

Etat de l'Environnement wallon

Etudes - Expertises

L'érosion hydrique et les pertes en sol agricoles en Région Wallonne

Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'Etat de l'Environnement wallon

Ce Rapport est réalisé sous la responsabilité exclusive de son auteur et n'engage pas la Région wallonne

Prof. Sylvia DAUTREBANDE

Ir. Catherine SOHIER

Hydrologie & Hydraulique Agricole (UHAGx)

Génie Rural & Environnemental

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx)



gembloux
faculté universitaire
des sciences agronomiques

Juin 2006

Sylvia Dautrebande est Ingénieur Chimiste et des Industries agricoles et Docteur en Sciences agronomiques de la Fusagx ; Professeur Ordinaire à la Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, elle y dirige l'Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole (Génie Rural & Environnemental). Ses activités d'enseignement et de recherche-développement se sont portées principalement vers l'Hydrologie des bassins versants ruraux, la Physique des sols non-saturés et l'hydrodynamique des sols saturés superficiels, les relations eau-sols-plantes, la télédétection satellitaire, la problématique de la pollution agricole ou de la conservation des eaux et des sols. Les projets et collaborations se sont situés au niveau de la Région Wallonne, au niveau fédéral belge, au niveau européen et Outre-mer.

Catherine Sohier est Ingénieur-Chercheur au sein de la même Unité ; elle a développé le modèle hydrologique EPICgrid, notamment dans le cadre du projet PIRENE du Gouvernement wallon ; ce modèle intègre à l'échelle du bassin versant et de la zone vadose les aspects des flux hydriques, de solutés et de sédiments, en relation avec le climat, la croissance des plantes, les pratiques agricoles, la problématique de l'érosion des terres ou des crues de cours d'eau...

Les Rapports sur "l'état de l'environnement wallon" sont établis par la Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGRNE) du Ministère de la Région wallonne, en étroite collaboration avec les universités et les centres de recherche francophones de Wallonie et de Bruxelles (Art. 5 du Décret du 21 avril 1994 relatif à la planification en matière d'environnement dans le cadre du développement durable).

Le 31 mai 2002, le Gouvernement wallon a adopté une convention-cadre pour financer la mise en place d'une coordination interuniversitaire, fondée sur une équipe scientifique permanente et sur un réseau d'expertise. Cette convention-cadre a été passée avec le Centre d'Etude du Développement Durable (CEDD) de l'Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire (IGEAT) de l'Université Libre de Bruxelles (ULB). L'équipe scientifique est pluridisciplinaire et travaille avec la DGRNE qui assure la coordination générale. Les chercheurs comme les experts scientifiques sont issus de différentes universités.

<http://mrw.wallonie.be/dgrne/eew/>

TABLE DES MATIÈRES

■ Remerciements	5
Préambule	6
1 Introduction	7
1.1 Objectif de l'analyse	7
1.2 Contexte.....	7
2 Principes des processus	11
2.1 Bases physiques	11
2.2 Les différentes formes d'érosion des terres agricoles	12
2.2.1 <i>Notions de base</i>	15
2.2.2 <i>Détachement et transport par la pluie</i>	15
2.2.3 <i>Détachement et transport par le ruissellement de surface</i>	16
2.2.4 <i>En pratique</i>	16
2.3 La perte en sol	17
2.3.1 <i>Les différents types de transport et de dépôts solides</i>	17
2.3.2 <i>Le transport des contaminants associés</i>	18
2.3.2.1 Le Phosphore	18
2.3.2.2 Les pesticides, le carbone organique.....	18
2.4 Quantification de l'érosion diffuse	19
2.4.1 <i>Les modèles</i>	20
2.4.2 <i>USLE/RUSLE et MUSLE</i>	21
2.4.2.1 L'érosion des terres agricoles	21
2.4.2.2 La production en sédiments	26
2.4.3 <i>Matière organique, nutriments, pesticides</i>	26
3 La notion de Risque	29
3.1 Le Risque de dommages : Principes et Terminologie.....	29
3.2 Application à la problématique de l'érosion.....	30
4 Analyse DPSIR	34
4.1 Principes	34
4.2 Application à la Région wallonne	37
4.2.1 <i>Forces motrices</i>	37
4.2.1.1 L'occupation du sol	40
4.2.1.2 Le climat.....	45
4.2.2 <i>Pressions</i>	46
4.2.2.1 Pressions sur l'aléa érosion	46
L'érosivité des précipitations	46
L'indicateur culturel	49
L'indicateur longueur de pente	54
4.2.2.2 Pressions sur l'aléa Production en sédiments	55
4.2.2.3 Le phosphore, les pesticides.....	57
4.3 Etat	59

4.3.1	<i>La sensibilité du milieu</i>	59
4.3.1.1	L'érodibilité du sol	60
4.3.1.2	Le Carbone organique	62
4.3.1.3	La pente des terres	63
4.3.1.4	La sensibilité des terres au ravinement	65
4.3.1.5	Le Phosphore	65
4.3.2	<i>Les indicateurs d'état Erosion et Production de sédiments</i>	65
4.3.2.1	Pertes en sol moyennes annuelles	65
4.3.2.2	Rendement en sédiments moyens annuels	67
4.3.3	<i>Evolutions interannuelles</i>	68
4.3.4	<i>Comparaison avec les résultats de la Région flamande</i>	68
4.3.5	<i>Comparaisons avec des résultats de modèles européens</i>	75
4.3.6	<i>Classement suivant l'OCDE</i>	75
4.3.7	<i>Le phosphore, les pesticides</i>	78
4.4	Impact	82
4.4.1	<i>Indicateurs de dommages « On »</i>	83
4.4.1.1	Les dommages à la parcelle (« On »)	83
4.4.1.2	Classement de vulnérabilité « On »	83
4.4.2	<i>Indicateurs de dommages « Off »</i>	84
4.4.2.1	Dommages « Off »	84
4.4.2.2	Classement de vulnérabilité (« Off »)	85
4.4.2.3	Le phosphore, les pesticides	88
4.5	Réponses	89
4.5.1	<i>Prévention et correction de l'érosion</i>	90
4.5.1.1	La parcelle agricole	90
4.5.1.2	Les axes de concentration des petits bassins versants	96
4.5.1.3	La question des bandes enherbées	98
4.5.1.4	Quelques références spécifiques	99
4.5.2	<i>Indicateurs de réponse</i>	100
4.5.3	<i>Une avancée en vue au niveau européen</i>	103
5	Conclusions et Recommandations	109
	Recommandations	110
6	Références	115

