesures de lutte contre l'érosion sur les quantités de sol perdues et sur l'exportation de sédiment vers les rivières ne peut donc être analysée qu'en partie.
- L'érosion par le travail du sol n'est pas prise en compte.

Afin de prévenir ces problèmes, un modèle de la perte de sol et du transport de sédiment WaTEM/SEDEM a été développé. Il a été calibré et validé à l'aide de données concernant l'apport de sédiment de 21 bassins versants en Belgique du nord et centrale. Le modèle est une version adaptée de WaTEM (Water and Tillage Erosion Model; Van Oost et al., 2000) et SEDEM (Sediment Delivery Model; Van Rompaey et al., 2001c). Il comprend plusieurs parties, permettant de calculer d'une part la perte en terre par l'érosion inter-rigoles et en rigoles et, en grande partie, par l'érosion en ravines temporaires ainsi que par l'érosion par le travail du sol et, d'autre part, d'estimer l'exportation de sédiment vers les cours d'eau. L'ajout d'une composante 'déposition' permet de quantifier l'intensité réelle de la dégradation du sol et les quantités de sédiments charriés vers les cours d'eau et les zones d'habitation. WaTEM/SEDEM ne tient pas compte de la perte en terre due à l'arrachage des cultures à racines et à tubercules.

Le modèle a été développé en premier lieu pour pouvoir prévoir l'exportation de sédiment et le taux d'érosion au niveau régional. La comparaison des valeurs de l'exportation de sédiment et des valeurs de taux d'érosion entre les bassins versants ne représente pas un problème. Bien que le modèle soit adapté à l'échelle locale, les résultats doivent être interprétés avec une certaine prudence : il faut se rappeler que les valeurs obtenues sont des moyennes à long terme et que l'érosion en ravines temporaires ne peut être prise en compte que partiellement, ce qui fait que l'effet des mesures de contrôle de l'érosion dans les thalwegs (exemple : les chenaux enherbés ou les petites digues) peut être sous-estimé.

Le modèle a été utilisé pour cartographier la distribution spatiale de la perte en terre moyenne due à l'érosion hydrique pour la Flandre (période 1999-2002) (fig.13). En adaptant les paramètres d'entrées, on peut utiliser le modèle WaTEM/SEDEM pour évaluer l'influence des mesures de lutte contre l'érosion sur les quantités de sol perdues et sur la réduction du transfert de sédiment vers les cours d'eau (voir 5.2).

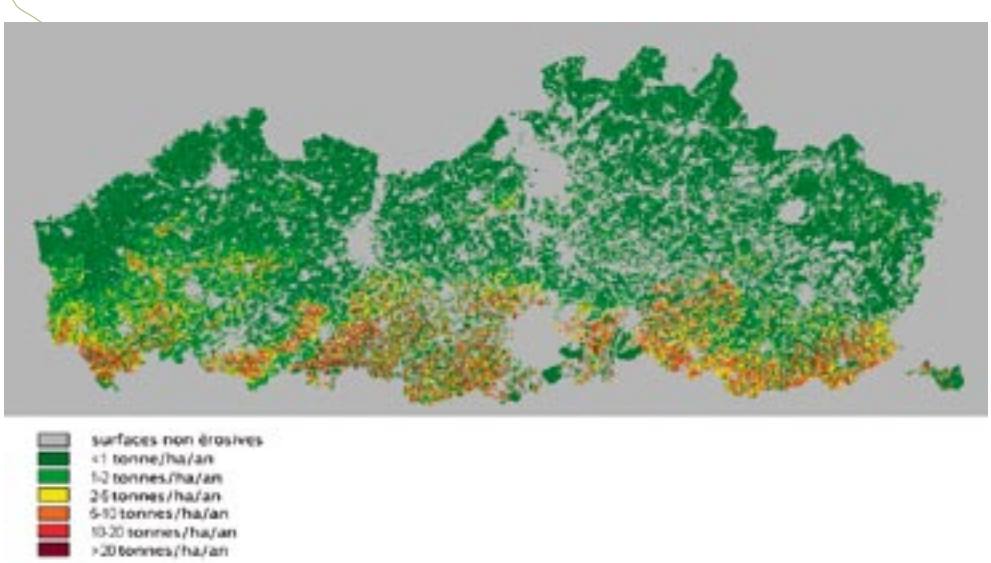

Fig. 13 Distribution spatiale de la perte en terre annuelle moyenne due à l'érosion hydrique en Région flamande pour la période 1999-2002 (Verstraeten et al., 2003b)

3.2.2. Prévisions de l'érosion des sols en Région wallonne

Le modèle EPICgrid_PIRENE (Sohier et al., 2000, 2001, 2002, 2003b) est un modèle hydrologique des bassins versants qui a été établi par l'Unité d'Hydraulique Agricole (FUSAGx) sur la base du modèle EPIC (modèle au niveau parcellaire) (Williams et al., 1984). Il s'agit d'un modèle physique à répartition spatiale n'exigeant pas de calibrage. Ce modèle permet de calculer les flux hydriques, comme l'évapotranspiration, le ruissellement en surface, les ruissellements souterrains rapide et lent et la recharge des nappes phréatiques sur une base journalière. De plus, le modèle tient également compte de la qualité de l'eau. Le modèle évalue en effet les quantités de nitrate, de phosphates et de pesticides atteignant les eaux souterraines et les eaux de surface. La composante 'érosion' du modèle calcule le transfert de sédiment vers les cours d'eau (Dautrebande & Sohier, comm. pers.)

3.3. Intensité du processus d'érosion

3.3.1. Valeurs actuelles du taux d'érosion

Le tableau 1a donne un aperçu de toutes les mesures d'érosion en Belgique. L'érosion hydrique est un processus caractérisé par une grande variabilité spatiale et temporelle, c'est pourquoi les mesures d'un même processus donnent souvent des valeurs différentes. Les mesures de la perte totale en terre par érosion hydrique en sont l'illustration. Govers et Poesen (1991) ont déterminé pendant 1 an la perte en terre due à l'érosion hydrique sur un champ en jachère de 0.75 ha avec une pente maximale de 25%. Ils ont obtenu une perte en terre annuelle de 223 t/ha ou 16.5 mm. Pour une période de mesure de 3 ans, la perte en terre annuelle totale dans deux bassins versants à Bertem a été estimée a 8.1 et 12.3 t/ha (0.6 en 0.9 mm) (Vandaele et Poesen, 1995). Diverses campagnes de mesure ont été effectuées pour les bassins versants de 'Kinderveld' et 'Ganspoel' (Vandaele, 1997; Steegen, 2001) et un taux d'érosion moyenne a pu être calculée pour la durée totale des mesures. La perte en terre annuelle totale par érosion hy-

drique s'élève à 6.5 t/ha (0.48 mm) pour le bassin du Kinderveld et à 8.6 t/ha (0.64 mm) pour le bassin du Ganspoel. Des événements pluvieux de forte intensité qui ont eu lieu pendant la période de mesure peuvent avoir une influence importante sur les vitesses d'érosion moyennes. Dans le bassin du Kinderveld, par exemple, une tempête avec pluie avec une fréquence de retour de 10 ans a entraîné une perte en terre de 16.7 t/ha ou 1.2 mm (Steegen et al., 2000). Au cours de la période de mesure de Vandaele dans le même bassin, il n'y a pas eu d'événement extrême. C'est pourquoi l'érosion moyenne calculée par Steegen et al. (2001) (11.5 t/ha.an ou 0.85 mm/an) est nettement plus importante que celle calculée par Vandaele (1997) (2.6 t/ha.an ou 0.19 mm/an). Il faut des mesures étalées sur une longue période pour arriver à une moyenne fiable du taux d'érosion dans les bassins versants de petite et moyenne dimension. Etant donné que les événements pluvieux sont souvent locaux, leur effet sur le taux d'érosion dans un grand bassin hydrographique est plus faible.

La perte en terre annuelle par érosion hydrique a été estimée par modélisation pour les différentes régions agricoles en Flandre pour la période 1999-2002. La perte en terre annuelle moyenne en Flandre s'élève à 1.18 t/ha.an (0.09 mm/an) (Verstraeten et al., 2003b). Dans les régions agricoles avec un faible relief (dunes, Polders, région sablonneuse flamande et Campine), la perte en terre par érosion hydrique varie entre 0.1 et 0.4 t/ha.an (0.007 en 0.03 mm/an). Les valeurs d'érosion les plus élevées sont observées dans la région herbagère, la région sablo-limoneuse et la région limoneuse; la perte en terre annuelle peut y atteindre 10 t/ha (0.74 mm). Des mesures effectuées dans des petits bassins versants de la région limoneuse (Hammeveld, Kinderveld, Ganspoel) pendant 3 à 5 ans (tableau 1a) sont du même ordre : la perte en terre par érosion hydrique y varie entre 6 à 12 t/ha.an (0.44 à 0.89 mm/an).

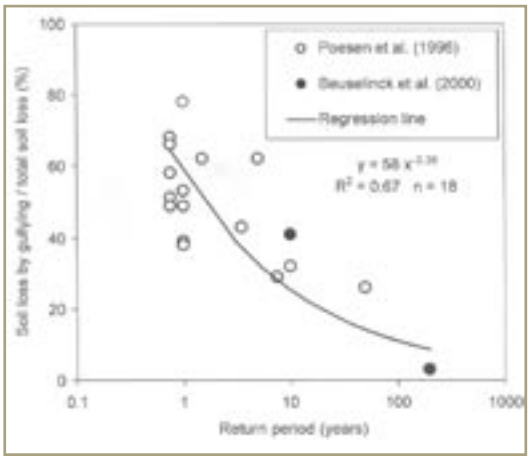

Fig. 14 Rapport entre la période de retour d'un événement pluvieux et la part relative de l'érosion en ravines (= gully erosion) dans l'érosion totale (Poesen et al., 2003)

La perte en terre due à la formation de rigoles ainsi qu'à l'érosion en ravines temporaires a été mesurée au cours de quelques enquêtes de terrain en Belgique (tableau 1b et fig.14). On estime généralement que la perte en terre due à l'érosion inter-rigoles représente ±10% de la perte en terre totale par érosion hydrique. Dans des conditions de pluviométrie normales, l'érosion en rigoles représente 40 à 55% de l'érosion totale dans les bassins versants alors que l'érosion en ravines temporaires représente 35 et 50%. La part relative de l'érosion en ravines dans l'érosion totale diminue en cas d'événements pluvieux extrêmes (fig. 14) (Poesen et al., 2003). Dans le bassin du Heks (Heers), pour un événement avec une période de retour de 200 ans, l'érosion en ravines temporaires a représenté 3% seulement de la perte en terre totale (tableau 1b).

L'érosion par le travail du sol est un phénomène intervenant à l'intérieur des limites des parcelles. Une perte de sol se produit sur les pentes convexes du relief et en aval des limites de parcelle. Dans la Région limoneuse, la perte en terre annuelle par le travail du sol dans les parties de parcelle affectées par cette forme d'érosion peut atteindre 8 à 9 t/ha (0.59 - 0.67 mm) (Van

Oost et al., 2000). Dans la Région limoneuse, l'intensité de l'érosion par le travail est donc aussi importante que l'érosion hydrique.

La perte en terre due à l'arrachage des cultures à racines et à tubercule peut varier énormément dans le temps et dans l'espace. Dans le sud de la Flandre, où l'on observe des taux élevés d'érosion hydrique et d'érosion par le travail du sol, on cultive en moyenne tous les trois ans une plante à racines ou à tubercule. Compte tenu de la perte en terre mesurée pour l'arrachage des pommes de terre, des betteraves, etc. (voir tableau 1a) et de la superficie occupée par ces plantes, la perte en terre annuelle moyenne s'élève à 1.8 t/ha (0.13 mm) (Verstraeten et al., en cours d'impression). Pour le nord de la Flandre, cette forme de perte de sol est plus importante que l'érosion hydrique et l'érosion par le travail du sol.

Tab. 1b Importance relative de l'érosion inter-rigoles, de l'érosion en rigoles et de l'érosion en ravines temporaires. Les valeurs avec * sont estimées. Les valeurs du taux d'érosion sont exprimées en t/ha.an. Si la période de mesure est inférieure à 1 an, le taux d'érosion est indiquée pour la période de mesure. Le numéro de la source correspond aux chiffres utilisés dans le tableau 1a

érosion inter-rigoles		érosion en rigoles		érosion en ravines temporaires		érosion totale	Remarques	Sources
t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha		
48,7	22	151,6	68	22,3	10	223	1 an; 0.75 ha; champ en jachère	(3)
1.5*	9	8,4	50	6,8	41	16,7	1 événement avec récur. 10 ans; 250 ha	(7)
3.7*	9	35,2	87	1,4	3	40,3	1évén. avec récur. 200 ans; 290 ha	(8)
1.0*	11	3,6	40	4,3	48	8,9	3 ans; 110 ha; 2 événements importants	(9)
0.3*	12	1,4	54	0,9	35	2,6	3 ans; 210 ha; pas d'événement important	(9)

3.3.2. Taux actuels de transfert de sédiments pour les petits bassins versants

Le tableau 2 donne un aperçu des taux d'exportation de sédiment pour les petits bassins versants. Les valeurs varient de 0.1 à 25.2 t/ha.an. Les valeurs minimales et maximales ont été mesurées respectivement après une période très sèche et une période avec événement pluvieux extrême.

Par modélisation (WaTEM/SEDEM), l'exportation de sédiment annuelle vers les cours d'eau flamands pour la période 1999-2002 a été estimée à 0.26 t/ha (Verstraeten et al., 2003b). Les calculs avec le modèle EPIC-GRID montrent que l'exportation de sédiment vers les cours d'eau wallons s'élève à 0.8 - 1.0 t/ha.an (moyenne sur 30 ans) (Dautrebande, comm. pers.)

3.3.3. Valeurs historiques pour le taux d'érosion et le transfert de sédiments

Le tableau 3 donne les valeurs historiques pour le taux d'érosion et l'exportation de sédiment. Des taux d'érosion atteignant 2.8 à 17.6 t/ha.an (0.2 à 1.3 mm) sont rapportés pour les zones hydrographiques avec une superficie entre 25 et 4000 ha. Les valeurs pour l'exportation de sédiment varient entre 0 et 4.5 t/ha.an pour les zones hydrographiques entre 25 et 210 ha.

De plus amples informations sur l'intensité des différents processus d'érosion du sol en Belgique peuvent être trouvées dans Verstraeten et al. (sous presse).

TAUX D'ÉROSION				ÉTUDE	MÉTHODE DE MESURE	DURÉE-PÉRIODE DE MESURE	DATE PÉRIODE DE MESURE	ÉCHELLE-SPATIALE (ha)	SITUATION	CUL-TURE		REMARQUES
ANNUEL		PAR PÉRIODE DE MESURE										
(m^3/ha.an) ou (mm/10ans)	(t/ha.an)	(m^3/ha. pér.mes.)	(t/ha pér. mes.)									
EROSION HYDRIQUE												
ÉROSION INTER-RIGOLES ET ÉROSION EN RIGOLES												
13,4	**18,1**			(1)	a	6 sais. croiss.	1974 - 1979	0,0089	Sauvenière (Gembloux)	Ja	4 parc. éros. (22.13m x 4m); H 6.5%	
4,6	**6,2**			(1)	a	6 sais. croiss.	1974 - 1979	0,0089	Sauvenière (Gembloux)	BS	8 parc. éros. (22.13m x 4m); H 6.5%	
3,0	**4,0**			(1)	a	5 sais. croiss.	1974 - 1978	0,0089	Gembloux	BL	8 parc. éros. (22.13m x 4m); H 6.5%	
		7,6	**10,3**	(2)	a	1 saison croiss.	1974	-	Ardennes flamandes	BS	H 8.2%; l mono-sableux.	
		9,8	**13,2**	(2)	a	1 saison croiss.	1974	-	Ardennes flamandes	BS	H 14.6%; sablo-limoneux	
		0,6	**0,8**	(2)	a	1 saison croiss.	1974	-	Ardennes flamandes	BS	H 7.8%; sablo-limoneux lourd	
148,4	**200,3**			(3)	b	1 an	1983-1984	0,75	Huldenberg	Ja	150m x 50m; H 13%, max. H 25%	
ÉROSION EN RIGOLES												
		9.8 - 17.7	13.2 - 23.9	(4)	c	1 hiver	1969 - 1970	0.2-6.0	Poncia (Gembloux)	BL	4 champs avec formation rigoles extrêmes; H 3-8%	
		9,3	12,6	(5)	c	2 hivers.	1974	1,4	Ardennes flamandes	BL	1 champs avec formation rigoles après période d'humidité extrême; H 5%	
		2,7	**3,6**	(6)	c	3 hivers	1982-1985	-	Au SO de Louvain	BL	86 champs sélectionnés au hasard	
		6,2	**8,4**	(7)	d	1 pér.	1997	250	Bertem (Kinderveld)	Div	év. pluvieux extrême pér. réc. =10 ans	
		26,1	35,2	(8)	d	1 pér.	1996	290	Heers (Heks)	Div	év. pluvieux extrême pér. réc. =200 ans	
2,7	3,6			(9)	d	3 ans	1989 - 1992	110	Huldenberg (Ganspoel)	Div	2 év. pluvieux importants	
1,0	1,4			(9)	d	3 ans	1989 - 1992	210	Bertem (Kinderveld)	Div	pas d'év. pluvieux importants	
ÉROSION EN RAVINES TEMPORAIRES												
16,5	**22,3**			(3)	b	1 an	1983 - 1984	0,75	Huldenberg	Ja	150m x 50m; H 13%, max. H 25%	
		5,0	**6,8**	(7)	d	1 pér.	1997	250	Bertem (Kinderveld)	Div	év. pluvieux extrême pér. réc. =10 ans	
		1,0	1,4	(8)	d	1 pér.	1996	290	Heers (Heks)	Div	év. pluvieux extrême pér. réc. =200 ans	
3,2	4,3			(9)	d	3 ans	1989 - 1992	110	Huldenberg (Ganspoel)	Div	2 év. pluvieux importants	
0,7	0,9			(9)	d	3 ans	1989 - 1992	210	Bertem (Kinderveld)	Div	pas d'év. pluvieux important	
		1,6	2,2	(10)	d	1 pér.	1995 (mei)	218	Bertem		év. pluvieux extrême pér. réc.=3ans	
		1.9 - 3.6	2.6 - 4.9	(10)	e	1 pér.	1995	218	Bertem		idem précédent mais avec facteur de correction	
0.9 - 1.6 (0.6 - 2.0)°	1.2 - 2.2 (0.8 - 2.7)°			(10)	e	< 6 m. pdt 6 a	1952 - 1996	861	Poperinge		analyses pdt 6 ans (1952, 1959, 1973, 1985, 1988, 1996); application facteur de correction	
1.4 - 2.7 (0.6 - 4.5) °	1.9 - 3.6 (1.2 - 6.1)°			(10)	e	< 6 mpdt 6 a	1947 - 1990	1095	Chaumont-Gistoux		analyses pdt 6 ans (1947, 1952, 1969, 1980, 1985, 1990); application facteur de correction	

TAUX D'ÉROSION				ÉTUDE	MÉTHODE DE MESURE	DURÉE-PÉRIODE DE MESURE	DATE PÉRIODE DE-MESURE	ÉCHELLE-SPATIALE (ha)
ANNUEL		PAR PÉRIODE DE MESURE						
(m³/ha.an) ou (mm/10ans)	(t/ha.an)	(m³/ha. pér.m.)	(t/ha. pér.m.)					
EROSION HYDRIQUE (SUITE)								
2.3 – 4.6 (1.6 – 6.7)°	3.1 – 6.2 (2.2 – 9.0)°			(10)	e	< 6 m. pdt 6 a	1947 – 1996	889
3.2 – 5.9 (1.2 – 10.2)°	4.2 – 7.6 (1.5 – 13.2)°			(11)	e	< 6 m. pdt 6 a	1963 – 1986	4000
ÉROSION EN RAVINES – BERGES								
0.25 – 0.5	0.3 – 0.7			(12)	d	10 – 20 ans	1988	126
0.2 – 0.4	0.3 – 0.6			(12)	d	10 – 20 ans	1988	100
ÉROSION HYDRIQUE : TOTAL								
5.4* (1.6 – 11.9)°	8,1 (2.4 – 17.9)°			(13)	d	3 ans	1989 – 1992	25
8.2* (1.8 – 17.0)°	12,3 (2.7 – 25.5)°			(13)	d	3 ans	1989 – 1992	25
5.9* (0.2 – 10.7)°	8,9 (0.3 – 16.1)°			(9)	d	3 ans	1989 – 1992	110
1.7* (0.2 – 3.5)°	2,6 (0.3 – 5.2)°			(9)	d	3 ans	1989 – 1992	210
165,2	**223**			(3)	b	1 an	1983 – 1984	0,75
		12,4	16,7	(7)	d	1 évé.	1997	250
8,5	11,5			(14)	d	2 ans	1997 – 1999	250
6,1	8,2			(14)	d	1.5 ans	1997 – 1998	117
		29,9	40,3	(8)	d	1 évé.	1996	290
4,8	6,5			(9) & (14)	d	5 ans	1989 – 1992 & 1997 – 1999	226
6,4	8,6			(9) & (14)	d	4.5 ans	1989 – 1992 & 1997 – 1998	112
EROSION DUE AU TRAVAIL DU SOL								
3,0	4,0			(19)	f	46 ans	1954 – 2000	2,4
7,6	10,3			(19)	f	38 ans	1954 – 1992	1,5
6,1	8,3			(20)	g	1 an	1990	250
6,9	9,3			(20)	g	1 an	1990	110
6,2	8,4			(20)	g	1 an	1990	500
TAUX D'ÉROSION PAR RÉCOLTE				**ÉTUDE**	**MÉTHODE DE MESURE**	**DURÉE-PÉRIODE DE MESURE**	**DATE PÉRIODE DE-MESURE**	**ÉCHELLE-SPATIALE (ha)**
(m³/ha)	**(t/ha)**							
PERTE DE SOL DUE A L'ARRACHAGE DE PLANTES A RACINES ET A TUBERCULES								
6,4	**8,7**			(15)	h	29 ans	1968 – 1996	95000
6,0	**8,1**			(15)	h	7 ans	1990 – 1996	–
8,7	**11,8**			(15)	j	1 an	1996 – 1997	–
1,6	**2,1**			(16)	j	2 ans	1999 – 2001	–
11,7	**15,8**			(17)	j	2 ans	1995 – 1996; 2001 – 2002	–
5,0	**6,8**			(18)	j	1 an	1995	–

	SITUATION	CUL-TURE	REMARQUES
	Saint-Trond		analyses pdt 6 ans (1947, 1957, 1975, 1983, 1989, 1996); application facteur de correction
	Au SO de Louvain		analyses pdt. 5 ans (1963, 1969, 1971, 1981, 1986); application facteur de correction
	Bertem (Ormendaal)		Densité volumétrique sèche = 1.5 t/m³ car matériel érodé provient de sol compacté
	Bertem (Kinderveld)		
	Bertem (Hammeveld 1)	Diff	2 év. pluvieux importants
	Bertem (Hammeveld 2)	Diff	2 év. pluvieux importants
	Huldenberg (Ganspoel)	Diff	2 év. pluvieux importants
	Bertem (Kinderveld)	Diff	pas d'év. pluvieux importants
	Huldenberg	jach.	150m x 50m; H 13%, max. H 25%
	Bertem (Kinderveld)	Diff	év. pluvieux extrême pér. réc.=10 ans
	Bertem (Kinderveld)	Diff	1 év. pluvieux extrême
	Huldenberg (Ganspoel)	Diff	1 év. pluvieux extrême
	Heers (Heks)	Diff	év. pluvieux extrême pér.réc. =200 ans
	Bertem (Kinderveld)		Valeurs moyennes de 2 périodes de mesure, pondérées par rapport à la durée de la pér. de mesure et de la superficie du Bassin versant
	Huldenberg (Ganspoel)		
	Lubbeek (Speelberg)		1 champ
	Huldenberg (Ganspoel)		1 champ
	Bertem (Kinderveld)		bassin versant
	Huldenberg (Ganspoel)		bassin versant
	Hoegaarden (Kouberg)		bassin versant
	SITUATION	CUL-TURE	REMARQUES
	Belgique	cfr. →	betteraves sucrières
	Belgique	cfr. →	chicorée inuline
	Belgique	cfr. →	chicons
	Belgique	cfr. →	pommes de terre
	Belgique	cfr. →	carottes
	Belgique	cfr. →	salsifis

Tab. 1a Taux d'érosion mesuré en Belgique

REMARQUES ET ABRÉVIATIONS

Taux d'érosion :

- Si la période de mesure est inférieure à une année, l'exportation sédimentaire est exprimée par période mesure (et non pas par an).
- En cas de mesures volumétriques, les valeurs du taux d'érosion (en m3/ha) sont recalculées sur base d'une densité apparente du sol de 1.35 t/m³.
- Ces valeurs recalculées sont reprises en italiques et peuvent donc différer des valeurs reprises dans la littérature.
- Les valeurs en gras sont les valeurs telles que reprises dans la littérature

* L'érosion inter-rigoles n'est pas prise en compte. En transformant les valeurs volumétriques du taux d'érosion, on suppose que 10% de l'érosion totale est de l'érosion inter-rigoles.