Remerciements

En premier lieu, nous souhaitons adresser nos remerciements chaleureux au Dr Ir Vincent Brahy, Chargé de recherche à la Cellule Etat de l'Environnement wallon (Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Convention cadre Région wallonne - IGEAT (CEDD-ULB)), pour l'attention et les remarques compétentes et constructives et qu'il a apportées tout au long de l'élaboration du présent dossier, en appui et apport précieux à sa bonne finalisation.

Nous adressons également tous nos remerciements au Dr Ir François Goor, également Chargé de recherche à la Cellule Etat de l'Environnement wallon (Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Convention cadre Région wallonne - IGEAT (CEDD-ULB)), qui lui non plus n'a pas ménagé son appui pour des questions ou données spécifiques, avec une égale compétence et attention.

Préambule

La présente étude est réalisée en exécution de la Convention d'expertise passée avec l'Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire (IGEAT)-Centre d'Etudes du Développement Durable (CEDD) de l'Université Libre de Bruxelles (Convention-Cadre avec la Région wallonne relative à l'établissement des Rapports sur l'Etat de l'Environnement Wallon).

L'expertise porte sur la rédaction d'un dossier scientifique consacré à l'érosion hydrique des terres agricoles en Région wallonne, fondé sur une approche « DPSIR » et devant aboutir à des recommandations si l'utilité s'en présente ; elle est menée dans le cadre de l'élaboration du Rapport 2006 sur l'Etat de l'Environnement wallon.

Ne sont donc pas examinés ici :

- L'érosion éolienne, processus considéré comme mineur en Région wallonne par rapport à l'érosion hydrique. Le processus est en outre mal connu, peu identifié et non quantifié à ce jour ; il est probable, au vu des nouvelles priorités au niveau européen (Programme CAFE¹), qu'il sera nécessaire d'approfondir la question.
- L'érosion aratoire (par le travail du sol), susceptible d'entraîner une érosion spécifique parfois importante, mais généralement sans perte en terre significative hors de la parcelle (redistribution au sein de la parcelle).
- Les pertes en terres du fait de l'arrachage de cultures à racines et à tubercules, non négligeables dans certain cas (betterave,...) (confer à ce sujet le Livret de l'Agriculture n° 12 « Lutter contre l'érosion des terres »²).
- Les dégâts de terres et berges dus au piétinement des animaux.

Les processus d'érosion (berges, méandres, ...), de transport et de sédimentation dans les cours d'eau ne sont pas non plus considérés dans la présente analyse, relevant d'une problématique liée à l'hydraulique des transports solides dans les cours d'eau.

¹ CAFE: « Clean Air For Europe » (confer notamment TBE 2005).

² Livret de l'Agriculture n° 12 (2006) « Lutter contre l'érosion des terres » présenté par Dautrebande, S., Cordonnier, H., Thirion, M. et Bielders, Ch. (Collaboration DGA-RW, FUSAGx, UCL), 41 pages.

1 Introduction

Comme développé dans les Tableaux de Bord de l'Environnement wallon³ (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2000, 2003, 2004, 2005) ou prôné par le Guide IMPRESS (European Com., 2003) et autres, la logique DPSIR⁴ qui sous-tend la présente analyse est basée sur la mise en œuvre d'indicateurs.

Il est essentiel de garder à l'esprit que ces indicateurs ne sont pas destinés à caractériser les processus en tant que tels ; leur raison d'être est de permettre de façon condensée l'observation et la surveillance de tendances spatio-temporelles en vue de la protection des personnes, de l'environnement et des biens.

1.1 Objectif de l'analyse

Il s'agit ici de traiter de l'érosion hydrique des sols agricoles quant à ses aspects dommageables. Les indicateurs à proposer doivent se structurer autour d'une logique relationnelle; dès lors, une présentation sommaire de l'essentiel des processus en cause est effectuée en premier lieu (Point 2).

En préalable à l'approche DPSIR, des considérations sur les concepts liés à l'approche « Analyse de Risque » (Point 3) est jointe, étant donné que la notion de dommage (économiques et environnementaux) accompagne et sous-tend la problématique dans son ensemble.

Le Point 4 porte sur l'analyse DPSIR proprement dite, appliquée à la Région wallonne, et le Point 5, outre les conclusions, avance des recommandations.

Précisons que le but n'est pas d'établir en parallèle une monographie exhaustive sur la question ; les références citées se limitent dès lors à être pour beaucoup liées à la Région wallonne ou exemplatives, avec un regard cependant sur la documentation européenne ou autre, quand nécessaire à des comparaisons ou à la démarche DPSIR.

1.2 Contexte

La problématique de l'érosion hydrique des terres agricoles n'est pas neuve en Région wallonne (Photos de la Figure 1 (a) et (b)); on citera les dates et faits suivants :

- 1905 : Premier cri d'alarme de Grégoire et Hallet (cité par A. Bollinne, 1982).
- 1949 : Tavernier et les pédologues de terrain (ibid.) : Recommandations de pratiques antiérosives dans les livrets explicatifs de la carte des sols de Belgique (en particulier, recommandations de Loumaye (Raffinerie tirlémontoise) en 1953 pour prévenir les chutes de rendements agricoles).
- 1952 : Simon : « La protection du sol : un problème important dans les régions betteravières belges ». Publ. Techn. De l'I.R.B.A.B., n°3.
- 1968 : A. Bollinne (ULg + FUSAGx) : Premières (et uniques) parcelles expérimentales type Wischmeier⁵, en région limoneuse gembloutoise belge.

³ Qui seront notés sous le sigle TBE chaque fois que cité dans la suite du texte.

⁴ Driving force-Pressure-State-Impact-Response (Forces directrices-Pressions-Etat-Impact-Réponses).

⁵ Wischmeier, W.H. et Smith, D.D. (1978).

- 1971 : L. Sine (UHAGx-FUSAGx) : Recherches sur les propriétés physiques et mécaniques des sols.
- 1968-1982 : Poursuite des essais sur parcelles par A. Bollinne (Thèse de Doctorat), puis recherches arrêtées par l'IRSIA (et développement de recherches en Flandre).
- 1980 : Premières évaluations des effets du remembrement sur l'érosion des terres (Binard, M. et Bollinne, A., 1980).
- 1987 : Enquête de L. Bock et Hebberecht, (Sciences du Sol, FUSAGx), pour Inter-Environnement Wallonie (Bock, L. et al, 1987).
- 1973-1978 : Étude du débit solide issu d'un bassin agricole (La Méhaigne) (notamment : Sine L. et Agneessens, J.P., 1978)
- 1973-1978 : Étude sur l'érosion et la dispersion des produits phytosanitaires dans les eaux de surface (Copin, A. et Deleu R., 1978).
- 1988-1990 : Études sur les propriétés physiques et mécaniques des sols ; premiers essais sur l'effet d'apports de fertilisants organiques sur l'érodibilité des sols (Rapports IRSIA, Dautrebande, S. et al, collaboration FUSAGX - CRAGX); ensuite arrêt des financements IRSIA.
- 1987-1989 : Étude des débits solides en suspension dans la Burdinale (Lamalle C. et al, 1989).
- 1994 : Projet CARHY⁶ (S. Dautrebande et A.I. Mokadem, FUSAGx, pour le SETHY-MET, RW, et les Services Scientifiques fédéraux de la Recherche -SSTC), avec méthodologie et production des premières cartographies de l'infiltrabilité et du ruissellement en RW (méthode du Soil Conservation Service des USA (SCS), et du risque érosion diffuse suivant la méthode Wischmeier-Bollinne).
- 1994-1995 : Évaluation de l'impact du remembrement sur l'environnement (*partim* D. Xanthoulis et O. Ledent, UHAGx-FUSAGx, pour l'OWDR-RW).



Figure 1 - Erosion et dépôts boueux : (a) Champ de carottes : Photo A. Bollinne, en 1974 ;(b) ... un autre champ de carottes, en 1998 (photo S. Dautrebande).

⁶ Projet CARHY : CARactérisation HYdrologique des bassins versants en Région wallonne.

Depuis 2000, en raison de l'accentuation apparente des conséquences dommageables et en parallèle au développement des Politiques européennes et de la Région wallonne, des actions de sensibilisation, des mesures normatives, ou réglementaires et à caractère volontaire (subventions) ou obligatoires, ont commencé à être portées au niveau de l'agriculture, jugée comme première responsable du problème.

En parallèle, les études-pilote, les synthèses et les recherches spécifiques se sont multipliées. Outre les expérimentations menées régulièrement par le Centre de Recherches agronomiques de Gembloux (CRAW) sur les pratiques agricoles ou le travail du sol⁷ (Département Productions végétales et Département Génie Rural) ou par les Instituts et Ecoles d'agriculture, on citera les projets (réalisés ou en cours) suivants, pour la plupart directement liés à la problématique de l'érosion, plus indirectement pour l'un ou l'autre :

- 2000-2001 : Projet BIOECO - Pour la région limoneuse, mise au point et cartographie d'un indicateur d'érosion diffuse et de risque de lessivage des nitrates, à intégrer dans un modèle bioéconomique (S. Dautrebande et L. Vandendael, UHAGx-FUSAGx, collaboration avec l'Unité d'Economie Rurale (UCL) ; pour la DGA- RW).
- 2001-2005 : EPICgrid_PIRENE : Modélisation hydrologique des sols et des pratiques agricoles (S. Dautrebande et C. Sohler (UHAGx-FUSAGx) in : Programme Intégré de Recherche Environnement-Eau (PIRENE), Projet Interuniversitaire; pour le Gouvernement wallon).
- 2001-2003 : ADALI - Enquêtes érosion auprès des agriculteurs (notamment) (C. Ramelot, Ch . Bielders et E. Persoons, GERU-UCL; pour la DGRNE-RW).
- 2002-2006 : Étude des techniques culturales simplifiées (TCS) sur champs expérimentaux (Initialement G.I.E. GREENOTEC + coordination UHAGx-FUSAGX, puis Asbl GREENOTEC (groupement d'agriculteurs), avec la collaboration FUSAGX, UCI, CRAW; pour la DGA - RW).
- 2003 : Mise au point d'une méthodologie de détermination des zones à risque de ruissellement et d'érosion, application à trois bassins versants pilotes (S. Dautrebande & Fr. Colard (UHAGx-FUSAGx); pour la DGA-RW).
- 2003-2005 : Projet MESAM - Mesures de lutte contre l'Érosion et Sensibilisation des Agriculteurs (Proclam v.z.w. coordination, U.Gent (B), Baraca asbl (B), GERU-UCL (Ch. Bielders) (B), Institut Supérieur d'Agriculture (F), Chambre régionale d'agriculture (F), provinciale dienst Land - en Tuinbouw Oost-Vlaanderen (B), AMINAL Land (B) projet Interreg III).
- 2004 : Étude pilote pour la réduction du risque de coulées boueuses lié au processus de ruissellement sur le bassin versant du Rieu St. Jean (Ath) (S. Dautrebande et A. Smoos (UHAGx-FUSAGx); pour la DGA-RW).
- 2004 : Réalisation d'un Guide pour un choix de techniques adaptées pour lutter contre l'érosion (S. Dautrebande (UHAGx-FUSAGx) : pour la DGA-RW).
- 2004-2007 : « COUVERT » – Effet des dates de destruction et d'enfouissement des couvertures d'hiver en monoculture de maïs sur le ruissellement, l'érosion et le transfert de phosphore (Unité de Génie rural – GERU-UCL; pour la DGA-RW).