° valeurs pour années individuelles

Etude

(1) Bollinne, 1982
(2) Pauwels e.a., 1976
(3) Govers & Poesen, 1988
(4) Bollinne, 1977
(5) Gabriels e.a., 1977
(6) Govers, 1991
(7) Steegen e.a., 2000
(8) Takken e.a., 1999
(9) Vandaele, 1997
(10) Nachtergaele & Poesen, 1999
(11) Vandaele e.a., 1997
(12) Poesen e.a., 1996
(13) Vandaele & Poesen, 1995
(14) Steegen, 2001
(15) Poesen e.a., 2001
(16) Biesmans, 2002
(17) Van Esch, 2003
(18) Soenens, 1997
(19) Van Oost, 2003
(20) Van Oost e.a., 2000

Méthode de mesure

a petites parcelles expérimentales
b mesures sur grandes parcelles expérimentales
c cartographie champs – mesures volumétriques
d cartographie au niveau bassin versant – mesures volumétriques
e mesures volumétriques sur la base de photos aériennes
f mesures ^{137}Cs
g modèle prédisant le transfert de sol par le travail du sol
h données sur base de la tare des entreprises traitant les légumes
j échantillons des légumes pris manuellement sur les champs

Culture

BS betteraves sucrières
BL froment d'hiver
Ja en jachère
Diff différentes cultures

EXPORTATION SÉDIMENTAIRE		ETUDE	MÉTHODE DE MESURE	DURÉE DE LA PÉRIODE DE MESURE	DATE PÉRIODE DE MESURE	ÉCHELLE SPATIALE (ha)
(t/ha.an)	(t/ha. période de mesure)					
	25,2	Takken e.a., 1999	d	1 évé.	1996	290
	8,0	Steegen, 2001	l	1 évé.	1997	250
5,2		Steegen, 2001	l	3 ans	1996 – 1999	250
1,5		Steegen, 2001	l	2.5 ans	1997 – 1999	117
1,7		Voet, 1997; Verstraeten, 2000; Verstraeten & Poesen, 2001	l	4 ans	1991 – 1995	176
1,7		idem	l	4 ans	1991 – 1995	269
0,7		idem	l	4 ans	1991 – 1995	1172
0,7		Lamalle e.a., 1989	l	1 an	1986	720
1,5		Lamalle e.a., 1989	l	1 an	1986	2600
0,1		Sine e.a., 1978	l	4 ans	1973 – 1977	2044
1,4		Huygens e.a., 2000	l	–	–	11500
0,7		Huybrechts e.a., 1989	l	1 an	1985 – 1986	73000
0,3		Gilles & Lorent, 1966	l	1 an	1959 – 1960	74194
1,1		Wirix & Lorent, 1966	l	1 an	1961	130000
2,1		Steegen, 2001	l	1.5 ans	1998 – 2000	82000
0,9		Steegen, 2001; Huybrechts e.a., 1989; Gilles & Lorent, 1966	l	3.5 ans	–	77000
0,1		Spring & Prost, 1884	l	1 an	1883 – 1884	2018568
7,9		Verstraeten, 2000 Verstraeten & Poesen, 2001	k	3 ans	1996 – 1999	7
20,6		idem	k	3 ans	1996 – 1999	20
5,9		idem	k	11 ans	1988 – 1999	25
2,4		idem	k	3 ans	1996 – 1999	73
2,3		idem	k	3 ans	1996 – 1999	103
11,6		idem	k	6 ans	1990 – 1996	112
3,2		idem	k	3 ans	1996 – 1999	148
2,0		idem	k	3 ans	1996 – 1999	151
3,5		idem	k	2 ans	1996 – 1998	206
3,9		idem	k	11 ans	1988 –1999	226
3,1		idem	k	2 ans	1993 – 1995	783
2,3		Verstraeten, 2000 Verstraeten & Poesen, 2001	k	3 ans	1992 – 1995	1050
1,2		idem	k	4 ans	1993 – 1997	1102
2,6		idem	k	66 ans	1936 – 1982	1138
1,5		idem	k	2 ans	1994 – 1996	1362
2,3		idem	k	2 ans	1994 – 1996	1394
1,6		idem	k	2 ans	1993 – 1995	1908
0,6		idem	k	3 ans	1986 – 1989	2423
2,1		idem	k	3 ans	1993 – 1996	2651
1,5		idem	k	4 ans	1992 – 1996	3235
0,4		idem	k	4 ans	1991 – 1995	4873
5		Quine e.a., 1994	f	38 ans	1953 – 1991	2,3

	SITUATION	REMARQUES
	Heers (Heks)	év. pluvieux extrême pér. réc. = 200 ans
	Kinderveld (Bertem)	év. pluvieux extrême pér. réc. = 10 ans
	Kinderveld (Bertem)	
	Ganspoel (Huldenberg)	
	Zwedebeek (Zwalm)	
	Nederaalbeek (Maarkedal)	
	Ter Erpenbeek (Herzele)	
	La Burdinale (Lamontzée)	
	La Burdinale (Marneffe)	
	La Méhaigne (Eghezée)	période extrêmement sèche
	Zwalm (Nederzwalm)	
	Dile (Korbeek-Dijle)	
	Dile (Leuven)	période sèche
	Dendre (Dendermonde)	
	Dile (Louvain)	Deux hivers humides
	Dile (Louvain)	Valeur moyenne pour 3 périodes de mesure, pond. par rapport durée période de mesure et superficie du bassin versant
	Meuse (Liège)	
	Sterrebeek (Zaventem)	
	Nerm (Hoegaarden)	un événement pluvieux extrême pér. réc. > 100 ans
	Hammeveld1 (Bertem)	
	Hannut	
	Ville-en-Hesbaye (Braives)	
	Overijse	
	Wolvengracht (Hoegaarden)	
	Ciplet (Braives)	
	Kleine Maalbeek (Zaventem)	
	Holsbeek	
	Ronebeek (Houthulst)	
	Bellewaerdebeek (Ypres)	
	Munkbosbeek (Zwalm)	
	Kemmelbeek (Ypres)	
	Zouwbeek (Kruishoutem)	
	Rooigembeek (Oudenaarde)	
	Steenbeek (Houthulst)	
	Broenbeek (Langemark-Poelkapelle)	
	Douvebeek (Heuvelland)	
	Vleterbeek (Poperinge)	
	St-Jansbeek (Langemark-Poelkapelle)	
	Ganspoel (Huldenberg)	

Tab. 2 Valeurs de l'exportation sédimentaire pour la Belgique

REMARQUES

Exportation sédimentaire

- Si la période de mesure est inférieure à une année, l'exportation sédimentaire est exprimée par période mesure (pas par an).

- Les valeurs en gras sont les valeurs telles que reprises dans la littérature

Méthode de mesure

d cartographie des champs au niveau bassin versant - mesures volumétriques

f mesures ^{137}Cs

l prises d'échantillons de la charge en suspension et mesures continues du débit

k vitesse de sédimentation dans les bassins de décantation

EXPORTATION SÉDIMENTAIRE (t/ha.an)	(t/ha.)	ETUDE	MÉTHODE DE MESURE	DUREE DE MESURE (jaren)	ÉCHELLE SPATIALE (ha)	SITUATION
VALEURS MESUREES DE L'EROSION						
6.0 – 8.0	8.1 – 10.8	Vandaele, 1997	a	1000	25	Bertem (Hammeveld 1)
2.1 – 2.6	2.8 – 3.5	Vandaele, 1997	a	1000	25	Bertem (Hammeveld 2)
13,0	17,6	Vandaele, 1997	a	1000	110	Huldenberg (Ganspoel)
3.0 – 4.0	4.1 – 5.4	Vandaele, 1997	b	1000	25	Bertem (Hammeveld 1)
3.0 – 4.0	4.1 – 5.4	Vandaele, 1997	b	1000	25	Bertem (Hammeveld 2)
6,2	8,4	Vandaele, 1997	b	1000	110	Huldenberg (Ganspoel)
6,0	8,1	Vandaele, 1997	b	1000	210	Bertem (Kinderveld)
	16,9	Desmet, 1986	a	1000	90	Huldenberg (Ganspoel)
9,0	12,2	Goossens, 1987	a	1000	4000	ten ZW van Leuven
3,25	4,4	Gullentops, 1992	b	2000	–	La Hesbaye
2.2 *	3.0 *	Macar, 1974	c	800	–	Momalle (Remicourt)
6.4 *	8.6 *	Macar, 1974	c	800	38	Gembloux
8.5 – 10.4	12.8 – 15.6	Bollinne, 1977	d	145 – 170	0.2 – 0.7	Gembloux
	5.5 – 9.8	Gillijns e.a., accept.	d	49	± 0.5 ha	Bertem
	2,1	Gillijns e.a., accept.	d	1570	± 0.5	Bertem
VALEURS DE L'EXPORTATION SEDIMENTAIRE						
3,3	4,5	Vandaele, 1997	a	1000	25	Bertem (Hammeveld 1)
0,0	0,0	Vandaele, 1997	a	1000	25	Bertem (Hammeveld 2)
2,9	3,9	Vandaele, 1997	a	1000	110	Huldenberg (Ganspoel)
0,0	0,0	Vandaele, 1997	b	1000	25	Bertem (Hammeveld 1)
0,0	0,0	Vandaele, 1997	b	1000	25	Bertem (Hammeveld 2)
3,3	4,5	Vandaele, 1997	b	1000	110	Huldenberg (Ganspoel)
3,2	4,3	Vandaele, 1997	b	1000	210	Bertem (Kinderveld)
	3,9	Desmet, 1986	a	1000	90	Huldenberg (Ganspoel)
1,75	2,4	Gullentops, 1992	b	2000	–	La Hesbaye

Tab. 3 Valeurs du taux d'érosion et de l'exportation sédimentaire à long terme pour la Belgique

REMARQUES

Méthode de mesure

a forages;

b carte des sols;

c colluvionnement dans vallées sèches;

d colluvionnement dans dépressions fermées

Les quatre méthodes sont basées sur les mesures volumétriques de l'érosion historique du sol (décapage du profil du sol) et des dépôts sédimentaires (colluvium).

Taux d'érosion

Les valeurs originales mesurées (en gras) sont recalculées sur base d'une densité apparente du sol de 1.35 t/m^3 Ces valeurs peuvent donc différer des valeurs reprises dans la littérature. Les valeurs recalculées sont en italiques.

* sous-estimation de la perte de sol étant donné que l'on a mesuré seulement les dépôts colluviaux et pas la partie exportée.

Les conséquences de l'érosion du sol peuvent être classées en deux groupes : les conséquences locales (on-site) et conséquences en aval (off-site). Dans chaque groupe, on peut différencier entre les effets à long terme et les effets à court terme. Le tableau 4 donne une vue d'ensemble des conséquences de l'érosion hydrique. Ces effets seront ensuite commentés. L'impact de l'érosion hydrique sur l'environnement est plus important que celui de l'érosion par le travail du sol : étant donné que l'érosion par le travail du sol est un phénomène qui est limité à l'intérieur des parcelles, elle a principalement des conséquences locales, par exemple une redistribution des substances nutritives (phosphore, azote, carbone organique, etc.). Ceci peut entraîner une diminution importante du rendement des cultures sur les pentes convexes. La perte de la couche arable est la conséquence la plus importante de l'arrachage des cultures à racines et à tubercules. De plus, le lavage de la terre entrainée avec les cultures à racines et à tubercules entraîne des frais importants.

CONSÉQUENCES LOCALES	
à court terme	à long terme
• **perte de rendement** → lessivage des semences et de jeunes pousses → lessivage des engrais et des pesticides → dépôts de sédiments recouvrant les plantes	• **perte de la couche arable** → baisse de rendement → si affleurement sol argilo-calcaire ou sable (Tertiaire), augmentation du risque de formation de ravines → endommagement des machines agricoles en retournant du grès ferreux ou du gravier lors du labour
• **croissance variable sur une même parcelle** → problèmes lors du traitement des cultures	
• **traitement difficile des parcelles (en cas d'érosion en ravines temporaires)** → 'remplissage' des ravines exige temps et argent	
CONSÉQUENCES EN AVAL	
à court terme	à long terme
• **excédent d'eau et de boue** → dommages touchant les particuliers (meubles, maison, auto,...) → dommages aux infrastructures publiques (égouttage, routes, ...) → mise en œuvre pompiers, protection civile ... → stress chez les personnes touchées (dommages psychologiques)	• **sédimentation dans les cours d'eau** → problèmes de navigabilité des cours d'eau → augmentation du risque d'inondations → dragage fréquent (coûteux)
	• **sédimentation dans les bassins d'orage** → perte de la fonction de rétention de l'eau → dragage fréquent (coûteux)
• **pollution des eaux de surface par sédiments et substances polluantes érodées en même temps, (pesticides par ex.)** → eutrophisation des cours d'eau	• **pollution des eaux de surface par sédiments et substances polluantes érodées en même temps, (pesticides par ex.)** → eutrophisation des cours d'eau

Tab. 4 Conséquences locales et en aval de l'érosion hydrique

Une enquête effectuée auprès de 352 agriculteurs de la région limoneuse wallonne (Bielders et al., 2003) montre que 70.7% d'entre eux connaissent des problèmes d'érosion hydrique au niveau de leurs champs. Parmi les agriculteurs rapportant des problèmes d'érosion, 95% signalent des conséquences locales importantes et 66% souffrent de conséquences importantes en aval (tableau 5).

Conséquences locales	95%	Conséquences en aval	66%
cultures touchées par eau stagnante	60,3%	coulées de boue sur les routes	33,3%
cultures touchées par dépôts de sédiments	56,7%	bouchage des fossés	19,1%
diminution de la fertilité du sol	17,7%	inondations	16,4%

Tab. 5 Conséquences les plus importantes de l'érosion du sol, énumérées par les agriculteurs de la région limoneuse wallonne (Bielders et al., 2003)

4.1. Conséquences locales de l'érosion hydrique

À court terme, l'érosion hydrique peut entraîner le lessivage des semences et des jeunes pousses. Au pied des pentes sensibles à l'érosion, les cultures sont recouvertes de sédiments ou peuvent souffrir de l'eau en stagnation. Selon Bollinne et al. (1978c), l'érosion du sol et la sédimentation dans la zone limoneuse wallonne sont responsables d'une perte de rendement s'élevant de 3 à 5% en moyenne. Une partie des engrais et des pesticides est également lessivée en même temps que le sol. L'érosion ou la sédimentation peuvent accentuer la variabilité de la croissance des cultures au sein d'une même parcelle, ce qui peut entraîner des problèmes pour le traitement des cultures. La présence de ravines temporaires sur les champs peut entraîner des problèmes lors du travail du champ et de la récolte. Le remplissage de ces ravines exige de l'agriculteur des frais et des charges de travail supplémentaires.

À long terme, la perte en terre a, avant tout, un effet négatif sur la qualité du sol. La réduction de l'épaisseur de la couche arable est un processus irréversible : sous les couches limoneuses se trouvent généralement des matériaux tertiaires offrant un potentiel très limité pour l'agriculture. La perte de la couche arable par l'érosion peut entraîner une diminution importante de la productivité. Une analyse de la rare littérature disponible sur ce sujet indique que, en agriculture mécanisée, une perte de productivité de 4% pour une perte en terre de 10 cm est probable (Bakker et al., en cours d'impression). Cette perte est surtout causée par la réduction de la profondeur d'enracinement et de la quantité d'eau disponible dans le sol. Ces paramètres physiques du sol ne sont pas affectés lorsque les sols sont suffisamment profonds. C'est pourquoi on ne constate pas une diminution directe de rendement pour les sols profonds, pour autant que la perte d'éléments nutritifs soit compensée par des apports d'engrais.

En raison du décapage du sol, une autre conséquence à long terme est la remontée à la surface d'un substrat argilo-calcaire ou sableux (tertiaire), plus sensible à l'érosion. Ceci augmente le risque de formation de ravines profondes. A certains endroits, le gravier de base du quaternaire ou du grès ferrugineux est remonté en surface par le labour, ce qui peut endommager les machines agricoles.

4.2. Conséquences en aval de l'érosion hydrique

Les conséquences de l'érosion du sol ne se limitent pas au champ lui-même, il y également apparition de problèmes en aval. L'impact le plus important de l'érosion hydrique sur l'environnement en aval est l'excès d'eau et de boue : en Belgique centrale et du nord, on assiste régulièrement à des inondations à caractère boueux après des fortes averses. Les zones de

vallées, écologiquement précieuses, souffrent également des effets négatifs des inondations constituées d'eau et de boues polluées.

Des enquêtes ont été effectuées auprès des communes en Flandre (Verstraeten en Poesen, 1999a) et en Wallonie (Bielders et al., 2003) afin de localiser les problèmes d'excédents d'eau et de boue (Tableau 6 et Tableau 7).

	Région limoneuse flamande		Région limoneuse wallonne	
	nombre	%	nombre	%
pas d'excédent d'eau	25	24	14	13
excédent d'eau	79	76	94	87
somme	104	100	108	100

Tab. 6 Nombre et pourcentage des communes de la région limoneuse flamande et wallonne touchées/non touchées par un excédent d'eau (Bielders et al., 2003; Verstraeten et Poesen, 1999a)

	Région limoneuse flamande (n=79)		Région limoneuse wallonne (n=94)	
cause de l'excédent d'eau	nombre	%	nombre	%
écoulement provenant des champs	40	51	73	78
inondations dues aux cours d'eau	54	68	67	71

Tab. 7 Nombre et pourcentage des communes de la région limoneuse flamande et wallonne touchées par l'excédent d'eau causé par le ruisselement des terres agricoles/ les inondations dues aux cours d'eau (Bielders et al., 2003; Verstraeten et Poesen, 1999a)

En Flandre du sud, 76% des communes (n=104) sont confrontées à des inondations. Dans la région limoneuse wallonne, 87% des communes (n=108) sont touchées par des inondations. Les deux études se sont également attachées aux origines des inondations (Tableau 7). Le pourcentage de communes touchées pour lesquelles les inondations sont dues aux crues de cours d'eau est pratiquement le même en Flandre et en Wallonie, à savoir 68% et 71%. Les inondations dues au ruissellement des terres agricoles représentent 51% (Flandre) et 78% (Wallonie). Si les résultats des deux études sont combinés, 53% de toutes les communes enquêtées signalent la présence d'inondations dues au ruissellement des terres agricoles. L'eau de ruissellement transporte de grandes quantités de sédiments érodés, ce qui fait que les inondations ont souvent un caractère boueux. Environ 15 à 20% des communes de la Belgique du centre et du nord sont touchées plusieurs fois par an par des inondations boueuses et 55 à 70% des communes sont confrontées à ce problème tous les 1 à 5 ans (Verstraeten et al., sous presse). L'excédent de boue engendre des coûts importants : qu'il s'agisse des dommages occasionnés aux particuliers (logement, meubles, véhicule, etc.), des dégâts au niveau de l'équipement public (nettoyage des routes, réparations des dommages occasionnés à l'égouttage et aux rues, etc.) ou de la mobilisation des pompiers et de la protection civile, tout cela doit être payé. Un excédent de boue peut de plus entraîner des complications psychologiques chez les personnes touchées de manière récurrente et entraîner des frais supplémentaires au niveau de la santé.