⁷ Vandergeten, J.P. et Roisin, C. (2004) Techniques culturales sans labour en culture de betterave sucrière » Collection Les guides techniques de l'IRBAB, 22 pages.

- 2003-2006 : ADAGE : Modèle pour l’Aide à la Décision AGricole et Environnementale en RW, pour le volet socio-économique des mesures agri-environnementales et autres (GIREA-UCL et ECRU-UCL ; pour la DGA-RW).
- 2005-2006 : « ALURE » – Appui à la mise en œuvre des mesures agri-environnementales dans le cadre de la Lutte contre le Ruissellement et l’Érosion des terres agricoles en Région wallonne” (Unité de Génie Rural, UCL; pour la DGA-RW).
- 2005-2008 : Enquête auprès des communes sur les problèmes d’inondation par ruissellement et les coulées boueuses⁸ (DCNN-DGRNE, appui UHAGx-FUSAGx)
- 2005-2008 : Influence des caractéristiques végétales des bandes enherbées sur la rétention du phosphore présent dans les eaux de ruissellement (GERU-UCL, pour le FRIA).
- 2005-2008 : « ERRUISSOL : ERosion-RUISsellement-SOL » – Cartographie des zones à risque d’érosion et de ruissellement sur l’ensemble du territoire wallon. (S. Dautrebande, *et al.* (UHAGx-FUSAGx); pour la DGA-RW)⁹.
- 2006 : Élaboration d’un Livret d’information et recommandations auprès des agriculteurs² (Collaboration DGA-RW, FUSAGx, UCL).
- 2006-2007 : Étude-pilote de schéma-directeur d’aménagement de bassin versant pour la problématique du ruissellement, des coulées boueuses et des inondations : application au Rieu des Barges (S. Dautrebande (FUSAGx), et M. Pirotton (ULg); pour la Province de Hainaut, coordination GTI-RW)
- 2006-2007 : Étude-pilote de schéma-directeur d’aménagement de bassin versant pour la conservation des eaux et des sols: application à la Trouille et à l’Anneau (S. Dautrebande (UHAGx-FUSAGx); pour le Parc Naturel des Hauts-Pays et la DGRNE-RW, Projet Interreg BE-Fr).

Signalons que l’accentuation du problème de l’érosion hydrique n’est pas propre à la Région wallonne, loin s’en faut ; nombre d’études sont menées en Région flamande (confer synthèses^{10,11}), en France (synthèses par Le Bissonais, Y. et al, 2002, ou Auzet, V ., et al., 2006, sous presse) , au Royaume Uni (McHugh, M., 2003) , en Allemagne (Erhard, M ., Böken, H., Glante, Fr., 2003), etc.

⁸ Suivant les propositions de Le Bissonais, Y. et al. (2002), le terme de « Coulée boueuse » est entendu comme un écoulement fortement chargé en sédiments ; il équivaut au terme d’écoulement boueux.

⁹ Dautrebande, S. et Mokadem, A. (2006) « Erosion hydrique et ruissellement : le projet ERRUISSOL » *in* « Etudes et Documents : Aménagements et Urbanisme, n°7 » - « Les risques majeurs en région wallonne : Prévenir en aménageant » Ed. DGATLP-RW.

¹⁰ MIRA : Achtergronddocument 2003; 2.21b Kwaliteit Bodem: Erosie, VMM, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, 27 pages.

¹¹ Wustenberghs, H., Lauwers, L., Overloop, S. , red. (2005) « Landbouw & visserij en het milieu 2004 » Min. Van de Vlaamse Gemeenschap, publicatie n°1.14, 3.9, 2005.

2 Principes des processus

Sont définis et décrits sommairement ci-dessous les processus d'érosion hydrique et de pertes en terre agricole, y incluant la question des contaminants diffus associés d'origine agricole suivants : azote, phosphore, pesticides.

2.1 Bases physiques

En relation avec les précipitations et le ruissellement sur les terres, l'érosion hydrique des sols se définit au sens strict comme l'arrachement de particules de sol; il s'agit donc à proprement parler d'une modification de la structure du sol dans le sens d'une désagrégation. En pratique, le terme inclut le processus de transport des particules de sol par l'eau (transport solide de sédiments) vers un lieu de dépôt (sédimentation). Le concept "érosion" inclut donc les notions (Figure 2) :

- d'arrachement des particules,
- de transport,
- de dépôt ultérieur.

Le processus de dépôt des particules transportées à une certaine distance de l'endroit originel s'appelle la "sédimentation", et les particules déposées "sédiments".

L'ensemble de ces processus est l'élément décisif qui définit la morphologie des terrains naturels ; celle-ci est le résultat d'actions séculaires. Pris sous cet angle, l'érosion naturelle est un phénomène géologique dans lequel le transport des matériaux formés est d'une intensité inférieure aux processus de constitution des sols. On parle d'équilibres naturels, par opposition aux processus d'érosion accélérée correspondant à une rupture de ces équilibres naturels, dont on admet qu'elle est généralement causée directement ou indirectement par les activités humaines.

La problématique abordée dans le présent document concerne uniquement l'érosion hydrique accélérée relative aux terres agricoles et induite par les activités humaines ; dans la suite on l'écrira sous le terme « érosion ».

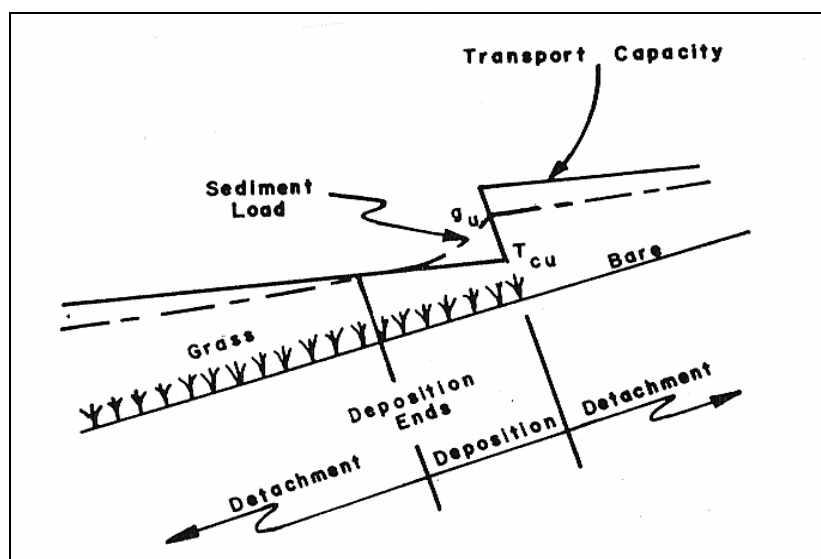


Figure 2 - Principe du processus d'érosion lié aux effets du ruissellement de surface : phases de détachement, transport, dépôt.

2.2 Les différentes formes d'érosion des terres agricoles

Les définitions reprises dans ce Point sont inspirées de diverses sources¹². On peut distinguer en pratique deux types d'érosion : **l'érosion diffuse et l'érosion en ravines**.

Le ruissellement sur les terres peut prendre une forme « diffuse » quasi invisible à l'œil nu (la terre a l'air de « suinter »), ou se concentrer en rigoles soit naturelles soit formées par des traces de roues ou autre. Si la topographie s'y prête, par concentration des eaux de ruissellement, se formera ensuite un « ruisseau » temporaire, parfois rapide et violent, se dirigeant vers un cours d'eau via une pente abrupte, ou un axe de vallon sec en temps normal (et que nous appellerons talweg dans la suite du texte par comparaison au cours d'eau permanent ou semi-permanent) (Photo et graphe de la Figure 3).

Outre l'effet des précipitations, le ruissellement diffus et en rigoles peut être considéré globalement comme étant à la base du processus d'érosion dite diffuse ; le ruissellement concentré quant à lui peut être à la base de la formation de ravinements.

Le terme d'érosion diffuse regroupe donc en pratique les processus d'érosion du sol dits « **en nappe et en rigoles** » (*sheet and rill erosion*), exprimables par unité de surface car pouvant être appréhendés comme spatialement uniformes. Sauf étude spécifique, les pertes en terre issues de l'érosion en nappe et en rigoles sont mesurées et quantifiées ensemble. De faibles sections (prises comme inférieures à 1 foot² - ~ 900 cm² - suivant Hauge (1977) cité par Poesen (1993, 1998)), les rigoles d'érosion ne gênent pas les travaux culturels, contrairement à l'érosion en ravines.

L'érosion **en ravines** (*gully erosion*) est une érosion dite concentrée, de type volumique : les ravines sont de largeur et de profondeur variables (parfois plusieurs mètres), nettement marquées dans le paysage (Photos de la Figure 5), au point de gêner les travaux culturels lorsqu'elles apparaissent sur les terres agricoles. Le ravinement procède souvent d'une érosion régressive (remontant de l'aval vers l'amont) ; d'une manière générale, les multiples processus de formation des ravines sont encore mal connus et font l'objet de nombreuses recherches spécifiques.

On distingue deux types principaux de ravines :

- Les ravines dites temporaires « éphémères », qui résultent essentiellement des effets du ruissellement (temporaire) de surface plus ou moins concentré (Image satellitaire et Photo de la Figure 4).
- Les ravines ou érosions de talus (*bank gullies*), qui procèdent plus des effets d'eaux de ruissellement se concentrant et/ou s'infiltrant localement au droit de ruptures significatives de pente (cas de talus en bordure de parcelle agricole, de paysages du type « plateau-versant abrupt » ou « plateau-chavées », etc.). Il s'ensuit des mouvements et des transports de masse (effondrement et glissements de terrain, coulées de terre) ou des processus souterrains d'érosion en galerie (« *tunneling* » et « *piping* ») se répercutant en surface par des effondrements brusques, le tout souvent favorisé par la présence de racines (talus bordés de haies), de galeries d'animaux fouisseurs, etc. (Photos de la Figure 5 et de la Figure 6).