La sédimentation dans les cours d'eau et les bassins d'orage est une importante conséquence à long terme de l'érosion du sol. Les bassins d'orage servent à réduire les pics de débit d'écoulement et entrent en jeu en cas d'événements pluvieux importants qui entraînent également un transport de sédiment élevé. Ils perdent leur fonction de retenue de l'eau par l'embourbement. Une vérification sur 20 bassins d'orage dans la région limoneuse belge (correspondant à des bassins versants de 7 à 5000 ha) montre que leur capacité de retenue annuelle diminue de 3 à 28% (Verstraeten et al., en cours d'impression). Une partie importante du sol érodé rejoint également les cours d'eau. Le tableau 2 donne une vue d'ensemble des valeurs de l'exportation de sédiment des bassins versants ruraux vers les cours d'eau. Le transfert de sédiments vers les cours d'eau peut entraîner des problèmes au niveau de leur navigabilité. La section d'écoulement des cours d'eau diminue, ce qui augmente le risque d'inondation. Les cours d'eau et les bassins d'orage doivent être fréquemment dragués pour empêcher ces problèmes. En 1999, par exemple, 10 millions de m^3 de sédiments ont dû être dragués des cours d'eau flamands (sauf l'Escaut), alors qu'on ne pouvait mettre en décharge que 1.6 million m^3 de boues de dragage (Verstraeten et al., en cours d'impression). Dans les cours d'eau, les sédiments se mélangent aux eaux usées industrielles et ménagères. En raison de la législation renforcée concernant l'utilisation des boues de rivière et des bassins d'orage (VLAREBO (Vlaams Reglement Bodemsanering – Règlement flamand relatif à l'assainissement des sols pollués) et VLAREA (Vlaams Reglement inzake afvalvoorkoming en -beheer – Règlement flamand sur la prévention et la gestion des déchets)), une quantité importante de boue de dragage doit être draguée, évacuée et traitée à un prix de revient très élevé : en Flandre cela oscille entre ± 13.5 et 125 €/m^3 (2003).

Les pesticides et les engrais rejoignent les cours d'eau avec les particules de sol, ce qui peut entraîner leur eutrophisation. Il existe peu d'informations concernant les origines les plus importantes de la pollution des eaux de surface par des pesticides. Une étude de cas, effectuée par Belgaqua & Phytofar (IRGT, 2002) et portant sur le bassin hydrographique du Nil (Walhain), indique que 50 à 75% des quantités de pesticides retrouvées dans les cours d'eau proviennent de pertes directes (ou pollutions ponctuelles), par exemple les pertes au cours de la mesure et de la préparation des produits pour la pulvérisation et le déversement du reliquat du produit de pulvérisation ou de l'eau ayant servi au nettoyage du pulvérisateur. Une grande partie de la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines peut donc être évitée en respectant des mesures simples. A côté de cela, la pulvérisation de pesticides par les communes et les particuliers sur des surfaces dures représente également une source importante de pollution des eaux de surface. La quantité de pesticides transportés vers les cours d'eau par l'écoulement superficiel et l'érosion n'a pas été quantifiée. Pour pouvoir connaître l'importance de l'érosion du sol dans la pollution des eaux de surface, il faut s'attacher aux substances nutritives fixées sur les particules de sol. Il n'y a eu que des études limitées sur ce sujet jusqu'à présent. Les pertes de phosphate annuelles dues à l'érosion du sol dans les petits bassins versants ruraux varient entre 1.8 et 39.7 kg/ha (valeur médiane : 4-5 kg/ha.an) (Verstraeten et al., sous presse). Des prises fréquentes d'échantillons des sédiments de la Dyle donnent une valeur d'exportation totale de phosphate de 4.2 kg/ha.an (Steegen, 2001). Si l'on suppose que 40% de la perte de phosphates est causée par l'érosion du sol et que 55% du bassin de la Dyle sont occupées par des champs, on obtient une valeur d'exportation par érosion équivalant à 3 kg P/ha.an.

Il existe un large éventail de mesures de lutte contre l'érosion, qui interviennent à des niveaux différents (Tableau 8-p. 32). Des études montrent que certaines mesures offrent plus de perspectives que d'autres. Nous analysons dans cette partie les techniques de lutte contre l'érosion les plus praticables.

5.1. Aperçu général des mesures de lutte contre l'érosion

(AMINAL, 2002a; Gillijns et al., 2003)

Les mesures de lutte contre l'érosion sont réparties en 4 groupes selon WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies): les mesures portant sur les pratiques culturales, les pratiques végétales, les structures physiques et le mode de gestion. Nous avons repris ce classement.

Fig. 15 La moutarde jaune assure une bonne couverture du sol même après l'hiver (Gillijns, K)

5.1.1. Mesures portant sur les techniques de culture

De nombreuses pratiques culturales existantes peuvent aider à réduire l'érosion du sol. Un bref aperçu de ces technique est donné ci-après.

Culture de couverture

Une culture de couverture est une plante qui est semée afin de couvrir le sol de manière optimale et d'améliorer sa structure. Les cultures de couverture courantes sont les herbacées (ex. ray-gras anglais ou italien), les crucifères (ex. moutarde jaune (fig.15)), les légumineuses (ex. vesce et trèfle), la phacélie, l'avoine et le seigle. Le semis d'une culture de couverture a lieu après la récolte d'une culture principale. De cette manière, le sol est couvert pendant l'interculture (p.ex., hiver). Après l'hiver, la culture de couverture est enfouie par labour ou on utilise des techniques culturales simplifiées. Au lieu de semer une culture de couverture après la récolte, on peut également semer une culture de couverture dans la culture principale (sous-semis).

Fig. 16 Maïs-grain semé après du maïs-grain, sans labour (Gillijns, K.)

Paillage

Le paillage correspond au fait de répandre des matériaux organiques non décomposés sur le sol afin de le recouvrir. Lors de la récolte du maïs, de nombreux résidus de cultures restent sur les champs et forment un paillage. La paille et une culture de couverture morte peuvent également servir de paillage (fig.15). Les techniques culturales simplifiées permettent de maintenir les résidus du paillage en surface et le sol est alors protégé contre l'action érosive du ruissellement dès le semis.

	bonnes pratiques agricoles	culture de couverture	paillage	travail du sol minimum	sous-semis	Travail du sol isohypse	double ensemencement	bandes enherbées	éléments végétaux linéaires	stabilisation des bermes	digues en terre / paille	bassins d'orage & de décantation	mise en jachère	aménagement rural
unité spatiale														
parcelle	x	x	x	x	x	x	x	(x)	x	x	x		x	(x)
bassin versant	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	(x)		x	x	(x)	x
genre de mesure														
axée sur la source	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x
axée sur les symptômes							(x)	(x)	x	x	x	x		
instance exécutante														
agriculteur	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(x)		x	(x)
autorités								x	x	x	x	x		x
fréquence d'exécution														
unique								x	x	x	x	x	x	
répétitive	x	x	x	x	x	x	x						(x)	
facteurs limitatifs														
relief						x	x	x			x	x		
récolte	(x)				x		x							
outillage / moyens techniques	(x)			x	(x)					x	x	x		
taille et orientation parcelle						x	(x)	(x)	(x)					

Tab. 8 Eventail des techniques de lutte contre l'érosion les plus praticables x: lien direct; (x): lien indirect

Techniques culturales simplifiées

Dans cette méthode de travail, la plante de culture est semée dans les restes de végétation de la récolte précédente ou de la culture de couverture morte (fig. 16). Le sol n'est donc pas labouré avant le semis de la culture principale. Un lit de semence peut être préparé, éventuellement combiné à un travail du sol sous forme de 'non-labour'. La forme la plus extrême des techniques culturales simplifiées est le semis direct. Au cours du semis direct, la culture principale est semée avec une machine spéciale dans les résidus de végétation de la récolte précédente ou de la culture de couverture morte sans préparation du lit de semence. Il faut dans ce cas faire appel à un agriculteur possédant un semoir de semis direct.

Les avantages supplémentaires de cette technique sont la diminution des rejets de pommes de terre ou de betteraves lors de la récolte suivante ainsi que la réduction du travail de préparation du sol pour le semis, ce qui permet une meilleure organisation du travail. L'application de ces techniques exige une plus grande compétence de l'agriculteur qui doit pratiquer l'agriculture d'une manière plus attentive : il doit faire suffisamment attention à la lutte contre les adventices et les limaces, semer juste au bon moment, …

Sous-semis

Une culture en sous-semis est une culture de couverture qui a été semée dans la culture principale. La technique la plus connue est le semis d'herbe dans le jeune maïs d'ensilage (fig. 17). Si la récolte de maïs a lieu dans de bonnes conditions météorologiques, l'herbe continue de pousser et grâce à la bonne couverture du sol offre ainsi une protection suffisante contre les pluies d'automne et hivernales. Quelques agriculteurs expérimentent le semis d'herbes dans les champs céréaliers. Le gros problème est le fait qu'il est plutôt difficile de déterminer le moment propice pour le semis. On assiste souvent à une concurrence entre la culture principale et le sous-semis pour l'humidité et les nutriments. De plus, la couverture herbeuse n'est optimale qu'à partir de la mi-juin. A ce moment, les pluies de printemps intensives peuvent déjà avoir entraîné une forte érosion sur les champs.

Travail du sol selon les courbes de niveau (isohypse)

Le travail du sol selon les courbes de niveau signifie travailler le sol parallèlement aux courbes de niveau. Le labour, le hersage et le semis sont donc effectués perpendiculairement à la direction de la pente. De cette manière, on évite la formation de petits canaux par lesquels l'eau trouve son chemin vers le bas. L'effet de freinage de l'érosion peut être encore renforcé par un semis sur buttes. Quelques agriculteurs expérimentent le semis de betteraves dans des buttes parallèles aux courbes de niveau. En général, on part du principe qu'un travail du sol selon les courbes de niveau ne peut être effectué que sur des parcelles avec une pente maximale de 8% (Morgan, 1995). Un travail du sol selon les courbes de niveau n'est pas à conseiller pour des pentes plus raides, parce qu'il pourrait alors avoir l'effet inverse. De plus, la pente de la parcelle doit être plutôt uniforme, il ne peut pas y avoir de thalweg marqué.

Fig.17 Maïs avec sous-semis d'herbes (Grobben, R.)

Double ensemencement

En cas de double ensemencement, on ensemence à deux reprises la zone où l'eau ruisselle des champs et entraîne régulièrement la formation de rigoles ou ravines (fig.18). Seules les cultures où la distance d'alignement est sans importance et qui développent des racines ramifiées (céréales, certaines cultures de couverture) conviennent pour le double ensemencement. Toutefois, si une pluie intensive tombe peu après le semis, cette technique n'aura pas d'effet sur la lutte contre l'érosion. De plus, l'érosion du sol est uniquement limitée dans la zone avec double ensemencement. L'érosion en rigoles et inter-rigoles peut apparaître sur le reste du champ.

Fig.18 Maïs-grain semé après du maïs-grain, sans labour (Gillijns, K.)

A côté des techniques de culture décrites plus haut, il est clair que d'autres techniques agricoles peuvent limiter l'érosion du sol par la conservation et/ou l'amélioration de la structure du sol. On peut améliorer la structure du sol entre autres en augmentant la teneur en matière organique, en optimisant le pH du sol, en prévenant la compaction, en prévoyant une rotation adaptée des cultures, etc.

Fig. 19 Tournière enherbée au bord d'une parcelle (Gabriels, D.)

Fig. 20 Installation d'une digue en bois sur une berme (Regionaal Landschap Dijleland)

Fig. 21 Sédimentation en amont des ballots de paille (Vandaele, K.)

Fig. 22 Digue en terre avec mare tampon au bord d'une parcelle (Vandaele, K.)

5.1.2. Mesures portant sur la végétation

Chenaux enherbés

Année après année, des ravines apparaissent toujours au même endroit après des pluies intenses. Pour éviter ce problème, on peut semer de l'herbe à ces endroits. L'installation d'un chenal enherbé a lieu de préférence sur l'ensemble du thalweg, à travers plusieurs champs. Tout comme le double ensemencement de céréales, un chenal enherbé doit être installé aux endroits caractérisés par un écoulement concentré d'eau (thalweg) (fig.18). Si le bassin versant qui alimente le thalweg est supérieur à 10 ha, il faut préférer les chenaux enherbés. En cas de petits bassins versants, on peut appliquer les deux techniques.

Eléments végétaux linéaires

Les éléments végétaux linéaires sont des bandes de végétation d'origine naturelle ou plantées localisées le long de chemins, de cours d'eau, de chemins creux ou de limites des parcelle. Il peut s'agir de bosquets, de haies ou de tournières enherbées. On trouve souvent des tournières enherbées au bas d'une parcelle (fig. 19). Plusieurs tournières enherbées peuvent être installées sur la parcelle afin de réduire la longueur de pente d'une grande parcelle. Contrairement aux chenaux enherbés, les tournières enherbées sont installées perpendiculairement à la direction de la pente. Elles assurent la rétention des sédiments, mais ne combattent pas l'érosion du champ.

5.1.3. Mesures physiques

Structures de stabilisation des bermes

Les structures de stabilisation sont installées pour éviter la formation de ravines de berme ou pour les contrôler. On peut les construire de plusieurs façons. On peut placer des digues en bois sur les bermes qui retiennent la terre afin que la végétation naturelle puisse se régénérer (fig. 20). Pour éviter qu'une tête de ravine ne migre encore plus en amont, on peut la remplir de pierres ou de terre. La ravine peut être renforcée en plantant des branches de saule sur ses flancs. Les mesures de stabilisation des bermes sont des mesures symptomatiques et ne gênent pas l'agriculteur lorsqu'il travaille son champ.

Installation de digues de terre ou de paille

Les digues de terre avec une zone de rétention et de décantation (mare tampon) sont installées dans des vallées sèches ou en bordure de parcelle (fig. 22). L'eau qui s'écoule est temporairement bloquée, ce qui permet la décantation des sédiments. Le tampon peut progressivement se vider via un buse dans la digue. Pour éviter une rupture de la digue en cas d'événements pluvieux extrêmes, il faut avoir une zone de déversementt renforcée. La construction d'une digue est soumise à un permis de bâtir.

Si le bassin versant qui alimente le thalweg est inférieur à 5 ha, les digues de terre peuvent être remplacées par des digues construites avec des ballots de paille (fig. 21). Les ballots de paille réduisent la vitesse de l'eau qui s'écoule, ce qui entraîne la décantation des sédiments transportés. Il s'agit toutefois d'une mesure temporaire : la paille pourrit et après quelques années, il faut la remplacer.

Les deux types de construction de digue impliquent que la zone en amont soit sous eau pendant un certain temps. C'est pourquoi les digues sont souvent installées en combinaison avec un chenal enherbé ou une tournière enherbée. Il y a risque de rupture de digue en cas de pluie extrême. Afin d'éviter ce problème, il est souhaitable de prendre des mesures qui s'attaquent à l'origine de l'écoulement sur les terres agricoles.

Installation de bassins d'orage et de décantation

Un bassin de retenue peut être installé à la sortie d'un bassin versant (fig. 23). Au cours des périodes d'écoulement intensif, les bassins d'orage retiennent une quantité importante des sédiments charriés par le ruissellement. Afin de conserver leur capacité fonctionnelle de rétention, les bassins d'orage doivent être dragués fréquemment, surtout après de grosses pluies. Il existe différents types de bassins d'orage, selon la localisation (dans une vallée sèche, sur une rivière, le long d'une rivière, etc.) et selon l'équipement (buse, déversoir, etc.). Les bassins de décantation sont des élargissements excavés du cours d'eau qui sont limités par un seuil en béton vers l'aval.

5.1.4. Modification de l'occupation du sol

Mise en jachère

Afin de limiter l'érosion du sol, l'agriculteur peut sortir de production les champs les plus sensibles à l'érosion. Depuis la réforme de la Politique Agricole Commune en 1992, les agriculteurs sont obligés de laisser un certain pourcentage de leurs terres en jachère afin de pouvoir bénéficier de subsides. Sur les parcelles mises en jachère, on peut laisser se développer une végétation spontanée ou semer des cultures comme des herbes ou du trèfle. Pour éviter des problèmes avec les parcelles des alentours, les parcelles mises en jachère doivent être entretenues afin d'empêcher la dispersion des adventices.

Fig. 23 Bassin de retenue (Verstraeten, G.)

Mesures d'aménagement rural

L'aménagement rural et le remembrement sont des instruments importants pour prendre en main la problématique de l'érosion au niveau des bassins versants. Les modifications de taille et d'orientation des parcelles agricoles, la transformation de champs en bois ou pâturages, l'installation et l'entretien de fossés, etc. peuvent être réalisés au sein de tels projets.

5.2. Efficacité des mesures de lutte contre l'érosion en ce qui concerne la production de sédiments

Le Tableau 9 indique sur quels processus d'érosion une mesure de lutte contre l'érosion déterminée exerce un effet. Les 5 premières mesures assurent une réduction de la quantité de sol libérée et déplacée, ce qui entraînera également une diminution de l'eau et de la boue excédentaire dans les zones situées en aval. Le double ensemencement de céréales et l'installation des chenaux enherbés luttent contre la formation de ravines dans les thalwegs, mais il peut encore y avoir des rigoles sur le reste du champ. Le but de l'installation des éléments végétaux linéaires est de piéger les sédiments produits sur le champ avant qu'ils ne rejoignent les cours d'eau. L'installation de digues de terre et de bassins d'orage bloque temporairement l'écoulement, ce qui permet la décantation du matériau de sol. Ces mesures sont axées sur les symptômes, puisque l'érosion au niveau des champs n'est pas combattue en elle-même.

En ce qui concerne les mesures de lutte contre l'érosion, le principe général est de préférer les mesures axées sur l'origine aux mesures axées sur les symptômes. Toutefois, pour certains endroits, l'application de mesures axées sur l'origine ne sera pas suffisante pour pouvoir éliminer complètement les pertes de sol et tous les excédents d'eau et de boue qui l'accompagnent, et il faudra donc prendre également des mesures au niveau du bassin versant.

Tab. 9 Impact des différentes mesures de lutte contre l'érosion sur le processus d'érosion et sur les facteurs influençant l'érosion. X: impact direct, (x): impact indirect

	bonnes pratiques agricoles	culture de couverture	paillage	travail du sol minimum	sous-semis	travail du sol isohypse	double ensemencement	bandes enherbées	éléments végétaux linéaires	stabilisation des berges	digues en terre / paille	bassins d'orage & de décantation	mise en jachère	aménagement rural
Processus d'érosion														
érosion inter-rigoles et en rigoles	x	x	x	x	x	x	(x)	(x)					x	x
érosion en ravines sur les champs	x	x	x	x	x		x	x		(x)	x		x	x
ravins de berme	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)				(x)	x			(x)	(x)
problèmes d'eau et de boue	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)		(x)	x	x	(x)	x	x	x	(x)
Facteurs d'érosion														
caractéristiques physiques	x	x	x	x	(x)		(x)	(x)					(x)	
caractéristiques du lit d'ensemencement	x					(x)								
couverture végétale		x	x	x	x		x	x	(x)				x	x
caractéristiques topografiques						(x)	(x)	(x)	x		x	(x)		
structure du paysage								(x)	(x)		(x)	(x)	(x)	x

Le Tableau 9 indique l'impact des différentes mesures de lutte contre l'érosion sur les facteurs influençant l'érosion. Ces facteurs d'érosion reflètent les cinq principes de base importants de la conservation du sol :

- **Amélioration de la structure du sol**

  De nombreuses techniques de conservation du sol ont pour objectif l'amélioration du sol afin d'arriver à une structure optimale. Un sol qui présente une bonne structure contient de nombreux agrégats stables (mottes de terre) et résiste ainsi mieux à la force érosive des gouttes de pluie, ce qui ralentit l'apparition de l'encroûtement. On peut améliorer la structure du sol en augmentant sa teneur en matière organique, en semant une culture de couverture, en optimisant le pH du sol par l'apport de chaux, etc.

- **Augmentation de la rugosité de surface du lit de semence**

  Des précipitations tombant sur une surface rugueuse peuvent entraîner une collecte d'eau importante dans les petites dépressions créées qui ainsi réduisent les débits d'écoulement. De plus, l'écoulement de l'eau est freiné par la surface rugueuse. Une eau de pluie qui s'écoule lentement détachera et transportera moins rapidement des particules de sol qu'une eau qui s'écoule rapidement. Plus la surface du sol est rugueuse, moins il y aura d'érosion. Si l'on travaille le sol parallèlement aux courbes de niveau, la rugosité augmente vers le bas de la pente. Lorsqu'on compare cette technique à un travail du sol ascendant et descendant, on constate que la rétention de surface de l'eau de pluie est plus élevée. On peut également augmenter la rugosité de surface entre autre en travaillant le sol après la récolte et en remblayant les ornières laissées par les roues des machines agricoles.

- **Maintien d'une couverture du sol maximale le plus longtemps possible**

  Les techniques assurant une couverture optimale du sol contribuent à empêcher l'érosion du sol. Un sol couvert est protégé contre l'impact direct des gouttes de pluie et s'encroûte moins rapidement. De plus, la végétation freine la rapidité d'écoulement de l'eau de pluie. Différentes études montrent que la perte en terre par l'érosion de type en rigoles ou inter-rigoles diminue de façon exponentielle en fonction de l'augmentation du degré de couverture. Le double ensemencement de céréales dans les zones avec écoulement concentré et un sous-semis herbeux du maïs assurent une meilleure couverture du sol sur les champs. Au cours de la période hivernale, le sol peut être protégé de l'érosion par le semis d'une culture de couverture. Les techniques culturales simplifiées garantissent, grâce au non-labour, une couverture optimale du sol pendant toute l'année et conviennent donc très bien pour lutter contre l'érosion.

- **Adaptation aux caractéristiques topographiques**

  Certaines mesures de prévention contre l'érosion du sol ne peuvent pas être appliquées partout : un contexte topographique spécial est nécessaire. C'est ainsi que le double ensemencement ou l'installation d'un chenal enherbé se fait toujours dans une vallée, là où se concentre l'écoulement de l'eau de pluie et entraîne régulièrement la formation de rigoles ou ravines. Des digues en terre ou des digues construites avec des ballots de paille sont installées transversalement par rapport à la direction d'une vallée sèche. On trouve des bassins d'orage dans les endroits du site

où il y a fréquemment des écoulements importants avec une charge en sédiment élevée.

- **Modifications de la structure du paysage**

  Il faut parfois modifier la structure du paysage pour limiter l'excédent d'eau et de boue en aval. Nous pensons ici à la modification de l'occupation du sol et aux modification de la taille, de la forme et de l'orientation des parcelles. On peut modifier la longueur d'une pente en modifiant la forme et la taille des parcelles. La force érosive de l'eau est déterminée par la longueur sur laquelle elle peut s'écouler sans contrainte. Les limites des parcelles jouent un rôle important dans les processus d'érosion et de sédimentation générés par l'eau : une partie de l'eau de pluie qui s'écoule infiltre et entraîne une sédimentation. La modification de la structure du paysage peut s'effectuer dans le cadre d'un projet de remembrement.

L'efficacité des différentes techniques de lutte contre l'érosion en ce qui concerne la production de sédiment est étudiée dans différentes institutions de recherche (voir Partie VI). Dans le cadre du projet 'Reductie van sedimentaanvoer naar waterlopen vanuit landelijke gebieden: begroting en evaluatie van controlemaatregelen' (Réduction du transport de sédiments vers les cours d'eau : coût et évaluation des outils de contrôle) l'Université de Gand teste l'efficacité des tournières enherbées et la K.U.Leuven analyse l'impact des techniques culturales simplifiées sur la production de sédiment. Les premiers résultats montrent que les techniques culturales simplifiées offrent des perspectives intéressantes. Le non-labour des sols permet de réduire de 25% à 75% la quantité d'eau qui s'écoule et la perte en terre diminue en moyenne de 65% (Gillijns et al., 2002). Par sa densité racinaire supérieure, le double ensemencement de céréales assure une diminution de la perte en terre de 50% environ (Gyssels et al., 2002). Des mesures de terrain à Saint-Trond montrent que le transport de sédiment de la zone agricole vers les cours d'eau et les villages situés en aval a diminué de 40 à 50% grâce à la construction de digues en terre (Vandaele et al., 2003: rapport interne Interbestuurlijke Samenwerking Land & Water).

Pour réduire l'érosion du sol dans un bassin versant, on combinera souvent différentes mesures. Dans le projet 'Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met het oog op het beperken van bodemverlies en modderoverlast' (Gestion intégrale des sols et de l'eau dans les zones rurales, en vue de limiter l'érosion et la surcharge en boues), plusieurs scénarios de lutte contre l'érosion ont été évalués pour 3 bassins versants de la commune de Gingelom (Verstraeten et al., 2001b, 2002a). Pour pouvoir chiffrer les quantités de sol perdus et la charge en sédiments des rivières, on a utilisé le modèle de perte de sol et transport de sédiment WATEM/SEDEM, développé par le Laboratoire de Géomorphologie expérimentale de la K.U.Leuven (voir 3.2.1). Le Tableau 10 donne les résultats principaux de l'étude. Pour chaque scénario, on y retrouve la perte en terre annuelle moyenne (E), l'exportation de sédiment (SY et TSY), le coefficient d'exportation des sédiments (SDR), les quantités de sédiments déposés par année dans les bassins d'orage existants (Sp) et la modification de ces paramètres comparés à une situation inchangée.

Ces études permettent de déduire que les mesures prises sur les champs, comme la mise en jachère (simulations 2 à 9), le semis d'une culture de couverture et les techniques culturales simplifiées (simulations 13 & 14) ont à la fois un effet important sur la réduction de la perte en

terre locale et sur la réduction du transfert de sédiment vers les cours d'eau et les centres habités. Lorsque différentes mesures sont combinées (scénarii 17 à 27), on remarque que les scénarii impliquant des techniques de conservation du sol (simulation 13) engendrent les réductions les plus élevées au niveau de la perte en terre et de l'exportation de sédiment. Les mesures comme l'installation de tournières enherbées entre les parcelles ou le long des cours d'eau (scénarii 15 & 16) n'ont qu'une faible influence sur les valeurs de la perte en terre. La réduction de l'exportation de sédiment est un peu plus élevée, mais pas particulièrement spectaculaire. L'installation de tournières enherbées représente donc uniquement un complément dans le cadre d'une gestion couvrant l'ensemble de la zone et axée sur la réduction de la production de sédiment sur les terres agricoles. Les petits bassins d'orage (simulations 11 & 12) ont un impact important sur le transfert de sédiment vers les cours d'eau. La plupart de ces conclusions sont également d'application ailleurs en Belgique. En raison des différences locales au niveau de la morphologie du site, de l'état du sol et de l'hydrographie, il faut toutefois pour chaque site choisir un mélange différent de mesures pour pouvoir obtenir l'effet maximal.

Scenario number	Scenario	E	ΔE	SY	TSY	ΔTSY	ΔSY	SDR	Sp	ΔSp
1	unchanged situation	5.9	–	0.3	2481	–	–	13	516	
2	5% set-aside using probability model of Van Rompaey et al. (2001b)	5.6	5	0.7	3378	71	3	12	490	−26
3	10% set-aside using probability model of Van Rompaey et al. (2001b)	5.1	13	0.6	3151	−288	−9	12	450	−66
4	15% set-aside using probability model of Van Rompaey et al. (2001b)	4.8	−19	0.6	3021	−428	−12	12	437	−79
5	20% set-aside using probability model of Van Rompaey et al. (2001b)	4.4	−25	0.5	2828	−621	−18	12	377	−139
6	5% set-aside using soil loss rate map	5.4	−13	0.6	2866	−945	−17	13	465	51
7	10% set-aside using soil loss rate map	4.6	22	0.5	3374	875	25	11	385	−132
8	15% set-aside using soil loss rate map	4.2	31	0.5	3571	1074	31	11	352	−165
9	20% set-aside using soil loss rate map	3.7	−38	0.4	2257	−1192	−35	12	335	−181
10	filling ditches and installing grass waterways	5.9	–	0.6	3036	−413	−12	10	410	−106
11	6 sediment retention ponds	5.9	–	0.6	3006	−443	−12	10	1028	1512
12	6 sediment retention ponds and 7 water retention ponds	5.9	–	0.6	2960	−480	−14	10	1277	1761
13	soil conservation measures on all fields	5.9	−35	0.4	2413	−1156	−33	10	352	164
14	soil conservation measures on fields very high soil losses	4.5	−15	0.6	2888	−461	−13	12	447	−69
15	grass buffer strips downstream fields with high soil losses	5.7	3	0.6	2313	255	7	11	497	−19
16	grass buffer strips along all rivers	5.8	−2	0.5	2748	−661	−19	9	407	−109
17	12 and 15	3.9	−35	0.4	1936	−1453	−42	10	913	+397
18	12 and 15	3.7	−3	0.5	2756	−693	−20	9	1516	+1000
19	12 and 16	3.8	−2	0.5	2466	−984	−29	8	1121	+605
20	12 and 15	3.7	−37	0.4	2113	−1336	39	11	530	186
21	12 and 16	3.7	−37	0.5	1798	−1652	48	9	263	−253
22	15 and 16	5.7	4	0.5	2653	−796	−23	9	398	−118
23	12, 15 and 16	3.6	−38	0.3	1702	−1747	−52	9	257	−259
24	12, 13, 15 and 16	3.6	−38	0.3	1526	−1921	−55	8	693	+177
25	10 and 13	3.8	−36	0.4	1957	−1432	−41	10	271	−245
26	10, 12, 15 and 16	3.6	−38	0.3	1614	−1818	−53	8	208	−308
27	6, 10, 13, 15 and 16	3.2	−46	0.3	1117	−2312	−62	8	195	−323

E = average soil loss rate (t ha^{-1} yr^{-1}); ΔE = % change in soil loss rate; SY = sediment yield (t ha^{-1} yr^{-1}); TSY = total sediment delivery (t yr^{-1}); ΔTSY = change in total sediment delivery (t yr^{-1}); ΔSY = % change in SY; SDR = sediment delivery rate (%); Sp = annual amount of sediment deposited in the ponds (t yr^{-1}); ΔSp = absolute change in Sp (t yr^{-1})

Tab 10 Résultats des scénarios de simulation de lutte contre l'érosion, cas des bassins de la commune de Gingelom (Verstraeten et al., 2002a)

		IMPLICATIONS FINANCIÈRES DIRECTES		
		Coûts	Avantages*	
culture de couverture	+	– semis de la culture de couverture (75€/ha frais travailleur agricole) – semences (ex. moutarde jaune 15 €/ha)	–	– besoins d'engrais réduits
paillage	0/+	– perte vente paille	0	
techniques culturales simplifiées	++	– augmentation de l'utilisation d'herbicides (premières années) – lutte contre les limaces en plus en cas de non travail du sol (no till)	--	– moins d'heures de travail – réduction coût carburant
sous-semis	+	– semis de l'herbe (75€/ha frais travailleur agricole) – semences (50 €/ha)	–	– vente paille (300 €/ha) ou foin bétail
travail du sol selon les courbes de niveau	0		0	
double ensemencement	+	– semences supplémentaires	0	
chenaux enherbés et tournières enherbées	++	– semis de l'herbe (75€/ha frais travailleur agricole) – semences (50 €/ha) – couper herbe – perte surface cultivée coût total = 1050 €/ha (Verstraeten e.a., 2001)	–	– vente foin (300 €/ha)
structures de stabilisation des bermes	+	– digue en bois (10-22 €/m)	0	
digues de paille	+	– ballot de paille (34 €/pièce) – 2 pieux en bois par ballot de paille – treillis pour placer autour des ballots de paille	0	
digue en terre	++	– installation digue – enlèvement boue (10€/t) – perte surface cultivée.	0	
bassins de retenue et de décantation	+++	– petit bassin de retenue : installation 100000€ enlèvement boue: 10 €/t – grand bassin de retenue: installation 1000000€ enlèvement boue: 65 €/t – travaux d'entretien – perte surface cultivée. (Verstraeten e.a., 2001)	0	
mise en jachère	++	– perte surface cultivée	–	– vente foin (300 €/ha)
aménagement rural	selon le type de mesure d'aménagement rural			

Tab 11 Implications financières directes des mesures de lutte contre l'érosion (Gillijns et al., 2003; Verstraeten et al., 2001b). * Dans les avantages économiques, il faut également tenir compte des subsides. Etant donné que ceux-ci varient selon les Régions (voir Partie VII), les montants ne sont pas repris dans le tableau

5.3. Implications économiques (financières), écologiques et sociales des mesures de lutte contre l'érosion

Lors du choix des mesures de lutte contre l'érosion, il ne faut pas seulement tenir compte de l'effet de ces mesures sur la perte en terre et l'exportation de sédiment, mais aussi de leurs implications économiques, écologiques et sociales.

5.3.1. Implications financières

Le Tableau 11 ci-contre donne un aperçu des implications financières directes des mesures de lutte contre l'érosion. On ne tient pas compte dans ce tableau des subsides existants, étant donné que les montants varient selon les régions. Les implications financières du travail du sol selon les courbes de niveau, du paillage et des techniques culturales simplifiées sont limitées. Par contre, l'installation des chenaux enherbés, des tournières enherbées, de digues de terre ainsi que des bassins d'orage et de décantation entraînent des frais importants.

Les implications financières générales pour la Société ne sont pas reprises dans le Tableau 11. Nous pensons ici aux avantages et aux coûts suivants (Verstraeten et al., 2001b):

Avantages

- Réduction de l'excédent d'eau et de boue, ce qui entraîne une réduction des dommages occasionnés aux particuliers (logement, meubles, véhicules, etc.) et des dégâts au niveau des infrastructures publiques (nettoyage des routes, réparations des dommages occasionnés à l'égouttage, mise en œuvre des pompiers et de la protection civile).
- Réduction de la quantité de boue dans les rivières et réduction du dragage des grands cours d'eau (Escaut)
- Meilleure navigabilité des grands cours d'eau
- Réduction de la mise en décharge et de l'assainissement des boues
- Réduction du coût pour l'épuration des eaux
- Plus faible diminution du rendement de l'agriculture étant donné que la fertilité du sol est entretenue

Coûts

- Subsides pour les agriculteurs et les communes
- Acquisition de terres (acquisition, expropriation ou accord)
- Frais administratifs pour l'élaboration d'une politique en matière de conservation du sol
- Diminution du rendement (éventuellement)
- Coût du travail

5.3.2. Implications écologiques

Les implications écologiques des mesures de lutte contre l'érosion sont reprises dans le Tableau 12. Elles sont toutefois insuffisamment connues et souvent difficiles à estimer. Les avantages écologiques généraux ne sont pas repris dans le tableau. Il s'agit des avantages suivants :

Avantages

- rivières plus propres, propices au développement de la nature
- maintien du patrimoine du sol
- réduction de l'apport de substances nutritives (entre autres, phosphates) dans les cours d'eau

IMPLICATIONS ÉCOLOGIQUES DIRECTES		
	coûts	**avantages**
culture de couverture		• lessivage nitrates • moins de mauvaises herbes après l'hiver • lutte biologique contre les nématodes caenorhabditis des betteraves
paillage		
techniques culturales simplifiées	• souvent lutte contre les limaces et souris • augmentation de l'utilisation d'herbicides les premières années	• diminution de l'utilisation d'herbicides à long terme • augmentation de la vie biologique dans le sol (vers de terre)
sous-semis		• moins de lessivages nitrates
travail du sol selon les courbes de niveau		
double ensemencement		
chenaux enherbés et tournières enherbées		• amélioration de la biodiversité (plus de papillons, d'oiseaux etc.)
structures de stabilisation des bermes		• la végétation naturelle des bermes peut à nouveau se développer
digues de terre / de paille		
bassins de retenue et de décantation		
mise en jachère		• amélioration de la qualité de la nature (plus de papillons, d'oiseaux, etc.)
aménagement rural		

Tab. 12 Implications écologiques directes des mesures de lutte contre l'érosion (Gillijns et al., 2003)

5.3.3 Implications sociales

Très peu d'études ont été faites en Belgique sur les implications sociales des mesures de lutte contre l'érosion. On peut demander à l'agriculteur si certaines techniques de lutte contre l'érosion entraînent plus ou moins de stress, si elles entraînent plus de risques ou non, si elles rendent l'agriculteur plus ou moins dépendant des autres, si elles changent l'image de l'agriculteur etc. Au niveau de la société, il faut examiner de quelle manière chaque technique influence le vécu des gens en ce qui concerne le paysage, quel est l'impact des effets négatifs de l'érosion etc.

5.3.4. Durabilité des mesures de lutte contre l'érosion

La combinaison des aspects économiques, écologiques et sociaux entre en ligne de compte pour toutes les évaluations de la durabilité. Les techniques de lutte contre l'érosion sont durables dans la mesure où elles sont économiquement efficaces et acceptables du point de vue écologique et social pour les générations actuelles et futures. Pour analyser la durabilité des différentes mesures de lutte contre l'érosion, il faut connaître les aspects économiques, écologiques et sociaux. Ceci peut se faire à l'aide d'une analyse d'experts, dans laquelle on demande aux experts les paramètres économiques, écologiques et sociaux des techniques. La combinaison des différents paramètres n'est toutefois pas simple. Il existe diverses méthodes d'intégration de ces informations (ex. analyse multicritères, analyse coûts-avantages), mais chaque méthode présente des avantages et désavantages.

Dans le projet cité auparavant, 'Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met het oog op het beperken van bodemverlies en modderoverlast' (Gestion intégrale des sols et de l'eau dans les zones rurales, en vue de limiter l'érosion et la surcharge en boues) (Verstraeten et al., 2001b), l'efficacité de différentes mesures de lutte contre l'érosion est étudiée à l'aide d'une analyse coût-avantages.

En raison du manque de données suffisantes concernant l'estimation financière de certains avantages et coûts non concrets, on effectue souvent des estimations grossières ou on ne tient pas compte de ces coûts et avantages. C'est ainsi qu'il est difficile d'estimer le dommage psychologique ressenti par les habitants après une inondation boueuse. De même, il est difficile d'estimer précisément le dommage irréparable occasionné au patrimoine du sol. Ceci dépend entre autre de la valeur que l'utilisateur ou l'habitant du site accorde au sol.

Pour estimer des coûts et des avantages non tangibles, il existe des méthodes d'appréciation économique qui tentent de découvrir, sur base d'enquêtes, ce que l'on est disposé à payer ('willingness to pay') pour maintenir la situation dans son état actuel. Une autre approche consiste à effectuer une analyse de la prédisposition à accepter ('willingness to accept') afin d'évaluer le niveau de compensation souhaité pour accepter une nouvelle situation. Dans la publication de l'I.R.G.T. 'Crues et inondations en Belgique - Une évaluation des coûts non tangibles', on a utilisé une approche combinée - la 'contingent valuation method' - pour estimer les coûts non tangibles associés aux inondations (IRGT, 2001).

L'analyse coûts-avantages 'limitée' des mesures de lutte contre l'érosion montre que chaque mesure de lutte contre l'érosion (les mesures sont listées dans le Tableau 11) a un effet positif à long terme (Verstraeten et al., 2001b). Il serait souhaitable d'effectuer des recherches supplémentaires sur les montants corrects des coûts-avantages non tangibles ainsi que des analyses des coûts-avantages plus précises.

5.4 Mise en oeuvre des mesures de lutte contre l'érosion

En Wallonie, une enquête a été envoyée en 2001 à 1500 agriculteurs de la région sablo-limoneuse afin de déterminer le point de vue des agriculteurs par rapport aux mesures de lutte contre l'érosion (Bielders et al., 2003).

mesures	pourcentage des agriculteurs
culture de couverture	53,2
travail du sol selon les courbes de niveau	36,0
tournières enherbées	23,4
techniques culturales simplifiées ou no-till	24,7
éviter les 'cultures sensibles à l'érosion' sur des 'sols sensibles à l'érosion'	14,0
assurer une couverture de surface maximale du sol avec des résidus de culture	4,7
sous-semis d'herbes dans maïs	3,5
autres	10,2

Tab 13
Mesures de lutte contre l'érosion les plus importantes appliquées par les agriculteurs wallons de la région sablo-limoneuse (Bielders et al., 2003).

24% des agriculteurs contactés ont rempli le questionnaire. Il en ressort que 70.7% des agriculteurs souffrent de problèmes d'érosion et que 73.8% prennent des mesures contre l'érosion (Tableau 13). Parmi ces mesures, trois mesures (culture de couverture, tournières enherbés et sous-semis) étaient à ce moment subsidiées par les autorités wallonnes. Bien que 80.7% des agriculteurs étaient au courant des mesures subsidiées, seuls quelques 36.5% avaient rentré une demande de subsides. L'introduction d'autres mesures subsidiées comme le semis direct, les techniques culturales simplifiées et l'installation de bandes enherbées selon les courbes de niveau, était souhaités par 40.6% des agriculteurs.

Fin 80, la problématique de l'érosion du sol a été exposée en détails dans la presse. Les réactions étaient alors plutôt négatives et le problème a été nié : l'érosion du sol était 'acceptée' comme une conséquence inévitable de l'agriculture moderne. Ces dernières années, la prise de conscience concernant le problème de l'érosion du sol s'est développée. Ceci est lié entre autre au fait que le paysage s'est énormément modifié au cours des 30 dernières années. On a beaucoup construit dans la campagne et la situation sociologique s'est modifiée : la plupart des personnes habitant la campagne ne vivent plus de l'agriculture. Elles sont souvent directement confrontées aux conséquences en aval de l'érosion du sol. La pression exercée sur les administrations locales et régionales augmente, les personnes concernées exigent que quelque chose soit entrepris contre l'excédent d'eau et de boue. En plus des habitants des régions rurales, les agriculteurs accordent également plus d'attention au problèmes environnementaux. Une partie importante de la génération actuelle d'agriculteurs est consciente du fait que son rôle dans la société a changé. Ils réalisent que des systèmes agraires qui entraînent des problèmes pour les autres groupes de la population ne sont pas durables. Les agriculteurs ne sont plus seulement des producteurs de cultures vivrières, mais sont également devenus les gestionnaires du paysage (Verstraeten et al., 2003a). Le nombre de participants aux journées de visite de terrain sur le thème de l'érosion montre également l'intérêt des agriculteurs pour les techniques de lutte contre l'érosion (voir également 6.2). Toutefois, il y a un manque de données solides concernant le changement de mentalité des agriculteurs en ce qui concerne l'érosion du sol.

Dans cette partie, nous donnons un aperçu général des projets d'étude et de démonstration importants qui concernent l'érosion en Belgique. Les projets sans caractère d'étude ou de démonstration et qui ne traitent que de la réalisation de petits travaux à faible échelle dans le cadre de lutte contre l'érosion ne sont pas repris. Certaines mesures portant sur des techniques de culture, comme les techniques culturales simplifiées, n'ont pas été étudiées dans le cadre spécifique de la lutte contre l'érosion (ex. l'étude IWONL 'Bodembedekking in de teelten van maïs en suikerbieten' (Couverture des sols dans les cultures de maïs et de betteraves sucrières)) et ne sont pas reprises dans la liste. Afin d'en savoir plus sur les expériences positives et négatives obtenues dans ces projets de démonstration, des interviews ont été effectués auprès de certains participants dont les projets sont achevés ou presque achevés (indiqués par une * dans ce qui suit).

6.1. Aperçu général des projets achevés et en cours concernant l'érosion des sols (au 31/12/2003)

6.6.1. Projets achevés

« Campagne de sensibilisation et de lutte contre l'érosion du sol » (Bock et al., s.d.)