¹² Notamment : Wischmeier, W.H. et Smith, D.D. (1978); Bollinne, A. (1982); Glossary of soil science terms, SSSA, 1998; Glossary of risk analysis terms, Society for risk Analysis (<http://sra.org/glossary.html>); EEA glossary of environmental terms ; « Mining Source Book », 1995, U.S. EPA ; <http://www.bf.refer.org/toure/pageweb/accueil.htm>; Programme d'actions prioritaires (PAP/CAR) du Plan d'action pour la Méditerranée, en collaboration avec la FAO – PNUE, 1998 « Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes, Split-Croatie, 1998, 89 pages.

On citera enfin un dernier type de processus d'érosion hydrique et de pertes en sol agricole, qui concerne le cas de parcelles sises dans le lit majeur d'un cours d'eau en phase d'inondation (effet du courant) (Photo de la Figure 7).

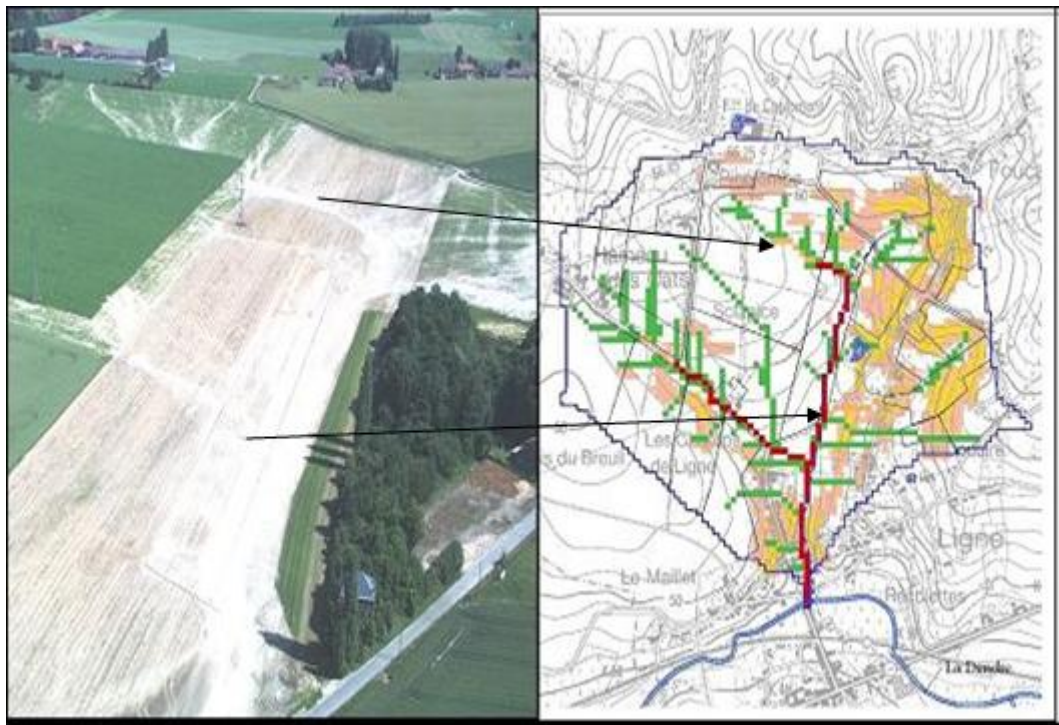


Figure 3 - Axes de concentration des eaux de ruissellement (Photo aérienne R. Caussin, pour S. Dautrebande) et Carte issue de l'étude-pilote de bassin versant à Ligne (Ath), Dautrebande S. et Smoos A., 2003 (confer Point 1.2).

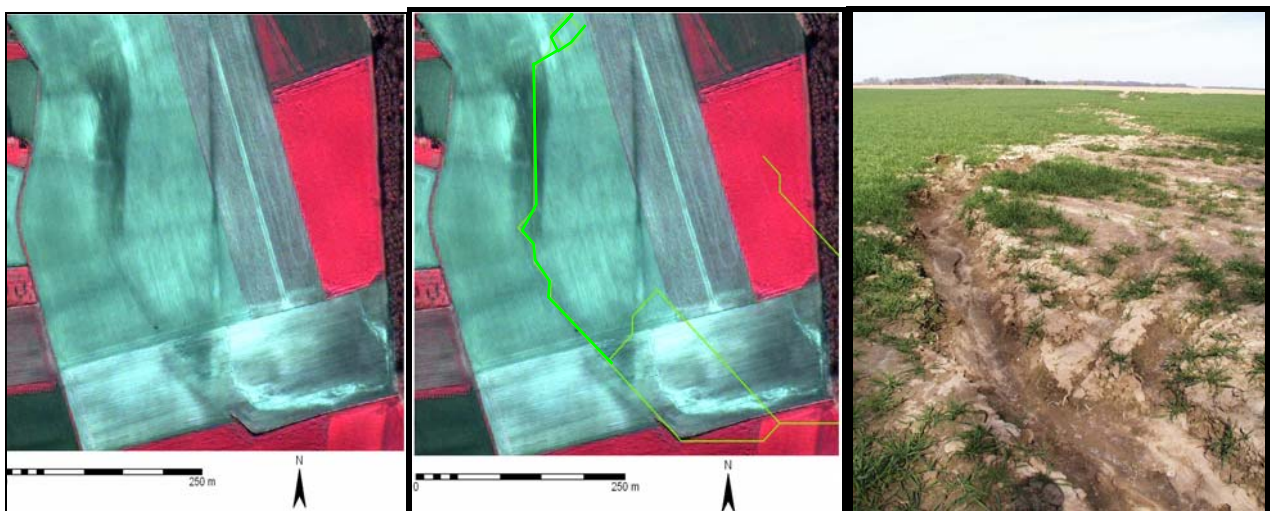


Figure 4 – Image satellitaire IKONOS (pixel 4 m) : à gauche, traces au sol ; au centre, une des traces correspond à un passage de flux boueux incluant un ravinement temporaire : l'image Ikonos avec surimposition (en vert) de l'axe de concentration des flux (prédéterminé sur base exclusive de données topographiques – méthode UHAGx-FUSAGx, généralisation pour la Région wallonne dans le projet ERRUISSOL¹³) ; à droite : photo de la trace au sol (Etude Dagnelies J. et Dautrebande S., 2003).