Genre de projet	Démonstration et étude
Financement	Service Science du Sol Bruxelles : Inter-environnement Wallonie
Durée	réalisé au cours des années 80
Exécutants	FUSAGx
Concernés	différentes associations professionnelles agricoles (UPA, AAB, UDEF); la Fédération des Pêcheurs Francophones de Belgique ; différentes universités: Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve (Faculté des Sciences Agronomiques - Département des Sciences du Milieu et de l'Aménagement du Territoire) et Liège (Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire)
Objectifs :	• effectuer des enquêtes auprès des agriculteurs afin de détecter les origines et l'importance du problème de l'érosion
	• informer les agriculteurs et le grand public sur les mécanismes et les conséquences de l'érosion ainsi que sur les techniques de lutte contre l'érosion
	• vulgarisation des résultats scientifiques en ce qui concerne la lutte contre l'érosion
	• détection (via enquête) et installation de parcelles expérimentales pour l'application des techniques de lutte contre l'érosion

« Gecoördineerde bodemerosiebestrijding: een demonstratief actie-onderzoek » (Vlaams-Brabant) (Lutte coordonnée contre l'érosion du sol : un action de type démonstration - Brabant flamand) (Intergemeentelijk Opbouwwerk arr. Leuven, 1996)

Genre de projet	Démonstration
Financement	Fonds EOGFL (Union européenne), Ministère de l'Agriculture
Durée	1992 - 1995
Exécutant(s)	IGO-Leuven
Concernés	Bodemkundige Dienst van België, Ministerie van Landbouw, Provinciale Landbouwdienst Vlaams-brabant, Labo voor Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven), Instituut voor land- en waterbeheer (K.U.Leuven), Geografisch instituut (VUB), VLM, Boerenbond, Vlaams Agrarisch Centrum, PIBO-Tongeren, CLO

Réalisations	Au cours du projet, 22 parcelles de démonstration ont été installées chez des agriculteurs du Hageland. Les trois techniques de cultures suivantes ont été choisies : semis de betteraves sucrières sous plante-abri, semis d'herbe dans du maïs et apport de compost (GFT (= légumes, fruits & déchets jardin) et compost vert) pour betteraves sucrières. A l'aide d'informations et de visites sur terrain, on a essayé de convaincre le plus grand nombre possible d'agriculteurs d'appliquer ces techniques de culture. De plus, des initiatives de sensibilisation et d'information ont été organisées pour les agriculteurs du Hageland ainsi que pour les agriculteurs d'autres régions sensibles à l'érosion en Flandre.

« Etude d'impact du remembrement sur l'environnement » (Dubois, s.d.)

Genre de projet	Etude
Financement	Office Wallon du Développement Rural
Durée	1994-1995
Exécutants	Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux
Concernés	----
Résultats	L'étude est composée de trois parties : le ruissellement et l'érosion, le bilan énergétique et la répartition des apports agrochimiques.

« Bodemerosie in het stroombekken van de Kemmelbeek. » (Erosion du sol dans le bassin versant de Kemmelbeek) (Biesemans et al., 1998, 1999a,b,c,d)

Genre de projet	Etude et démonstration
Financement	Province de Flandre occidentale
Durée	1996-1999
Exécutants*	Proclam v.z.w. (Provinciaal centrum voor landbouw en milieu); U.Gent
Concernés	U.Gent, provincie West-Vlaanderen, Regionaal Landschap WVH, CLO, ALT, POVLT
Réalisations	Une carte actuelle de l'érosion du bassin du Kemmelbeek a été réalisée (par U.Gent). Afin de sensibiliser les agriculteurs, des champs expérimentaux avec tournières enherbées, culture de couverture et compost GFT ont été installés.

« Opstellen beleidsdocument en beleidskaart ten aanzien van bodemerosie in Vlaanderen » (Elaboration d'un document pour les politiques de gestion et d'une carte d'érosion du sol en Flandre) (Van Rompaey et al., 1999)

Genre de projet	Etude
Financement	Ministère de la Région flamande - AMINAL - Département eau
Durée	1998 (2 mois)
Exécutants	Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)
Réalisations	Document pour politiques + carte de l'érosion en Flandre (Niveau Zones VHA (= atlas hydrographique flamand)) + cartes détaillées pour 10 zones VHA

« Bodemerosiesnelheden op landbouwpercelen in Vlaanderen » (Taux d'érosion du sol sur les parcelles agricoles en Flandre) (Van Rompaey et al., 2000)

Genre de projet	Etude
Financement	Ministère de la Région flamande - AMINAL - Département sol
Durée	1999 (2 mois)
Exécutants	Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)
Réalisations	Carte de l'érosion en Flandre au niveau des parcelles+ rapport d'accompagnement

« Aanpak van verdroging en wateroverlast door infiltratie, lokale berging en afremming van hemelwaterafvoer met bijzondere aandacht voor erosiebestrijding samen met landbouwers » (Vlaams-Brabant) (Approche de la sécheresse et des excès d'eau par l'infiltration, la rétention locale et le ralentissement de l'écoulement des eaux de pluie, avec une attention spéciale pour la lutte contre l'érosion en collaboration avec des agriculteurs – Brabant flamand)) (IGO Leuven et al., 2003)

Genre de projet	Démonstration
Financement	Union européenne – LIFE
Durée	1999 – 2002
Exécutant(s)*	IGO-Leuven
Concernés	Commune de Bierbeek, commune de Boutersem, commune de Hoegaarden, AMINAL Water, Bureau d'étude Tauw
Réalisations	Dans le cadre de ce projet, un plan communal d'eau de pluie a été établi pour chaque commune par le bureau d'étude Tauw. Ce plan vise une gestion intégrale de l'eau dans les communes, en commençant par une gestion durable sur les terres agricoles. C'est ainsi que des mesures de lutte contre l'érosion ont également été prises et élaborées concrètement : établissement d'un règlement des subsides communaux 'érosion', conclusion de contrats avec 40 agriculteurs, 4 interventions au niveau de l'infrastructure, 14 petites interventions axées sur l'origine.

« Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met het oog op het beperken van bodemverlies en modderoverlast (proefproject gemeente Gingelom) » (Gestion intégrale des sols et de l'eau dans les régions rurales en vue de limiter l'érosion et la surcharge en boues (projet pilote commune de Gingeloom)) (Verstraeten et al., 2001b)

Genre de projet	Etude
Financement	Ministère de la Région flamande – AMINAL – Département sol
Durée	2000 – 2001
Exécutants	Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)
Concernés	prov. Limb. sectie waterlopen, prov. Limb. Landbouwdienst, gemeente Gingelom, Watering Sint-Truiden, AMINAL Land, VLM, AMINAL Water, VAC, K.U.Leuven
Réalisations	Ce projet est considéré comme un projet pilote destiné à acquérir de l'expérience dans le cadre des mesures de lutte à l'origine contre l'érosion. A la demande d'AMINAL Land, la K.U.Leuven a réalisé une étude de modélisation afin de déterminer et d'analyser les points chauds et d'évaluer différents scénarios avec solutions.

« Pilootproject Gingelom – bodemerosie – enquête landbouwers » (Projet pilote Gingeloom – érosion du sol – enquête auprès des agriculteurs) (Peumans, 2001)

Genre de projet	Etude, démonstration
Financement	Province du Limbourg
Durée	2000 – 2001
Exécutants	VLM
Concernés	prov. Limb. sectie waterlopen, prov. Limb. Landbouwdienst, gemeente Gingelom, Watering Sint-Truiden, AMINAL Land, VLM, AMINAL Water, VAC, K.U.Leuven
Réalisations	A la demande de la Province du Limbourg, VLM a effectué une enquête auprès des agriculteurs avec un double objectif : sensibilisation et contrôle sur le terrain des résultats simulés (de l'étude ci-dessus). Le groupe d'accompagnement a organisé deux réunions d'information pour les agriculteurs concernés.

« Erosiebeperking in de Vlaamse Ardennen' (Limitation de l'érosion dans les Ardennes flamandes » (Rottiers et al., 2001, 2002; Schiettecatte et al., 2000, 2001a)

Genre de projet	Etude et démonstration
Financement	Province de Flandre orientale – Service de l'agriculture et de l'horticulture
Durée	2000 – 2002
Exécutants	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent)
Concernés	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent), Prov. O.-Vl. Dienst Land- en Tuinbouw, Dienst Wegen en Waterlopen, Dienst Planning en Natuurbehoud
Réalisations	1. Description de la problématique de l'érosion (étude théorique) 2. Aperçu des possibilités de subsides 3. Délimitation des parcelles potentiellement sensibles à l'érosion dans le bassin versant du Markebeek 4. Installation de champs de démonstration

« Demonstratie van teelttechnische maatregelen en bodemverbetering ter beperking van bodemerosie en nutriëntenverlies in West – en Oost –Vlaanderen » (Démonstration de mesures portant sur les techniques culturales et l'amélioration du sol pour la limitation de l'érosion du sol et de la perte de substances nutritives en Flandre occidentale et orientale) (Van Den Hende et al., 2001)

Genre de projet	Démonstration
Financement	Ministère de la Région flamande – Administration de l'agriculture et de l'horticulture
Durée:	1/2001 – 12/2001
Exécutant(s)*	Proclam v.z.w. (Provinciaal centrum voor landbouw en milieu)
Concernés	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent), provinciale dienst Land- en Tuinbouw Oost-Vlaanderen, CLO, ALT
Réalisations	Via l'installation de champs de démonstration, l'organisation de visites sur terrain et l'approche individuelle des agriculteurs. On tente d'accélérer le processus de prise de prise de conscience chez les agriculteurs et horticulteurs, afin qu'ils prennent des mesures portant sur les techniques culturales pour limiter le plus possible la perte de sol et le lessivage de substances nutritives. Les techniques culturales suivantes ont été démontrées sur les champs : tournières enherbées, culture de couverture, sous-semis d'herbe dans le maïs, technique simplifiée du non-labour et semis direct.

« Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie in de Vlaamse Ardennen » (Mesures régionales contre l'érosion du sol dans les Ardennes flamandes) (Oltenfreiter et al., 2002; Schiettecatte et al., 2001b; Verbist et al., 2002a,b,c)

Genre de projet	Etude et démonstration
Financement	Province de Flandre orientale – Centre de recherche de l'Envirronnement
Durée	1/2001 – 8/2002
Exécutants	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent)
Concernés	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent), Prov. O.-Vl. Dienst Land- en Tuinbouw, Dienst Wegen en Waterlopen, Dienst Planning en Natuurbehoud Regionaal Landschap Vlaamse Ardennen, AMINAL Land, AMINAL Water, VLM
Réalisations	1. Délimitation des zones d'érosion sur la base de la carte de risque d'érosion au niveau parcellaire. 2. Inventaire des points chauds sur la base des constatations sur le terrain et des déclarations des autorités et associations locales 3. Information sur les mesures portant sur les techniques culturales possibles et les mesures structurelles 4. Elaboration concrète de mesures portant sur les techniques culturales possibles 5. Installation de champs de démonstration
Zone du projet	bassins versants Molenbeek/Maarkebeek et Zwalm, situés sur le (ou parties du) territoire de 8 communes : Kluisbergen, Ronse, Oudenaarde, Maarkedal, Horebeke, Brakel, Zwalm, Zottegem.

« Optimalisatie van een erosie- en sedimenttransportmodel voor het evalueren van beheersmaatregelen in het kader van een integraal land- en waterbeheer. » (Vlaanderen) (Optimisation d'un modèle de l'érosion et du transport de sédiment pour l'évaluation des mesures de gestion dans le cadre d'une gestion intégrale des terres et de l'eau – Flandre) (Verstraeten et al., 2002c)

Genre de projet	Etude
Financement	Ministère de la Région flamande – AMINAL – Département sol
Durée	2001 – 2002
Exécutants	Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)
Concernés	K.U.Leuven, AMINAL Land
Réalisations	Un modèle de la perte en terre et du transport de sédiment (WaTEM/SEDEM), développé dans le Laboratoire de Géomorphologie expérimentale de la K.U.Leuven permet d'évaluer l'effet des différentes mesures de gestion portant sur les quantités de perte de sol et la charge de sédiment dans les cours d'eau et pouvant être prises entre autres dans le cadre du Code pour les bonnes pratiques agricoles et le règlement des subsides pour la lutte contre l'érosion de la Communauté flamande. De cette manière, une politique effective et efficace en matière de lutte contre l'érosion peut être soutenue scientifiquement. Le modèle est toutefois d'un accès difficile pour les politiques et doit être optimisé et rendu plus convivial dans le cadre de ce projet afin qu'il puisse être utilisé dans l'administration et les bureaux d'études.

« Etude méthodologique pour la prévention et la correction des problèmes d'érosion et de colluvionnement des terres en zone rurale » (Wallonie) (Dautrebande, 2003; Dautrebande et al., 2003)

Genre de projet	Etude
Financement	Direction de l'Espace Rural (Direction Générale de l 'Agriculture, Région Wallonne)
Durée	3/2001 – 2/2003
Exécutant(s)	Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole (Génie Rural) – FUSAGx
Concernés	----
Réalisations	L'output du projet consiste en 2 documents : . Document 1: 'Cartographie des zones à risque de ruissellement et d'érosion en Région wallonne: méthodologie et cas pilotes'. Carte indiquant les zones d'inondation et les zones avec risque d'érosion élevé en Wallonie (étude pilote). . Document 2 'Conservation des eaux et du sol. Guide pour un choix de techniques adaptées en matière d'aménagement de petits bassins versants ruraux.' Livret contenant des directives sur les mesures de lutte contre l'érosion.

'ADALI-expérimentation' « Adaptation des aménagements hydraulique à la lutte contre les inondations – expérimentation » (Wallonie) (Ramelot et al., 2002)

Genre de projet	Etude
Financement	Région Wallonne
Durée	2/2001-3/2003
Exécutants	Unité de génie rural (Univ. catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve)
Concernés	idem
Réalisations	– enquête auprès de 262 communes sur l'importance des inondation en Wallonie – enquête auprès de 345 agriculteurs dans la région limoneuse et sablo-limoneuse wallonne sur l'érosion du sol et les techniques de lutte contre l'érosion – évaluation des frais entraînés par les inondations à Bassenge (1999) et Beauvechain (2001) – étude du concept des zones temporairement inondables – identification de l'origine des inondations sur la base d'études sur terrain

« MIRA-T 2002: thema 2.21 Kwaliteit bodem: bodemerosie « (Vlaanderen) (MIRA-T 2002: thème 2.21 Qualité du sol : érosion du sol - Flandre) (Verstraeten et al., 2002b)

Genre de projet	Etude
Financement	VMM - Ministère de la Région flamande
Durée	2002
Exécutants	Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)
Concernés	K.U.Leuven, VMM
Réalisations	Relevé de la distribution de l'érosion du sol en Flandre et du transfert de sédiment vers les cours d'eau flamands. L'évolution temporelle de l'utilisation agricole du sol et de sa sensibilité à l'érosion est également analysée.

« Etude pilote pour la réduction des risques de colluvionnement liés aux processus de ruissellement du bassin versant de Rieu St. Jean (Ath) »

Genre de projet	Etude
Financement	Direction de l'espace rural (Direction générale de l'Agriculture, Région wallonne)
Durée	1/3/2003 - 1/12/2003
Exécutant(s)	Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole - Génie Rural (FUSAGx)
Concernés	---
Description	Le projet se compose de 2 phases : . phase 1: identification des zones à problèmes . phase 2: élaboration d'un plan de lutte contre l'érosion

« Beoordeling van de efficiëntie van kleinschalige erosiebestrijdingswerken in Sint-Truiden en Gingelom » (Evaluation de l'efficacité des petits travaux de lutte contre l'érosion à St Trond et Gingeloom) (Vandaele et al., 2003)

Genre de projet	Etude et démonstration
Financement	Ministère de la Région flamande - AMINAL - Département sol
Durée	1/1/2003 - 30/11/2003
Exécutants*	Wateringue de Saint-Trond
Concernés	Sint-Truiden, Niewerkerke, Geetbets, Gingelom, Herk-de-Stad, Provincie Limburg afd waterlopen en landbouw.
Description	On évalue si des travaux de lutte contre l'érosion à petite échelle sont efficaces pour la rétention des sédiments et la lutte contre l'érosion. En outre, on évalue la faisabilité des chenaux enherbés et les accords portant sur les cultures entre agriculteurs.

« Computermodel RUSLE C-factor »

Genre de projet	Etude
Financement	Ministère de la Région flamande - AMINAL - Département sol
Durée	mai à décembre 2003
Exécutants	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent)
Concernés	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent), AMINAL Land, Bodemkundige Dienst van België, Labo voor Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)

Description	– Développement d'un logiciel flexible pour le calcul des facteurs RUSLE C concernant la rotation des cultures, y compris les techniques culturales pour la lutte contre l'érosion. L'objectif visé est de pouvoir modifier tous les paramètres variables de manière interactive. – Collecte des données portant sur les cultures pour les introduire dans le modèle et éventuellement corriger les données disponibles actuellement. – Etablissement d'une carte sur les facteurs C pour la Flandre sur la base de la carte des rotations de '98–'99–'00 en utilisant le logiciel livré et les données portant sur le cultures éventuellement corrigées. – Affinement et actualisation de la carte sur l'érosion du sol–zone rurale sur la base des nouveaux facteurs C pour les rotations '98–'99–'00.

« MIRA–T 2003 : thema 2.20b bodemerosie « (Vlaanderen) (MIRA–T 2002: thème 2.21 érosion du sol – Flandre) (Verstraeten et al., 2003b)

Genre de projet	Etude
Financement	Ministère de la Région flamande–VMM
Durée	2003
Exécutants	Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven)
Concernés	K.U.Leuven, VMM
Description	Analyse de la variabilité temporelle dans l'érosivité des précipitations pour la période 1898–2002 et de la sensibilité à l'érosion de l'utilisation du sol flamand pour la période 1999–2002. On calcule également pour cette période les valeurs moyennes de l'érosion hydrique, ainsi que les variations annuelles des transfert de sédiment vers les cours d'eau flamands.

6.6.2. Projets en cours

« Demonstratieproject voor het opstellen en implementeren van een geïntegreerd actieprogramma voor het vermijden van bodemeerosie en wateroverlast in Kortenberg, Huldenberg en Bertem. » (Projet de démonstration de l'installation et de l'implémentation d'un programme d'actions intégrées pour éviter l'érosion du sol et l'excédent d'eau à Kortenberg, Huldenberg et Bertem)

Genre de projet	Démonstration
Financement	Union européenne – LIFE
Durée	1999 –
Exécutant(s)*	Technum, Resource Analysis, (bureaux d'étude)
Concernés	commune de Kortenberg, commune de Huldenberg, commune de Bertem, Lab. Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven) fysische geografie, arbeids– en organisatiepsychologie, AMINAL Land, VLM, ALT, AROHM Vl.–Br., AMINAL Water, Boerenbond, VMM, Prov. Vl.Br.
Description	Détermination et analyse des points chauds dans les communes concernées. Plusieurs mesures à petite échelle portant sur l'infrastructure sont présentées et développées (les permis de construction sont demandés). On ne sait pas encore clairement si et comment des mesures portant sur les techniques culturales seront prises. Beaucoup d'insistance sur la communication et la participation. Jusqu'à présent uniquement quelques démonstrations.

« Sedimentaanvoer naar waterlopen vanuit landelijke gebieden: begroting en evaluatie van controlemaatregelen. » (Vlaanderen) (Transfert de sédiment vers les cours d'eau à partir des zones rurales : estimation et évaluation des mesure de contrôle – Flandre)

Genre de projet	Etude et démonstration
Financement	Administration flamande (Département de recherches Scientifiques)
Durée	10/2000 – 2/2004
Exécutants	Labo voor Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven), Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent), Sociale en economische geografie (K.U.Leuven)
Concernés	AMINAL Land, AMINAL Water, VLM, CLO, ALT, AWZ
Description	L'output du projet consiste en 2 documents : . Un plan de réduction du transfert de sédiment vers les cours d'eau . Livret contenant des directives sur les mesures de lutte contre l'érosion couplées à des projets de démonstration 'travail du sol minimum' (K.U.Leuven) et tournières enherbées (U.Gent).

'PIRENE' « Programme Intégré de Recherche Environnement-Eau – partim : Modélisation du sol et des pratiques agricoles » (Wallonie)

Genre de projet	Etude
Financement	Gouvernement wallon
Durée	2001 – 2004
Exécutant(s)	Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole (Génie Rural) – FUSAGx (Faculté Universitaire de Gembloux)
Concernés	PIRENE : Projet Interuniversitaire avec 18 équipes participantes ; coordination : Centre Environnement, Université de Liège
Description	Etude de modélisation des bassins versants en Wallonie en ce qui concerne l'équilibre hydrique (eaux de surface, écoulement hypodermique, rechargement des nappes phréatiques) et la perte en terre due à l'érosion (sédiments, nitrates, phosphates, pesticides et matière organique)

« Etude intégrée sur les critères de choix et de faisabilité de pratiques agricoles dans une perspective de développement durable » (Wallonie)

Genre de projet	Démonstration
Financement	Subside attribué à GREENOTEC par la Direction Générale de l'Agriculture (Région wallonne)
Durée	1/2/2002 – 1/2/2004
Exécutant(s)	Coordination scientifique: Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole (Génie Rural) – FUSAGx
Concernés	GREENOTEC (Groupement d'agriculteurs), FUSAGx, UCl, CRA (Centre Wallon de Etudes Agronomiques)
Description	Diverses instances travaillent en étroite collaboration avec quelques agriculteurs au sein de ce projet. Le but est d'étudier les divers aspects des techniques culturales simplifiées sur des champs expérimentaux. Le 'Génie Rural' (FUSAGx) s'attache aux aspects 'érosion, physique du sol, eau' et coordonne le projet.

'DYNERH' » Impact de la dynamique temporelle des états de surface sur l'érosion hydrique des sols limoneux cultivés » (Wallonie; Corroy-le-Grand)

Genre de projet	Etude
Financement	Fond spécial pour la Recherche – Univ. catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve
Durée	11/2002-10/2006
Exécutants	Unité de génie rural (Univ. catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve)
Concernés	idem
Description	– quantification de l'impact d'une rotation betteraves-froment avec ou sans culture de couverture sur la dynamique temporelle de l'état de la surface du sol – modélisation de la dynamique temporelle de l'état de la surface du sol et de son impact sur l'érosion du sol

« Duurzame landbouw » (Vlaams-Brabant) (agriculture durable – Brabant flamand)

Genre de projet	Démonstration
Financement	Province du Brabant flamand – Service de l'agriculture et de l'horticulture
Durée	2003 –2006
Exécutant(s)	Provincie Vlaams-Brabant, dienst Land- en Tuinbouw + landbouwer Dirick Christian Provincie Vlaams-Brabant dienst leefmilieu, landbouworganisaties, Bodemkundige Dienst van België, K.U.Leuven, stad Landen En préparation : démonstration des techniques de lutte contre l'érosion, utilisation d'engrais organique et d'améliorateurs du sol, installation et gestion de petits éléments paysagers, gestion durable de l'eau, réduction des pesticides, lutte mécanique contre les adventices,...

« Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie als basis voor de opmaak van gemeentelijke erosiebestrijdingsplannen » (Mesures contre l'érosion du sol adaptées au conditions locales servant de base pour l'établissement de plans communaux de lutte contre l'érosion)

Genre de projet	Etude et démonstration
Financement	Province de Flandre orientale – Centre de recherche de l'envirronnement
Durée	1/2003 – 3/2004
Exécutants*	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent)
Concernés	Vakgroep bodembeheer en bodemhygiëne (U.Gent), Prov. O.-Vl. Dienst Land- en Tuinbouw, Dienst Wegen en Waterlopen, Dienst Planning en Natuurbehoud Regionaal Landschap Vlaamse Ardennen, AMINAL Land, AMINAL Water, VLM
Description	1. Délimitation des zones d'érosion sur la base de la carte de risque d'érosion au niveau parcellaire. 2. Inventaire des points chauds sur la base des constatations sur terrain et des déclarations des autorités et associations locales 3. Information sur les mesures portant sur les techniques culturales possibles et les mesures structurelles 4. Elaboration concrète des mesures portant sur les techniques culturales possibles 5. Installation de champs de démonstration
Zone du projet	(parties) du territoire des 12 communes suivantes : Brakel, Kluisbergen, Sint-Lievens-Houtem, Zottegem, Wortegem-Petegem, Zingem, Kruishoutem, Zwalm, Lierde, Erpe-Mere, Ronse et Maarkedal (pour autant que non situées sur les bassins versants Molenbeek/Maarkebeek et Zwalm, cfr. étude précédente)

« Erosiebestrijding » (Vlaams-Brabant, Limburg) (Lutte contre l'érosion – Brabant flamand, Limbourg)

Genre de projet	Démonstration et étude
Financement	Union européenne – INTERREG III, grensregio Vlaanderen – Nederland, Euregio Benelux Middengebied, partenaires du projet
Durée	1/1/2003 – 31/12/2005
Description	L'objectif est de limiter l'érosion du sol et, partant de là, ses conséquences pour le citoyen et l'économie. La réalisation est basée principalement sur le développement d'un livre basé sur les processus et d'une utilisation pratique ainsi que sur son utilisation en pratique dans différents bassins versants.

« MESAM 'Maatregelen tegen Erosie en Sensibilisatie van Agrariërs ter bescherming van het Milieu' » (West-Vlaanderen, Henegouwen, N-Frankrijk) (MESAM – Mesures contre l'érosion et sensibilisation des agriculteurs à la protection de l'environnement – Flandre occidentale, Hainaut, France (Nord))

Genre de projet	Démonstration
Financement	Union européenne – INTERREG
Durée	1/2003-12/2005
Exécutants	Proclam v.z.w. (Provinciaal centrum voor landbouw en milieu)
Concernés	U.Gent (B), Baraca vzw (B), Univ. catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve (B), Institut Supérieur d'Agriculture (F), Chambre régionale d'agriculture (F), provinciale dienst Land – en Tuinbouw Oost-Vlaanderen (B), AMINAL Land (B)
Description	. acquisition de connaissances et d'expérience en matière d'érosion (bibliographie, enquête auprès des agriculteurs) . application des techniques de lutte contre l'érosion par les agriculteurs . formation et information du secteur agricole . analyse de l'impact de l'érosion au niveau des parcelles et des bassins versants . information des politiques

« SOWAP » 'Soil and surface water protection using conservation tillage in northern and central Europe'

Genre de projet	Démonstration et étude
Financement	Union européenne – LIFE; Syngenta
Durée	2003 – 2006
Exécutant(s)	Labo voor Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven) (exécutants du projet en Belgique)
Concernés:	Labo voor Experimentele Geomorfologie (K.U.Leuven); Cranfield University; Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Science; Syngenta; International Soil Reference and Information Centre; Väderstad
Description	Etude scientifique et démonstration des techniques culturales simplifiées au R.U., en Hongrie et en Belgique (Flandre). On s'attache à la fois à la réduction de l'érosion, aux modifications des caractéristiques du sol, à l'aspect écologique, aux techniques agricoles et à l'aspect financier d'un travail du sol simplifié.

6.2. Projets de démonstration concernant l'érosion des sols

Afin d'en savoir plus sur les expériences des exécutants des projets de démonstration, nous avons effectué plusieurs interviews avec certains d'entre eux en leur posant les questions suivantes :

1. Décrivez le projet. Quels sont les objectifs du projet ?
2. Dans quelle mesure les objectifs ont-ils été atteints ? Quelles sont les raisons de la réussite / de l'échec ?
3. Quelle a été la réaction du public ciblé par rapport au projet ?
4. Y a-t-il eu de gros problèmes au cours du projet ?
5. Que feriez-vous autrement, si vous deviez recommencer le projet ?
6. Quel est le suivi nécessaire du projet ?
7. Quel est le genre de projets de démonstration ou d'étude sur l'érosion du sol qui fait défaut ?

D'une manière générale les objectifs des projets ont été atteints et il n'y a pas eu de gros problèmes au cours de ceux-ci. Sur la base des questionnaires, nous pouvons formuler quelques conclusions générales.

Les agriculteurs formaient généralement le public ciblé par les projets de démonstration. Dans quelques projets, on s'est également attaché à établir des contacts entre les agriculteurs d'une part et les autorités, provinces et communes d'autre part. En ce qui concerne l'attitude des agriculteurs par rapport aux problèmes d'érosion, on constate une évolution : avant, les agriculteurs venaient aux journées de démonstration parce qu'ils étaient curieux, mais il méconnaissaient le problème de l'érosion (c'est quelque chose de nouveau, mais ce n'est pas pour nous). Maintenant l'agriculteur se sent plus concerné par le problème de l'érosion. Ceci ressort clairement de la large participation des agriculteurs au cours des journées de démonstration qui ont été organisées dans le cadre des différents projets. Pour pouvoir convaincre les autres agriculteurs d'appliquer des mesures de lutte contre l'érosion, la collaboration entre les exécutants des projets et les 'agriculteurs pionniers', qui connaissent déjà à fond les techniques de la lutte contre l'érosion, revêt une grande importance. Grâce au bouche-à-oreille, ils peuvent plus facilement convaincre leurs collègues-agriculteurs de faire la même chose que ce que font les exécutants du projet. L'importance des contacts personnels avec les agriculteurs est également soulignée dans plusieurs projets. Des visites individuelles sur exploitation permettent d'établir une relation de confiance avec l'agriculteur et, apparemment, les agriculteurs ainsi informés décident plus rapidement d'essayer les mesures de lutte contre l'érosion dans leur exploitation. Des visites individuelles sur exploitation coûtent toutefois beaucoup de temps. On signale également que tous les agriculteurs ne sont pas contactés et qu'il reste un large groupe d'agriculteurs qui restent critiques et méfiants par rapport aux projets de démonstration sur l'érosion. L'attitude des agriculteurs dépend également des expériences vécues auparavant avec des projets en matière d'érosion.

Le questionnaire fait ressortir clairement l'importance des projets pluriannuels. Un projet étalé sur une année est bon comme projet de départ, mais ne garantit pas de durabilité. Le projet se termine juste au moment où un bon contact est atteint et qu'une relation de confiance s'est établie entre l'agriculteur et l'exécutant. Les agriculteurs perdent ainsi la personne de contact à laquelle ils pouvaient poser toutes les questions possibles concernant la lutte contre l'érosion. En conséquence, les agriculteurs auront nettement moins tendance à appliquer les techniques de lutte contre l'érosion. La continuité d'un projet de sensibilisation est très importante. Des projets étalés sur une année entraînent également bon nombre de contraintes pour les exécutants. S'il n'y a pas d'événement pluvieux extrême au cours de l'année du projet, l'efficacité des techniques pour retenir les sédiments ou empêcher l'érosion du sol ne pourra pas être étudiée et démontrée. De plus, dans les projets d'un an, on est également limité dans le choix du champ expérimental. Trouver un champ adéquat et un propriétaire de champ expérimental motivé n'est pas simple. De plus, le plan de culture est difficilement modifiable. Si une certaine culture est nécessaire pour une technique déterminée (ex. un sous-semis d'herbe se fait toujours dans un champ de maïs), la recherche d'une parcelle expérimentale peut s'avérer longue et éprouvante. En cas de projets pluriannuels, on peut harmoniser les techniques de lutte contre l'érosion sur le plan des cultures.

En ce qui concerne le genre de projets, on obtient souvent les même réponses. Il faut démontrer les mesures portant sur les techniques culturales. Ceci ressort des nombreuses questions des agriculteurs sur ces techniques. De plus, les mesures portant sur les techniques culturales

permettent une approche de l'érosion du sol axée sur l'origine. La demande concernant la démonstration des techniques culturales simplifiées est la plus importante. A côté de cela, le semis d'herbe dans le maïs, les cultures de couverture et les tournières enherbées méritent également que l'on s'y attache. Les agriculteurs ne veulent pas seulement voir comment une mesure est appliquée, mais souvent ont des questions spécifiques concernant les mesures, par exemple est-ce que le rendement du maïs diminue lorsque l'on installe un sous-semis herbeux, comment lutter contre les adventices lorsque l'on applique des techniques culturales simplifiées, dans quelle mesure l'érosion du sol est-elle limitée par l'application d'une mesure portant sur une technique culturale spécifique, etc. Pour pouvoir répondre à ces questions, il faut collecter des données quantitatives. De cette manière, on peut donner des informations sur les rendements et la qualité des cultures, les avantages et désavantages des techniques, l'effet sur la réduction de l'érosion, l'effet sur le compactage du sol… Combiner un projet de recherche scientifique et un projet de démonstration revêt donc une grande importance.

Certains exécutants de projet ont également souligné l'importance d'une analyse socio-économique de l'érosion du sol. On pourrait ainsi analyser pourquoi les agriculteurs n'appliquent pas une certaine technique, mais bien une autre. De plus on pourrait, sur la base d'une étude socio-économique, avoir une idée du gain pour l'agriculteur, ce qui est très important du point de vue de la motivation, ainsi que du gain pour les autorités (n'est-il pas plus avantageux d'accorder des subsides aux agriculteurs que de draguer des bassins d'orage?). La faisabilité des techniques de lutte contre l'érosion pourrait également être analysée dans une telle étude. Les études de faisabilité doivent montrer quelles techniques de lutte contre l'érosion offrent une perspective et de quelle manière les autorités peuvent soutenir financièrement ces techniques.

D'autres propositions pour des recherches complémentaires sont : examiner l'influence des techniques de lutte contre l'érosion au niveau des bassins versants et élargir les projets pilotes à toutes les zones sensibles à l'érosion.

Les mesures politiques concernant l'érosion en Flandre et en Wallonie s'inscrivent dans un ensemble plus large de mesures portant sur le milieu agricole décrit et dans le Programme de Développement Rural période 2000 – 2006 (en application de la directive (UE) 1257/99). Ces mesures visent un effet positif sur l'environnement. Les primes qui y sont couplées ont pour objectif de compenser les implications économiques et sociales des pratiques agricoles adaptées.

7.1. Mesures politiques de gestion en Région flamande

En Région flamande, un soutien financier est accordé dans le cadre de la lutte contre le problème de l'érosion tant aux agriculteurs, Communes, Provinces qu'aux Polders et Wateringues (tableau 14) (AMINAL, 2002a).

7.1.1. Soutien financier des agriculteurs

Pour les agriculteurs, il existe toute une série d'instruments financiers qui n'ont pas été développés spécifiquement pour la lutte contre l'érosion, mais qui ont un effet sur la réduction du risque d'érosion du sol. C'est ainsi que les agriculteurs peuvent obtenir des subsides s'ils sèment des cultures de couverture sur un certain nombre d'ha pendant 5 années consécutives. Les cultures de couverture doivent être semées avant le 1er novembre et rester sur place au moins jusqu'au 15 février. Le Tableau 15 montre clairement que cette mesure est un succès : au total 4240 contrats ont été conclus pour une superficie avoisinant les 35000 ha (2002) soit 9% de la superficie totale des terres agricoles en Région flamande (Communiqué de presse ALT, 24/10/02). Une autre loi qui influence indirectement le risque d'érosion du sol est la prime à la mise en jachère, que les agriculteurs peuvent obtenir dans le cadre de la Politique Agricole Commune. A côté de cela, les agriculteurs peuvent également obtenir une prime pour le reboisement de terres agricoles dont ils sont propriétaires ou qu'ils louent.

AGRICULTEURS	SUBSIDES		À DEMANDER AUPRÈS DE
* culture de couverture		50 €/ha.an	Adm. Land- en Tuinbouw, Min. Vl. Gem. (Ministère de la Région flamande)
* mise en jachère		298 – 424 €/ha.an (2002)	Bestuur Landbouwproductie-beheer, Min. Vl. Gem.
* reboisement de parcelles agricoles	(1)	850 – 3700 €/ha	Afd. Bos en Groen, Min. Vl. Gem.
* accords de gestion			
• … dans le cadre de la législation sur la Nature			
gestion des bords de parcelles le long des cours d'eau/		0.13 €/m².an	VLM
chemins creux	(2)	0.50 €/m.an(haie)	VLM
installation et entretien de petits éléments paysagers	(3)	14 €/are.an(bosquet)	VLM
•… spécifiquement destinés à la lutte contre l'érosion**	(4)	0.13 €/m².an	VLM
installation de tournières enherbées	(4)	0.16 €/m².an	VLM
installation de chenaux enherbés	(4) (5)	1 – 4.4 €/ha.an(champ)	VLM
installation et entretien de digues avec mare tampon	(4) (5)	0.7 – 3.4 €/ha.an(pâturage)	
travail du sol non récurrent	(4)	80 €/ha.an	VLM
ensemencement direct (non-labour)	(4)	200 €/ha.an	VLM
maintien d'herbages à bonne position stratégique	(4)	200 €/ha.an	VLM
COMMUNES	**SUBSIDES**		**À DEMANDER AUPRÈS DE**
Mesures de lutte contre l'érosion à petite échelle			
• Établissement d'un plan de lutte contre l'érosion		12.50 €/ha	Afd. Land, Min. Vl. Gem.
• Réalisation des travaux de lutte contre l'érosion		75% du coût total	Afd. Land, Min. Vl. Gem.
Accord de collaboration Région flamande – communes			
• Installation d'une parcelle de démonstration	(6)	125 €	AMINAL, Min. Vl. Gem.
• Organisation d'une soirée ou après-midi info	(6)	50 €	AMINAL, Min. Vl. Gem.
• Organisation d'une excursion	(6)	250 €	AMINAL, Min. Vl. Gem.
• Accompagnement individuel des agriculteurs	(7)	50 € / agriculteur	AMINAL, Min. Vl. Gem.
PROVINCES	**SUBSIDES**		**À DEMANDER AUPRÈS DE**
Accord de collaboration Région flamande – provinces	(10)		AMINAL, Min. Vl. Gem.
• Rôle de soutien et de coordination dans le cadre de la lutte communale contre l'érosion	(10)		AMINAL, Min. Vl. Gem.
• installation et gestion d'un projet au moins démontrant des mesures portant sur les techniques culturales ou sur l'infrastructure à petite échelle			
POLDERS ET WATERINGUES	**SUBSIDES**		**À DEMANDER AUPRÈS DE**
• Elaboration d'un plan de gestion de l'eau	(8)	12500 €	Afd. Water, Min. Vl. Gem.
• Réalisation de travaux concernant la gestion de l'eau	(9)	50 – 75% du coût total	Afd. Water, Min. Vl. Gem.

Tab. 14 Vue d'ensemble des instruments financiers en ce qui concerne la lutte contre l'érosion en Région flamande

(1) les subsides pour plantation sont fonction de l'espèce d'arbre choisie
(2) à majorer de 0.15 € au sein de zones reliques (depuis mi-2004)
(3) à majorer de 4.25 € au sein de zones reliques (depuis mi-2004)
(4) dans le cadre de leur gestion de la nature et de l'environnement, les Communes et Provinces peuvent accorder en commun une indemnisation supplémentaire équivalant à maximum 30% de l'indemnisation de gestion
(5) selon la hauteur de la digue (entre 0.3 et 1m hauteur)
(6) le total des subsides pour les trois premières mesures s'élève à 425 €/année maximum
(7) la Commune doit disposer d'un plan de lutte contre l'érosion approuvé
(8) multiplié par un facteur de correction par zone VHA
(9) en fonction du type de travaux
(10) les Provinces obtiennent un budget fixe pour le cluster 'eau', pas de subsides par objectif séparé
** Depuis mi-2004

Plus d'info

sur les cultures de couverture :
http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/landbouw/duurzamelandbouw/groenbedekking.html
sur les accords de gestion – Législation sur la Nature :
http://www.vlm.be/Beheerovereenkomsten/Startpagina.htm
sur les accords de gestion – lutte contre l'érosion :
http://www.mina.vlaanderen.be/fr.htm?http://www.mina.vlaanderen.be/wiedoetwat/aminal/taken/land/index.htm
sur les mesures de lutte contre l'érosion à petite échelle :
http://www.mina.vlaanderen.be/fr.htm?http://www.mina.vlaanderen.be/wiedoetwat/aminal/taken/land/index.htm
sur la collaboration Région flamande–Communes–Provinces :
http://www.samenwerkingsovereenkomst.be/index.htm

	1999		2000		2001		2002		totaal	
provinces	nombre de contrats	surface (ha)	nombre de con-trats	surface (ha)	nombre de con-trats	surface (ha)	nombre de contrats	surface (ha)	nombre de contrats	surface (ha)
Anvers	0	0	0	0	246	3023	84	885	330	3909
Limbourg	12	87	3	40	308	3619	92	790	415	4535
Brabant flamand	34	270	5	29	376	3207	137	1164	552	4671
Flandre orientale	71	543	3	12	824	7530	279	2128	1177	10213
Flandre occidentale	543	2982	35	180	734	4847	454	3006	1766	11015
total	660	3882	46	261	2488	22226	1046	7973	4240	34342

Tableau 15 Nombre de contrats 'culture de couverture' conclus et superficie des cultures de couverture en Région flamande. Afin de rendre cette mesure accessible à un public plus large, les conditions du soutien ont été modifiées en 2001 . (Communiqué de presse ALT, 24/10/02)

		2000	2001	2002	2003	
gestion des bords de parcelle						
le long d'un chemin creux		25395	51580	45658	74033	m²
le long d'un cours d'eau	champ – herbe	115246	232410	823045	535341	m²
	champ – e. s.	51128	76816	98976	31853	m²
petits éléments paysagers						
haie	plantation	4406	9692	11574	10568	m
	entretien	9511	26066	58726	30992	m
bosquet ou talus boisé	plantation	191	436	298	512	are
	entretien	1272	1376	1489	1439	are

Tableau 16 Superficie des bords de parcelles et des petits éléments paysagers pour lesquels des Accords de gestion ont été conclu en Région flamande. Les chiffres ne sont pas cumulatifs. e. s. = évolution spontanée (VLM, Stieperaere Maarten, communication personnelle)

Depuis le 1er janvier 2000, les agriculteurs peuvent conclure des Accords de gestion avec la Société terrienne flamande (VLM), sur une base volontaire. Ils s'engagent ainsi à gérer pendant au moins 5 ans une partie de leur exploitation d'une manière respectueuse de l'environnement (Tableau 16). Ces mesures de gestion, par exemple l'installation sur les champs de tournières enherbées le long des cours d'eau et des chemins creux ainsi que la plantation et l'entretien

d'une haie, d'un bosquet ou d'un talus boisé contribuent à la lutte contre l'érosion du sol et à la prévention de coulées boueuses.

A l'avenir, les agriculteurs pourront également conclure des accords de gestion d'une durée de 5 ans pour prendre des mesures de gestion destinées à lutter contre ou à réduire l'érosion telles que l'installation de tournières enherbées et de chenaux enherbés, le travail du sol non récurrent, le semis direct, la construction et l'entretien d'une digue avec mare tampon et la conservation des terres herbagères en position stratégique. La Division Zone rurale (AMINAL) a présenté les Accords de gestion pour la lutte contre l'érosion au cours de la deuxième modification du Plan de Développement rural (Plan voor Plattelandsontwikkeling – PDPO). La modification a été accueillie positivement par le comité STAR (Comité voor de landbouwstructuur en de plattelandsontwikkelingen) et approuvée par la Commission européenne. Les nouvelles mesures axées sur les parcelles sont exécutables à partir de la mi- 2004.

7.1.2. Soutien financier des Communes et Provinces

Depuis l'approbation du Décret Erosion (Erosiebesluit – 7 décembre 2001), les Communes peuvent obtenir des subsides pour l'élaboration d'un plan communal de lutte contre l'érosion et pour la réalisation de travaux de lutte contre l'érosion à petite échelle (AMINAL, 2002b). Le montant des subsides dépend de la superficie de la zone sur laquelle porte le plan. La Commune peut être accompagnée par la Division Zone rurale (AMINAL) lors de la planification. Les Conseils provinciaux peuvent se présenter de manière coordonnée. Le plan doit ensuite être réalisé sur terrain le plus vite possible. Il s'agit ici de travaux d'infrastructure à petite échelle, qui bloquent le transfert d'eau et de sédiments dans la partie amont des bassins versants (tournières enherbées, petites digues, fossés tampon, mares tampon, etc.), suivis éventuellement de travaux plus importants pour préserver les centres habités. En 2002, des subsides d'un montant total de 1.882.924 EUR ont été accordés pour l'élaboration de 39 plans communaux de lutte contre l'érosion en Flandre (Tableau 17), ceci pour une superficie de 150634 ha. En 2003, 23 demandes de subsides pour l'élaboration d'un tel plan ont encore été reprises dans le programme d'investissements pour un montant total de 962.663 EUR et une superficie de 77013 ha (AMINAL, 2003a&b).