¹³ 2005-2008 : « ERRUISSOL : EROsion-RUISselement-SOL » – Cartographie des zones à risque d'érosion et de ruissellement sur l'ensemble du territoire wallon. (S. Dautrebande, *et al.* (UHAGx-FUSAGx); pour la DGA-RW.



Figure 5 – Ravinement : (a) dans une bande enherbée ; (b) en aval de parcelle déboisée (Photos S. Dautrebande).



Figure 6 – (a) et (b) Effondrements de talus en bordure de parcelle agricole (Photo (a) S. Dautrebande et Photo (b) Fr. Colard pour S. Dautrebande).



Figure 7 – Erosion d’une parcelle agricole sise dans le lit majeur d’un cours d’eau : dommages après inondation par débordement de cours d’eau (effet des vitesses de courant) (Photo S. Dautrebande).

2.2.1 Notions de base

En ce qui concerne l’effet des précipitations et du ruissellement de surface sur le processus d’érosion des terres, les notions de base peuvent être abordées de façon succincte à partir de l’approche théorique de Meyer - Wischmeier (Meyer, L. D., et Wischmeier, W. H., 1969; Rose, C.W., et al. 1983) ; nombre de variantes et développements de cette approche de base existent depuis, sans que les fondements établis soient remis en cause.

Ils envisagent quatre composantes dans le processus d’érosion :

- le détachement lié à l'action directe des précipitations,
- le détachement lié à l'action directe du ruissellement de surface,
- la capacité de transport liée à l'action des précipitations,
- la capacité de transport liée à l'action du ruissellement de surface.

2.2.2 Détachement et transport par la pluie

L’importance quantitative du détachement de particules de sol par unité de surface et leur transport sur de courtes distances (effet « splash ») sont fonction de l’énergie cinétique liée à la vitesse de chute des gouttes de pluie parvenant au sol et à leur densité. La vitesse de chute de ces gouttes est elle-même fonction de leur poids et donc de leur diamètre ; or les gouttes de pluie présentent des diamètres d’autant plus importants que les pluies sont de forte intensité (intensité de la précipitation = hauteur d’eau précipitée par unité de temps, mm/h ou en l/h.m²). C’est donc l’intensité de la précipitation qui joue un rôle en premier lieu avant sa hauteur en tant que telle; il s’ensuit également que ce sont les pluies de type orageux (essentiellement au printemps et en été) qui sont les plus érosives (« érosivité » de la pluie).

En regard, la résistance du sol nu est fonction de sa granulométrie et de ses caractéristiques de cohésion, eu égard à l’impact des gouttes de pluie ; c’est la raison pour laquelle les sols sableux (du fait de leur granulométries et donc leur poids) et les sols argileux (par leurs propriétés de cohésion) sont moins sensibles à l’érosion que les sols limoneux et sablo-limoneux, de granulométrie et propriétés de cohésion moins favorables.

Des effets adverses complémentaires peuvent apparaître suite à l'effet splash : formation de croûte (dite croûte de battance), compaction superficielle,...

2.2.3 Détachement et transport par le ruissellement de surface

Il convient de ne pas confondre le ruissellement de surface proprement dit – ou ruissellement hortonien (*overland flow* ou *surface runoff*) -, qui est celui qui nous occupe ici, et le ruissellement dit direct (*direct runoff*)¹⁴ qui constitue l'écoulement de crue des cours d'eau et inclut quant à lui non seulement le ruissellement de surface mais aussi les écoulements hypodermiques rapides (issus des premières couches de sol). Rappelons que le ruissellement de surface, pour dommageable qu'il soit sur les terres et à l'aval de talwegs, représente tout au plus 5 à 15 % des précipitations annuelles de l'ensemble de la Région wallonne.

En termes de processus, lorsqu'une lame d'eau ruisselle à la surface d'un sol nu, les particules de ce sol sont soumises à un effort tangentiel d'entraînement par le courant liquide ; ce potentiel d'entraînement peut être décrit en fonction de la vitesse de l'écoulement.

En regard, la résistance des particules à cet effort tangentiel est fonction de leur poids déjaugé (poussée d'Archimède) et donc de leur diamètre, de la forme des particules ainsi que de la cohésion des particules (liée à l'organisation des particules entre elles et à l'effet de molécules organiques ou autres).

Pour un sol donné, il y a début d'entraînement des particules de sol dès qu'une valeur dite critique de cet effort tangentiel est dépassée, en relation avec les modifications de l'épaisseur de la lame d'eau et de la pente du terrain.

Dans ces conditions, le transport aura lieu tant que la capacité maximale de transport de la lame d'eau n'est pas atteinte ; cette capacité maximale est fonction de la vitesse de l'écoulement et donc de l'épaisseur de la lame d'eau, de la pente du terrain, de la rugosité de surface, aussi de la viscosité du flux et de la concentration en particules. En regard, la vitesse de sédimentation des particules liée à leur poids aura tendance à contrecarrer les effets de la vitesse de convection et de remise en suspension par les effets de turbulence associées ; il y aura donc transport ou dépôt suivant les circonstances de l'écoulement.

2.2.4 En pratique...

La réalité du terrain est complexe et les paramètres sont fortement variables dans le temps et dans l'espace et cela à différentes échelles : sol, couverture du sol, pentes, microtopographie, géométrie des rigoles, formation des ravines affectant elle-même l'hydraulique du ruissellement, croissance des flux de l'amont vers l'aval, etc.