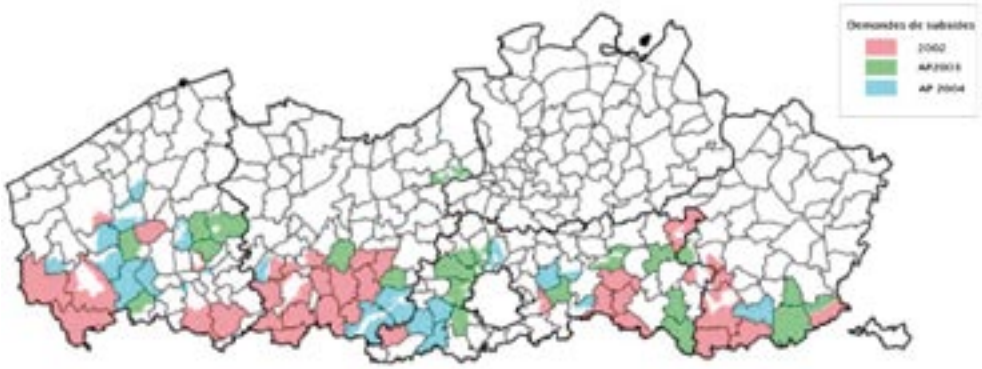

Fig. 24 Subsidiation des plans de lutte contre l'érosion : état des lieux (octobre 2003) (Aminal afd. Land, 2003c)

		2002	2003 AP	total
Subsides pour l'établissement de plans de lutte contre l'érosion	nombre de communes	39	23	62
	superficie du plan (ha)	150 634	77 013	227 647
	subsides (euro)	1 882 924	962 663	2 845 586
Subsides pour la réalisation des travaux de lutte contre l'érosion	nombre de communes	15	11	26
	subsides (euro)	1 812 739	1 473 223	3 285 962
Total		3 695 663	2 435 886	6 131 548

Tab. 17 Subsides AMINAL pour l'élaboration de plans de lutte contre l'érosion et la réalisation de travaux de lutte contre l'érosion en Flandre (AP = approuvé en principe au sein du cadre budgétaire (Aminal, 2003a&b))

Via le nouvel accord de collaboration entre les Communes et la Région flamande, une Commune peut obtenir des subsides pour l'installation d'un champ de démonstration, pour l'approche individuelle des agriculteurs dans des zones à problèmes et pour la sensibilisation des agriculteurs.

Le rôle spécifique des Provinces en tant que niveau intermédiaire entre la Région flamande et les villes et Communes est reconnu dans l'Accord de collaboration provincial. Une mesure importante sur le plan du développement des connaissances concernant la lutte contre l'érosion est la mise en place d'au moins un grand projet de démonstration par province. En outre, la Province peut accompagner les Communes avec la Région flamande lors de l'application du Décret Erosion et stimuler la collaboration au-delà des limites communales.

7.1.3. Soutien financier des Polders et Wateringues

Les Polders et Wateringues peuvent obtenir une aide financière directe de la Région flamande pour l'élaboration d'un plan de gestion de l'eau et la réalisation de certains équipements de gestion de l'eau dans et autour des cours d'eau, qui empêchent le transfert des sédiments et du matériau érodé. Par exemple, pour l'installation de bassins de rétention et de décantation, les subsides atteignent 75% des frais d'investissement.

Le Gouvernement flamand met à disposition les publications suivantes pour la diffusion d'informations sur la problématique de l'érosion :

- **'Werk maken van erosiebestrijding' (Lutter contre l'érosion)**
  Cette brochure donne un aperçu du problème de l'érosion et de ses origines, décrit les principes d'une lutte contre l'érosion à petite échelle et ciblée sur la source, et donne également une vue d'ensemble des formes de soutien existantes dans le cadre de la lutte contre l'érosion.

- **'Wegwijzer doorheen het Erosiebesluit' (Comment lutter contre l'érosion)**
  Cette brochure guide la commune au travers des dispositions et des procédures du décret Erosion.

- **'Code van goede praktijk voor het opmaken van een gemeentelijk erosiebestrijdingsplan'**
  (Code de bonnes pratiques pour l'élaboration d'un plan communal contre l'érosion des sols)
  Ce code est un fil conducteur pour l'élaboration d'un plan communal avec approche axée sur l'origine de l'érosion du sol et de l'excédent de boue qui y est éventuellement lié.

- **'Kleinschalige erosiebestrijdingswerken – een praktijkvoorbeeld'**
  (Travaux à petite échelle contre l'érosion – exemples)
  Il s'agit ici d'une brochure informative qui illustre l'élaboration et la réalisation de travaux de lutte contre l'érosion sur la base d'exemples concrets provenant de Gingelom.

- **'Infokrant: werk maken van erosiebestrijding'**
  (Journal d'information : lutter contre l'érosion)
  Cet info-journal donne à des moments réguliers des informations actuelles sur les projets en cours, les nouvelles connaissances techniques et scientifiques, les exemples à l'étranger, etc. On y trouve également des annonces pour des publications et des journées d'étude ainsi que des informations pratiques pour la rentrée des dossiers dans le cadre du décret Erosion.

7.2. Mesures politiques de gestion en Région wallonne

AGRICULTEURS	SUBSIDES
* Tournières enherbées	
– En bordure de bois, talus, haie, …	900 €/ha.année
– En bordure de cours d'eau, d'un chemin creux ou en situation de ruissellement érosif sur le champ.	1500 €/ha.année
* Maintien et entretien de petits éléments paysagers	
– Haie ou alignement d'arbres	(1) 50 à 1000 €/année
* Culture de couverture	100 €/ha.année
* Sous-semis dans maïs	150 €/ha.année
* Mesures conservatoires en zones humides	50 €/ha.année
* Mise en jachère	

(1) : en fonction de la longueur des haies

Tab. 18 Vue d'ensemble des instruments financiers en ce qui concerne la lutte contre l'érosion en Wallonie

En Région wallonne, les agriculteurs qui appliquent des mesures agri-environnementales (M.A.E.) peuvent obtenir une compensation financière. Pour la plupart, ces mesures n'ont pas été développées pour lutter contre l'érosion, mais certaines contribuent directement ou indirectement à la réduction du risque d'érosion du sol (Tableau 18).

Les agriculteurs qui installent une tournière enherbée reçoivent un dédommagement de 900 €/ha/an. Depuis 2001, ce montant a été augmenté lorsque la tournière enherbée se situe près d'un cours d'eau ou d'un chemin creux ou lorsqu'il y a apparition d'un écoulement érosif

sur le champ (Clérin, 2001). Depuis 2002, les agriculteurs peuvent également être dédommagés lorsqu'ils installent cette tournière enherbée au milieu d'une parcelle. Des subsides sont également accordés pour l'entretien de petits éléments paysagers comme des haies, des rangées d'arbres ou des mares. Comme en Région flamande, les agriculteurs wallons sont dédommagés pour le semis d'une culture de couverture. Le dédommagement octroyé aux agriculteurs wallons (100 €/ha.an) est deux fois plus élevé que celui accordé aux agriculteurs flamands. Pour pouvoir obtenir ces subsides, pour la Wallonie, les cultures de couverture doivent être semées au plus tard le 15 septembre et rester en place au moins jusqu'au 1er janvier. Le seigle représente une exception : il peut être semé jusqu'au 1er novembre après une récolte tardive d'une culture d'été (maïs, betteraves, pommes de terre, etc.) et doit être détruit entre le 1er mars et le 15 mai. En Flandre, les cultures de couverture doivent être semées avant le 1er novembre et doivent rester en place au moins jusqu'au 15 février. En Wallonie, 3% de la superficie des terres agricoles est semée avec une culture de couverture et est subsidiée. Contrairement à la Flandre, les agriculteurs wallons reçoivent une prime pour le semis d'un sous-semis dans le maïs (150 €/ha.an). Ceci concerne 0.03% de la superficie des terres agricoles wallonnes. Les agriculteurs wallons sont dédommagés pour la conservation des zones humides, qui jouent un rôle important dans l'infiltration de l'eau de pluie et la réduction de l'écoulement superficiel.

Les agriculteurs désirant obtenir une participation aux frais pour l'application de mesures agri-environnementales pouvaient jusqu'en septembre 2003 faire appel à l'A.S.B.L. AGRENWAL. Cette organisation avait été créée le 1er octobre 1999 sur une initiative de la Direction Générale de l'Agriculture de la Région wallonne. Elle était composée de 13 partenaires actifs dans le domaine de l'agriculture et de l'environnement. Le but était d'informer les agriculteurs sur les mesures subsidiées et de les aider à compléter les formulaires de demande de subsides. AGRENWAL a été dissous en septembre 2003. Depuis lors les subsides doivent être demandés directement auprès de la Direction Générale de l'Agriculture de la Région wallonne. Le Tableau 19 donne un aperçu du total de contrats conclus par mesure.

	nombre contrats	nombre ha	budget (€/années)
tournières enherbées			
– au bord de bois, talus, haie,…	1480	23071	1667782
– au bord de cours d'eau, fossés ou en situation de ruissellement érosif	899	11410	1136218
maintien et entretien des éléments du paysage			
– haies ou alignement d'arbres	3377	38138	1536229
– mares	467	407	947
couverture du sol avant culture de printemps	1709	20623	2045921
sous-semis en maïs			
– couverture d'interlignes en maïs	40	165	24663
– limit. d'herbic. en maïs + couverture d'interlignes en maïs	6	21	3814
mesures conservatoires en zones humides	161	392	20457
total	8139	94227	6436031

Tableau 19 Mesures agri-environnementales en Wallonie – relevé datant de février 2002 (Etat de l'environnement wallon, 2003)

Le Plan 'PLUIES' (Plan de Prévention et Luttes contre les Inondations et leurs Effets sur les Sinistrés) a été lancé le 9 janvier 2003 dans le but de réduire de 25% les inondations en Wallonie jusqu'en 2025. Pour ce faire, 27 actions ont été posées comme principe et seront réalisées par diverses instances. Le Ministre de l'Agriculture et de la Ruralité est responsable de 11 actions, dont les mesures de lutte contre l'érosion. On essayera entre autre d'appliquer des mesures agri-environnementales sur une superficie plus grande et d'introduire des bonnes pratiques agricoles.

Le Gouvernement wallon ne distribue pas de brochure traitant spécifiquement de la lutte contre l'érosion. Les dernières nouvelles concernant l'agriculture wallonne sont reprises dans la revue 'Les nouvelles de l'agriculture'.

Il est un fait que les terres agricoles ne sont pas couvertes de cultures pendant une grande partie de l'année, ce qui les rend sensibles à l'érosion hydrique. Par ailleurs, le travail des sols amène à un transfert de volumes significatifs de terres, ce qui contribue à un second type d'érosion, quantitativement au moins aussi important que le premier. Néanmoins, c'est l'érosion hydrique qui a un impact environnemental en aval le plus important.

Les averses intenses sont à l'origine du déplacement d'environ 1,5 à 2 millions de tonnes de terre fertile dans la partie centrale de la Belgique, ce qui a bien évidemment des conséquences négatives sur la qualité du sol et sur le rendement agricole : en effet, les racines des plantes s'enfoncent moins dans le sol et le taux d'humus diminue. Un second ensemencement est parfois nécessaire après un orage. En plus des conséquences directes pour les agriculteurs, il y a également d'importants effets en aval : de 15 à 20% des communes dans la partie centrale de la Belgique sont touchées plusieurs fois par an par des surcharges en eau ou en boues, qui causent parfois des dégâts se montant en millions. Une partie importante de ces matériaux d'érosion termine son parcours dans les cours d'eau ou les bassins. Cette boue doit être draguée, afin d'éviter l'enlisement de ces cours d'eau et les risques d'inondation. Un problème additionnel est que ces particules de terre entraînent des produits phytopharmaceutiques et des engrais, qui se retrouvent également dans les cours d'eau. La valeur écologique des vallées le long de ces cours d'eau subit ainsi des effets négatifs.

Outre l'intensité et la durée des averses, l'importance du processus d'érosion est fonction de la nature du sol, de la topographie, de la couverture du sol et des travaux agricoles. Tant en Région flamande qu'en Région wallonne, des Instituts de recherche ont établi des cartes qui reflètent la sensibilité à l'érosion en fonction de ces différents paramètres. D'après ces documents, il apparaît que le problème d'érosion des sols est le plus grand dans la partie centrale de la Belgique, car les sols limoneux qu'on y trouve ont une faible teneur en matières organiques et que de nombreux champs se retrouvent en terrains pentus ou à des endroits où débouchent des eaux de ruissellement d'un bassin versant. Comme les cultures d'été ne couvrent que de manière très limitée les sols durant les mois de mai et de juin, c'est à cette période que l'on rencontrera les coulées de boues les plus importantes, alors que les problèmes d'inondations sont les plus significatifs en juillet et août. En plus des acteurs physiques, les acteurs « sociétaux » peuvent avoir une influence importante sur le risque d'érosion. Par exemple, la Politique Agricole Commune (PAC) – plus particulièrement la fixation des prix de cultures – influence la nature des travaux effectués par les agriculteurs. C'est ainsi qu'en Région flamande, les surfaces plantées de cultures très sensibles à l'érosion – comme le maïs et les légumes – ont augmenté de manière significative au détriment de cultures d'hiver moins sensibles. D'autres révisions de la PAC seront à l'origine de modifications de cultures.

Les pertes de sol peuvent être soit mesurées in situ ou évaluées sur base de modèles. Suivant le modèle WaTEM/SEDEM de la « Katholieke Universiteit Leuven », il a été calculé que la perte annuelle dans la partie flamande de la région limoneuse dépassait la valeur de 10 tonnes/ha.an (0.74 mm/an). Des mesures effectués dans des petits bassins versants de cette région, couvrant une période de 3 à 5 ans, ont donné des valeurs approchantes : elles varient de 6 à 12 tonnes/ha.an (soit de 0.44 à 0.89 mm/an). De plus, lors de fortes averses, la perte de sol peut atteindre plusieurs dizaines de tonnes par hectare : il découle de ceci que des mesures sur une longue période sont nécessaires, afin d'obtenir des vitesses d'érosion moyennes fiables dans les petits et moyens bassins. Une grande partie des matériaux d'érosion se retrouve dans les bassins. La valeur totale du transport en sédiments à partir d'un bassin est donc la résultante de l'érosion et de l'apport en sédiments. La valeur moyenne annuelle du transport de sédiments vers les cours d'eau de la Région flamande est estimée, pour la période de 1999 à 2002,

à environ 0.26 tonnes/ha. Les évaluations du modèle EPIC-GRID des Facultés Universitaires agronomiques de Gembloux permettent de montrer que le transport annuel de sédiments vers les cours d'eau de la Région wallonne s'élève à 0.8 à 1.0 tonnes/ha, pour une moyenne sur 30 ans.

Il existe un éventail important de mesures de lutte contre l'érosion. Elles peuvent être subdivisées en mesures relatives aux pratiques culturales (p.ex. réduction du travail du sol, culture de couverture, double ensemencement,…), en mesures de nature végétale (p.ex. chenaux enherbés,…), en mesures structurelles (p.ex. installation de digues, de bassins d'orage,…) et en mesures d'occupation du sol (mise en jachères, aménagement rural,…). Les mesures prises sur les champs eux-mêmes et qui ont pour but d'éviter le déplacement des matériaux, doivent évidemment être préférées aux mesures ayant pour but de combattre les symptômes. La réduction du travail du sol offre dans cette logique de nombreuses perspectives. En évitant de labourer le sol et en s'assurant que la couverture reste permanente, la perte de matériaux diminuera de plus de 75%. Le choix des mesures de lutte contre l'érosion doit prendre en compte - outre l'effet bien entendu sur l'érosion et le transport de sédiments - la « durabilité » de la mesure. Ceci signifie qu'à côté des aspects économiques et écologiques, ces mesures doivent être acceptables sur le plan social, tant pour les générations actuelles que futures. Peu d'études en ce sens ont été conduites en Belgique pour l'instant.

Les politiques de gestion concernant l'érosion en Région flamande et en Région wallonne s'inscrivent dans un ensemble plus large de mesures portant sur le milieu agricole, décrites dans le « Programme de Développement rural - période 2000-2006 ». Ces mesures visent à obtenir un effet positif sur l'environnement. Les primes qui sont couplées ont pour objectif de compenser les implications économiques et sociales de pratiques agricoles adaptées. En Région flamande, un soutien financier peut être accordé aux agriculteurs, aux Communes, aux Provinces, aux Polders et aux Wateringues, afin de soutenir diverses pratiques agricoles, qui - même si elles ne sont pas nécessairement conçues à l'origine pour lutter contre l'érosion - ont un effet positif sur le transport des matériaux. Dans le futur, les agriculteurs seront invités à s'engager dans des contrats de gestion d'une durée de 5 ans, afin de prendre des mesures contre l'érosion des sols, telles que l'établissement de chenaux enherbés, le travail non récurrent de sol, le semis direct, la construction et l'entretien de digues, la conservation de terres herbagères à certains endroits. En Région wallonne, les agriculteurs peuvent obtenir une compensation financière pour l'installation de chenaux enherbés, de couverture de sol, de sous-semis dans le maïs, de jachères,… Le Plan « PLUIES » - qui a pour but de réduire de 25% les inondations en Région wallonne d'ici à 2025 - complètera ces mesures d'érosion des sols.

Se basant sur les recommandations finales de la Phase 1 - et après avis du Comité Consultatif Scientifique de l'IRGT - le Conseil d'Administration a décidé de concentrer les efforts de la Phase 2 sur une comparaison détaillée des méthodes de prévention et de protection contre l'érosion (voir Partie V), en prenant en compte les implications sociales, économiques et écologiques. Il sera essentiel que cette analyse soit menée sous l'angle de la société dans son ensemble, tout autant que sous celui du monde agricole : des mesures « soutenables » doivent être du domaine du possible pour les agriculteurs. Complémentairement, une analyse comparative des modèles de mesure d'érosion des sols utilisés en Flandre et en Wallonie sera effectuée.

Une phase ultérieure sera axée sur la communication et la sensibilisation, en particulier celles des agriculteurs, qui sont des acteurs essentiels de gestion des espaces ouverts.

AMINAL, afdeling Land, 2002a. Werk maken van erosiebestrijding. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, 33 pp.

AMINAL, afdeling Land, 2002b. Wegwijzer doorheen het erosiebesluit. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, 16 pp.

AMINAL, afdeling Land, 2003a. Infokrant: werk maken van erosiebestrijding. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, jrg 2 nr 3 febr 2003.

AMINAL, afdeling Land, 2003b. Infokrant: werk maken van erosiebestrijding. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, jrg 2 nr 4 juni 2003.

AMINAL, afdeling Land, 2003c. Infokrant: werk maken van erosiebestrijding. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, jrg 2 nr 5 oktober 2003.

Bakker M., Govers, G., Rounsevell, M.D.A., subm. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work.

Bielders, C.L., Ramelot, C., Persoons, E., 2003. Farmer perception and erosion and extent of flooding in the silt-loam belt of the Belgian Walloon Region. Environmental Science and Policy, 6: 85-93.

Biesemans, J., Gabriels, D., Van Meirvenne, M., 1998. GIS analyse naar het gebruik van bufferstroken als sedimentvang in de gemeente Heuvelland. Gent, Universiteit Gent, 8 pp.

Biesemans, J., Gabriels, D., Van Meirvenne, M., 1999a. Potentiële en actuele bodemverlieskaart van de gemeente Heuvelland. Gent, Universiteit Gent, 8 pp.

Biesemans, J., Gabriels, D., Van Meirvenne, M., 1999b. Analyserapport bij de actuele en potentiële erosiekaart. Gent, Universiteit Gent, 13 pp.

Biesemans, J., Gabriels, D., Van Meirvenne, M., 1999c. Rapport ter beschrijving van de erosiebeteugelingmaatregelen in het Kemmelbeek stroombekken. Gent, Universiteit Gent, 9 pp.

Biesemans, J., Van Meirvenne, M., Gabriels, D., 1999d. Analyse van de hydrologische karakteristieken I. Analyse van de hydrologische karakteristieken II. Dienstverleningspakket naar de landbouwers. Gent, Universiteit Gent, 24 pp.

Biesmans, M., 2002. Bodemverlies door het rooien van suikerbieten en aardappelen: ruimtelijke variatie op perceels- en regionaal niveau. Niet gepubl. licentiaatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Binard, M., Bollinne, A., 1980. Contribution à l'étude quantitative des modifications des risques d'éerosion résultant des remembrements. Pédologie, 3: 323-333.

Bock, L., s.d. Hebberecht, CH., Hanotiaux, G., Mathieu, L. Campagne de sensibilisation et de lutte contre l'érosion des sols - premiers resultats de l'enquête 1987. Faculté des sciences agronomiques de l'état à Gembloux, service de la science du sol, 39pp.

Bollinne, A., 1977. La vitesse de l'érosion sous culture en région limoneuse. Pédologie, 27: 191-206.

Bollinne, A., Laurant, A., 1978a. Caractérisation des pluies en Belgique du point de vue de leur intensité et de leur érosivité. Pédologie, 2: 214-232.

Bollinne, A., Rosseau, P., 1978b. L'érobilité des sols de Moyenne et Haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte de sol. Bulletin de la Société géographique de Liège, 14: 127-140.

Bollinne, A., Hanotiaux, G., Pissart, A., 1978c. L'érosion en milieu agricole. Pédologie, XXVIII: 233-245.

Bollinne, A., Laurant, A., Boon, W., 1979. L'érosivité des précipitations à Florennes. Révision de la carte des isohyètes et de la carte d'érosivité de la Belgique. Bulletin de la Société géographique de

Liège, 15: 77-99.

Bollinne, A., 1982. Etude et prévision de l'erosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique. Niet gepubl. doctoraatsthesis, Université de Liège Faculté des sciences, Liège, 356 pp.

Clérin, J.P., 2001. Primes agri-environnementales: suppression des plafonds. Les nouvelles de l'hiver, 1: 4-5.

Dautrebande, S., 2003. Guide méthodologique pour le choix d'aménagements appropriés en matière de conservation des sols et des eaux - ce fascicule constitue la première partie du Rapport final de la Convention 'Etude méthodologique pour la prévention et la correction des problèmes d'érosion et de colluvionnement des terres en zones rurales'.

Dautrebande, S., Colard, F., 2003. Cartographie des zones à risque de ruissellement et d'érosion en région wallonne: méthodologie et cas pilotes - ce fascicule constitue la deuxième partie du Rapport final de la Convention 'Etude méthodologique pour la prévention et la correction des problèmes d'érosion et de colluvionnement des terres en zones rurales'. Une étude confiée par la Région Wallonne - Direction Générale de l'Agriculture, Direction de l'Espace Rural, 83 pp.

Declercq, F., Poesen, J., 1991. Erosiekarakteristieken van de bodem in Laag- en Midden-België. Tijdschrift van de Belg. Ver. Aardr. Studies, BEVAS, 1: 29-46.

Demoulin, A., Pissart, A., avec la collaboration de Poty, E., Barchy, L., Marion, J.M., Chung, C.F., 2000. Les glissements de terrain du pays de Herve. Convention subsidiée par le Ministère de la Région wallonne, Direction générale à l'Aménagement du territoire, du Logement et du Patrimoine. Université de Liège, Laboratoire d'Analyse litho-et zoostratigraphiques, 146 pp.

Desmet, P., 1986. Bijdrage tot de kwantificering van de totale akkererosie op lemige gronden. Niet gepubl. licentiaatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Desmet, P.J.J., Govers, G., 1996. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51: 427-433.

Dubois, M.,s.d. Le remembrement et l'environnement. Ministère de la Région Wallonne - Direction Générale de l'Agriculture, Office Wallon de Développement Rural , Libramont, 15pp.

Eppink, L., 1986. Inleiding tot de erosie, erosiebestrijding en het bodembehoud. Collegedictaat, landbouwhogeschool Wageningen, 288 pp.

Gabriels, D., Pauwels, J.M. & De Boodt, M., 1977. A quantitative rill erosion study on a loamy sand in the hilly region of Flanders. Earth Surface Processes and Landforms, 2: 257-259.

Gilles, M. & Lorent, J., 1966. Debiet en lading van de Dijle. Acta Geographica Lovaniensia, 4: 48-56.

Gillijns, K., Poesen, J. & Deckers, J. On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe - a case study from central Belgium. Accepted for publication in Catena.

Gillijns, K., Verbist, K., Gabriels, D., Govers, G., Poesen, J., Van Hecke, E., 2002. Reductie van sedimentaanvoer naar landelijke gebieden: begroting en evaluatie van controlemaatregelen - tussentijds rapport 2002. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - afdeling Water, 49 pp.

Gillijns, K., Verbist, K., Gabriels, D., Govers, G., Poesen, J., Van Hecke, E., 2003. Richtlijnenboek erosiebestrijdingsmaatregelen - tussentijds rapport. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - afdeling Water, 132 pp.

Goossens, D., 1987. Sedimentatiemechanismen bij natuurlijke stofdeeltjes in lucht. Niet gepubl. doctoraatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Goossens, D., 2002. On-site and off-site effects of wind erosion. In: Warren, A. (ed.), Wind Erosion on Agricultural Land in Europe. European Commission, Directorate-General for Research,

Environment and Sustainable Development Programme, 5, pp.29-38.

Govers, 1986. Mechanismen van akkererosie op lemige gronden. Niet gepubl. doctoraatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Govers, G., Poesen, J., 1988. Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. Geomorphology, 1: 343-354.

Govers, G., Everaert, W., Poesen, J., Rauws, G., De Ploey, J., Lautridou, J.P., 1990. A long flume study of the dynamic factors affecting the resistance of a loamy soil to concentrated flow erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 15: 313-328.

Govers, G., 1991. Rill erosion on arable land in central Belgium: rates, controls and predictability. Catena, 18: 133-155.

Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P.J.J., Poesen, J., Bunte, K., 1994. The role of soil tillage in soil redistribution on hillslopes. Eur. J. Soil Sci., 45: 469-478.

Gullentops, F., 1992. Holocene soil erosion in the Loess Belt of Belgium. In: Van der Haegen, H., Van Hecke, E. (eds.), Liber Amicorum Modest Goossens. Acta Geographica Lovaniensia, 33: 671-683.

Gyssels, G., Poesen, J., Nachtergaele, J., Govers, G., 2002. The impact of sowing density of small grains on rill and ephemeral gully erosion in concentrated flow zones. Soil and tillage Research, 64: 189-201.

Huybrechts, W., Verbeelen, D. & Van der Beken, A., 1989. Meting van het sedimenttransport in de Dijle te Korbeek-Dijle. Water, 45: 55-59.

Huygens, M., Verhoeven, R., De Sutter, R., 2000. Integrated river management of a small Flemish river catchment. In: The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminent transfer (Proceedings of the Waterloo Symposium, July 2000). IAHS Publ. No. 263: 191-199.

Intergemeentelijk Opbouwwerk arrondissement Leuven, 1996. Gecoördineerde bodemerosiebestrijding: een demonstratief actie-onderzoek - eindrapport juni 1996. In opdracht van: EOGFL-fonds (Europese Unie) en Ministerie van Landbouw.

IGO Leuven, Gemeente Bierbeek, gemeente Boutersem, gemeente Hoegaarden, 2003. Geïntegreerde aanpak van verdroging en wateroverlast door infiltratie, lokale berging en afremming van hemelwaterafvoer - eindrapport LIFE- project.

Jacobs, K., 1998. De invloed van landbouwersbeslissingen met betrekking tot braaklegging op het erosierisico in de Belgische Leemstreek. Niet gepubl. licentiaatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

IRGT, 2001. Cahier n° 6: Crues et inondations en Belgique - Evaluation des coûts non tangibles. IRGT, Bruxelles, 47 pp.

IRGT, 2002. Livre Vert Belgaqua - Phytofar. IRGT, Bruxelles, 38 pp.

ports en suspension et en solution dans la Burdinale, affluent principale de la Méhaigne. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 25: 39-51.

Macar, P., 1974. Etude en Belgique de phénomènes d'érosion et de sédimentation récents en terre limoneuse. In : Poser, H. (ed.), Geomorphologische Prozesse und Prozesskombinationen in der Gegenwart unter verschiedenen Klimabedingen. Report of the Commission on present-day geomorphological processes (IGU). Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathemathisch-Physikalische Klasse, 3 (29): 354-371.

Morgan, R.P.C., 1995. Soil erosion and conservation - second edition. Addison Wesley Longman Limited, Essex, 198 pp.

Nachtergaele, J., Poesen, J., 1999. Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs. Earth Surface Processes and Landforms, 24: 693-706.

Nachtergaele, J., Poesen, J., Sidoruchuk, A., Torri, D., 2002. Prediction of concentrated flow with in ephemeral gully channels. Hydrological Processes, 16: 1935-1953.

Ost, L., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Vanmaercke-Gottigny, M.C., 2003. Characteristics and spatial distribution of large landslides in the Flemish Ardennes (Belgium). Zeitschrift fur Geomorphologie, 47 (3): 329-350.

Oltenfreiter G., Schiettecatte W., Janssens V., Verbist K., Gabriels D., 2002. Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie in de Vlaamse Ardennen (stroomgebieden Zwalm, Maarkebeek, Beiaardbeek/Molenbeek en Rone). Eindrapport voor het stroomgebied van de Maarkebeek. Gent, Provinciaal Centrum voor Milieu-onderzoek, 60 pp.

Ozer, A., Bonino, E., Closson, P., Ozer, P., Petit, F., Pissart, A., 1998. Etude des contraintes physiques et geotechniques du Mont-de-l'Enclus. Convention subsidiée par le Ministère de la Région wallonne. Département de Géographie physique et Quaternaire, Université de Liège, 87 pp.

Pauwels, J.M., Gabriels, D. & De Boodt, M., 1976. Design and preliminary results of field trials on soil erosion in the hilly region of southern Flanders. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, 41: 335-341.

Persbericht ALT, 24/10/02, http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/landbouw/persberichten/persbericht021024.html

Peumans, J. (Vlaamse Landmaatschappij - Provinciale Afdeling Diest), 2001. Pilootproject Gingelom - bodemerosie - enquête landbouwers. In opdracht van de provincie Limburg, 17pp.

Poesen, J., 1986. Field measurements of splash erosion to validate a splash transport model. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band, 58: 81-91.

Poesen, J., 1993. Gully typology and gully control measures in the European loess belt. In: Wicherek, S. (ed.), Farm land erosion in temperate plains environment and hills. Elsevier, Amsterdam, pp. 221-339.

Poesen, J., Govers, G., 1994. Bodemerosie in Midden-België. Een stand van zaken. Onze Alma Mater, 48 (3): 251-267.

Poesen, J., Govers, G., Goossens, D., 1996. Verdichting en erosie van de bodem in Vlaanderen. Tijdschrift van de Belg. Ver. Aardr. Studies, 2: 141-181.

Poesen, J., Verstraeten, G., Soenens, R., Seynaeve, L., 2001. Soil losses due to harvesting of chicory roots and sugar beet: an underrated geomorphic process? Catena, 43: 35-47.

Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena, 50: 91-133.

Quine, T.A., Desmet, J., Govers, G., Vandaele, K., Walling, D., 1994. A comparison of the roles of tillage and water erosion in landform development and sediment export on agricultural land near Leuven, Belgium. In: Variability in Stream Erosion and Sediment Transport (Proceedings of the Canberra Symposium). IAHS publ. No. 224: 77-86.

Ramelot, C., Persoons, E. et Bielders C., 2002. Adali-expérimentation. Rapport final. Unité de Génie rural, Univ. catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 105 pp. + annexes.

Rottiers I., Schiettecatte W., Gabriels D., 2001. Erosiebeperking in de Vlaamse Ardennen, verslag projectfase 2. Overzicht van subsidiemogelijkheden. Gent, Provincie Oost-Vlaanderen Dienst 102, 19 pp.

Rottiers I., Schiettecatte W., Gabriels D., Verbist K., 2002. Erosiebeperking in de Vlaamse Ardennen, verslag projectfase 4. Demonstratieproefvelden. Gent, Provincie Oost-Vlaanderen Dienst 102, 26 pp.

Schiettecatte W., Gabriels D., 2000. Erosiebeperking in de Vlaamse Ardennen, verslag projectfase 1. Algemene omschrijving van de erosieproblematiek en mogelijke beheersmaatregelen. Gent,

Provincie Oost-Vlaanderen Dienst 102, 44 pp.

Schiettecatte W., Gabriels D., 2001a. Erosiebeperking in de Vlaamse Ardennen, verslag projectfase 3. Afbakening van potentieel erosiegevoelige percelen in het stroomgebied van de Maarkebeek. Gent, Provincie Oost-Vlaanderen Dienst 102, 17 pp.

Schiettecatte W., Gabriels D. 2001b. Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie in de Vlaamse Ardennen (stroomgebieden Zwalm, Maarkebeek, Beiaardbeek/Molenbeek en Rone). Identificatie van akkerpercelen met hoogste erosiegevoeligheid. Gent, Provinciaal Centrum voor Milieu-onderzoek, 5 pp.

Sine, L., Agneessens, J.P., 1978. Etude des débits solides et du phénomène de migration dans une rivière drainant un bassin agricole. Pédologie, 28: 183-191.

Soenens, R. 1997: Bodemverlies bij het rooien van wortelgewassen. Niet gepubl. licentiaatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Sohier C., Dautrebande S., 2000. Programme Global Change et Développement Durable. Modélisation intégrée du cycle hydrologique dans un contexte de changements climatiques (partim sols non saturés et production des écoulements à la surface des terres)(projet financé par les SSTC). Rapport final. Unité d'Hydraulique Agricole, FUSAGx, 96pp.

Sohier C., Dautrebande S., 2001, 2002, 2003a. Programme PIRENE. Partim Modélisation des sols agricoles et forestiers (projet financé par la Région Wallonne) Rapports intermédiaires. Unité d'Hydraulique Agricole, FUSAGx.

Sohier, C. , Dautrebande, S., 2003b. Risques d'érosion en Région Wallonne, partim Cartographie. Convention InterUniversitaire PIRENE, coordination CEME_Ulg ; Partim modélisation eau-sols-plantes - bassin versant (Modèle EPIC-GRID) : Faculté Universitaire de Gembloux, Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole.

Spring, W., Prost, E., 1884. Etude sur les eaux de la Meuse. Détermination de quantités de matières diverses roulées par les eaux de ce fleuve en une année. Annales de la Société Géologique de la Belgique, 11 : 123-220.

Steegen, A., Govers, G., Nachtergaele, J., Takken, I., Beuselinck, L., Poesen, J., 2000. Sediment export by water from an agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium. Geomorphology, 33: 25-36.

Steegen, A., 2001. Sediment deposition in and export from small agricultural catchments. Niet gepubl. doctoraatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Stocking, M., 1981. A working model for the estimation of soil loss suitable for underdeveloped areas. Development Studies Occasional Papers n° 15, University of East Anglia, U.K.

Takken, I., Beuselinck, L., Nachtergaele, J., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., 1999. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). Catena, 37: 431-447.

Van Autgaerden, E., 2001. Implementatie van bodemconservatietechnieken in de Belgische Leemstreek gezien door de ogen van de landbouwers. Niet gepubl. licentiaatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven, 164 pp

Vandaele, K., Poesen, J., 1995. Spatial and temporal patterns of soil erosion rates in an agricultural catchment, central Belgium. Catena, 25: 213-226.

Vandaele, K., 1997. Temporele en ruimtelijke dynamiek van bodemerosieprocessen in landelijke stroomgebieden (Midden-België). Een terreinstudie. Niet gepubl. doctoraatsthesis en figurenbundel, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven, 257 pp.

Vandaele, K., Poesen, J., Marques de Silva, J.R., Govers, G., Desmet, P., 1997. Assessment of factors controlling ephemeral gully erosion in southern Portugal and central Belgium using aerial photographs. Zeitschrift für Geomorphologie, 41: 273-287.

Vandaele, K., van Wesemael, B., Priemen, P., Lammens, J., Creemers, F., Swerts, M., 2003. Beoordeling van de efficiëntie van kleinschalige erosiebestrijdingswerken, case-studie: aarden dam in de Heulen

Gracht te Velm (Sint-Truiden) - intern rapport Interbestuurlijke Samenwerking Land & Water 2003.

Van Den Hende, S., Huits, D., Reekmans, K., Baetens, K., Debussche, B., Desmet, J., Gabriels, D., Mahieu, J., Oltenfreiter, G., Rottoers, I., Schiettecatte, W., 2001. Demonstratie van teelttechnische maatregelen en bodemverbetering ter beperking van bodemerosie en nutriëntenverlies in West- en Oost-Vlaanderen - eindrapport ALT-demonstratieproject duurzame landbouw 2001. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - adminsitratie Land- en Tuinbouw, afdeling Land- en Tuinbouwvorming, 81pp.

van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 1999. EUR 19022EN: Soil erosion risk - assessment in Italy. European Communities, 52 pp.

Van Esch, L. 2003: Bodemverliezen ten gevolge van het rooien van wortelen (Daucus carota L.). Niet gepubl. licentiaatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Vanmaercke-Gottigny, M.C., 1980. Landslides as a morphogenetic phenomenon in a hilly region of Flanders (Belgium). In: De Boodt, M., Gabriëls, D. (eds.), Assessment of erosion. John Wiley & sons, pp. 475-484.

Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., 2002a. Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. Soil and tillage research, 65: 77-93.

Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., 2002b. Soil displacement and tillage erosion during secondary tillage operations: the case of rotary harrow and seeding equipment. Soil and tillage research, 65: 185-191.

Van Oost, K., Govers, G., Desmet, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. Landscape Ecology, 15: 577-589.

Van Oost, K., 2003. Spatial modelling of soil redistribution processes in agricultural landscapes. Niet gepubl. doctoraatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven, 257 pp.

Vanpaemel, L., Poesen, J., Vanmaercke-Gottigny, M.C., 2000. Massatransport in de Vlaamse Ardennen: ruimtelijke en temporele dynamiek. De Aardrijkskunde 24 (3):51-60.

Van Rompaey, A.J.J., Govers, G., Van Oost, K., Poesen, J., Desmet, J., 1999. Beleidsdocument ten aanzien van bodemerosie in Vlaanderen (bij de kaart bodemerosie in Vlaanderen). Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afd. water.

Van Rompaey, A.J.J., Govers, G., Van Oost, K., Van Muysen, W., Poesen, J., 2000. Bodemerosiesnelheden op landbouwpercelen in Vlaanderen. Rapport bij de kaartbladen (1 : 150000): 'Watererosie per landbouwperceel', 'bewerkingserosie per landbouwperceel' en 'totale erosie per landbouwperceel'. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afd. land.

Van Rompaey, A.J.J., 2001a. Geomorphic and land use change modelling at a regional scale. Niet gepubl. doctoraatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven, 150 pp.

Van Rompaey, A., Govers, G., Van Hecke, E., Jacobs, K., 2001b. The impacts of land use policy on the soil erosion risk: a case study in central Belgium. Agriculture, ecosystems and environment, 83: 83-94.

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

Van Rompaey, A., Govers, G., Puttemans, C., 2002. Modelling land use changes and their impact on soil erosion and sediment supply to rivers. Earth Surface Processes and Landforms 27: 481-494.

Verbist K., Oltenfreiter G., Schiettecatte W., Janssens V., Gabriels D., 2002a. Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie in de Vlaamse Ardennen (stroomgebieden Zwalm, Maarkebeek, Beiaardbeek/Molenbeek en Rone). Eindrapport voor het stroomgebied van de Beiaardbeek. Gent, Provinciaal Centrum voor Milieu-onderzoek, 50 pp.

Verbist K., Oltenfreiter G., Schiettecatte W., Janssens V., Gabriels D., 2002b. Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie in de Vlaamse Ardennen (stroomgebieden Zwalm, Maarkebeek, Beiaardbeek/Molenbeek en Rone). Eindrapport voor het stroomgebied van de Rone. Gent, Provinciaal Centrum voor Milieu-onderzoek, 50 pp.

Verbist K., Oltenfreiter G., Schiettecatte W., Janssens V., Gabriels D., 2002c. Gebiedsgerichte maatregelen tegen bodemerosie in de Vlaamse Ardennen (stroomgebieden Zwalm, Maarkebeek, Beiaardbeek/Molenbeek en Rone). Eindrapport voor het stroomgebied van de Zwalm. Gent, Provinciaal Centrum voor Milieu-onderzoek, 54 pp.

Verstraeten, G., Poesen, J., 1999a. The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium. Geomorphology, 29: 275-292.

Verstraeten, G., Poesen, J., Steegen, A., Govers, G., 1999b. Bodemerosie door water: bron van vele milieuproblemen in Vlaanderen. @WEL, 2: 8 pp.

Verstraeten, G, 2000. Modderoverlast, sedimentatie van wachtbekkens en begroting van de sedimentexport naar waterlopen in Midden-België. Niet gepubl. doctoraatsthesis, K.U.Leuven faculteit wetenschappen, Leuven.

Verstraeten, G., Poesen, J., 2001a. Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. Geomorphology, 40: 123-144.

Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G., 2001b. Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met het oog op het beperken van bodemverlies en modderoverlast (proefproject Gingelom) - eindrapport juli 2001. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - afdeling Land, 67pp.

Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G., 2002a. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. Soil use and management, 19: 386-394. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - afdeling Land, 3pp + CD-rom.

Verstraeten G., Van Rompaey A., Poesen J., Van Oost K., Govers G., Stalpaert, L., 2002b. Kwaliteit bodem: deel bodemerosie. In: MIRA-T 2002.

Verstraeten G., Knuts, J., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G., 2002c. Optimalisatie van een erosie- en sedimenttransportmodel voor het evalueren van beheersmaatregelen in het kader van een integraal land- en waterbeheer - eindrapport november 2002.

Verstraeten, G., Poesen, J., Govers, G., Gillijns, K., Van Rompaey, A., Van Oost, K., 2003a. Integrating science, policy and farmers to reduce soil loss and sediment delivery in Flanders, Belgium. Environmental Science and Policy, 6: 95-103.

Verstraeten G.,Van Rompaey A., Poesen J., Van Oost K., Govers G., Stalpaert, L., 2003b. Thema 2.20b: bodemerosie. In: MIRA-T 2003.

Verstraeten, G., Poesen, J., Goossens, D., Gillijns, K., Bielders, C., Gabriels, D., Ruysschaert, G., Van Den Eeckhout, M., Vanwalleghem, T., Govers, G., in druk. Soil erosion in Belgium. In: Boardman, J., Poesen, J. (eds.), Soil erosion in Europe, Wiley.

Voet, M., 1997. Sedimentafvoeren in kleine stroomgebieden. Water, 92: 10-14.

Williams J.R., Berndt H.D., 1976. Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds. In : Soil Erosion : Prediction and Control. Soil Conserv. Soc. Amer. Special publication 21: 217-225.

Williams J.R., Jones C.A. et Dyke P.T., 1984. A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Transactions of the ASAE 27, p. 129-144.

Wirix, G., Lorent, J., 1966. Regime en lading van de Dender. Acta Geographica Lovaniensia, 4: 129-140.

Rue de l'Equateur 45
B-1180 Bruxelles
Tel. : +32 (0)2 347 64 81
Fax : +32 (0)2 347 64 82
info@irgt-kint.be
www.irgt-kint.be