Il s'ensuit que les observations restent d'une part ponctuelles et difficiles à synthétiser, d'autre part que les méthodes d'évaluation basées explicitement sur l'hydrodynamique, dans les faits, restent réservées à ce jour à la recherche et attendent encore bien des développements.

¹⁴ A ne pas confondre également avec le terme « *runoff* » qui s'adresse souvent à l'écoulement total (débit total) d'un cours d'eau... , confusion d'autant plus aisée que le terme *runoff* (écoulement) est utilisé parfois indifféremment dans les trois cas de définition (surface, direct, total).

Indépendamment de la question du ravinement et des mouvements de masse (définis en introduction du Point 2.2.), les difficultés précitées expliquent en bonne part le succès de « l'équation universelle des pertes en sol » (*Universal Soil Loss Equation* : USLE) de Wischmeier, W.H. et Smith, D.D. (1978), équation empirique mais intégrant des paramètres à base physique; elle est en outre aisée d'utilisation (Confer Point 2.4.2 pour développements).

Quoiqu'il en soit, les notions théoriques de base évoquées plus haut (Meyer, L.D. et Wischmeier, W.H., 1969) suffisent déjà à illustrer d'emblée toute l'importance respective des paramètres liés :

- soit à la bonne qualité de l'« état de surface »,
- soit à l'hydraulique de l'écoulement.

La plupart des techniques antiérosives auront pour but d'agir sur l'un ou l'autre, séparément ou simultanément. La question sera de déterminer si le facteur limitant est d'ordre hydraulique ou lié à l'état de surface, et dans quelle mesure il est susceptible d'influencer le choix et l'efficacité des techniques antiérosives.

2.3 La perte en sol

On a vu que l'intensité et la durée des précipitations ainsi que le flux de ruissellement de surface sont les facteurs hydriques responsables de l'arrachement des particules de sol. Cependant le ruissellement doit être considéré comme le seul facteur responsable de la perte en terre proprement dite du fait du transport des particules de sol loin de leur lieu d'origine.

Une partie seulement des terres érodées parvient in fine au cours d'eau; la proportion de sédiments (« *Sediment Delivery Ratio* », SDR) quittant un bassin versant par rapport à son taux d'érosion est, en termes de tendance, inversement proportionnelle à la superficie de ce bassin versant, avec cependant une grande variabilité. Pour un bassin versant d'1 km² (ordre de grandeur de l'unité élémentaire moyenne de bassin versant hydrographique en Région wallonne¹⁵), on trouve classiquement dans les Manuels techniques la valeur moyenne de SDR = 40 %, mais avec un intervalle de valeurs allant de 90 % à 10 %... (notamment *in* Maidment, 1992).

Rappelons que les flux solides et les dépôts de sédiments dans les cours d'eau peuvent provenir non seulement du bassin versant, mais aussi de l'érosion des berges et du lit mineur – et des terres avoisinantes (lit majeur) en cas d'inondation par débordement de cours d'eau.

2.3.1 Les différents types de transport et de dépôts solides

On peut distinguer deux types d'exportation de terres agricoles :

- celles hors parcelle agricole,
- et celles hors bassin versant.

Il faut y ajouter le départ associé de nutriments (N, P), de cations alcalins (Calcium, Magnésium) et alcalino-terreux (Potassium), d'oligo-éléments, de pesticides, de matières organiques,..., en solution dans les eaux de ruissellement ou bien fixés sur les particules de sol elles-mêmes.

Les transports et dépôts solides liés au ruissellement peuvent prendre différentes formes, dont :

¹⁵ La Région wallonne comprend environ 20.000 km² pour environ 16.000 km², soit en moyenne à peu près 1 km de cours d'eau par km² de superficie.

- les eaux de ruissellement boueuses,
- les coulées et dépôts boueux,
- les inondations boueuses.

2.3.2 Le transport des contaminants associés

Les principaux problèmes de pollution des eaux de surface associés à l'érosion diffuse agricole concernent l'azote, le phosphore, la matière organique et les pesticides. Les aspects de la contamination azotée dans un Fascicule rédigé en parallèle (Dautrebande, S. et Sohier, C., 2006) ; celle du phosphore est vue ici en raison des liens spécifiques qui lui sont reconnus avec la problématique du ruissellement de surface et de l'érosion (confer Point 2.4.3.). Les aspects spécifiques relatifs aux pesticides dans les eaux de ruissellement sont évoqués également ici.

2.3.2.1 Le Phosphore

Le phosphore est aisément adsorbé sous différentes formes à la surface des particules de sol ; une petite partie seulement des quantités totales de phosphore est suffisamment labile pour se retrouver dans la solution du sol, au profit de l'absorption par les racines des plantes. Il est de ce fait peu ou pas lixivié dans les sols (sauf le cas d'eaux de drainage superficielles rapides issues de sols engorgés).

Les pertes de phosphore ont lieu essentiellement dans les eaux de ruissellement, le phosphore étant soit en solution, soit associé aux particules de sol érodées ; le pourcentage de Phosphore dissous par rapport au Phosphore total (dissous + particulaire) peut varier grandement en fonction du type de fertilisant et du couvert du sol. On cite des pourcentages variant entre 5 et 50 % pour les sols sous cultures intensives et de 30 à 90 % pour les prairies, (Heckrath et al., 1995, ou Gilliam et al., 1999, notamment)¹⁶. Dans la pratique, les deux phases sont peu aisées à identifier séparément et souvent mesurées ensemble (exemple Steegen, A., et al, 2001).

Les apports exogènes de phosphore sont réalisés via les engrais minéraux d'une part, les effluents d'élevage d'autre part. Ces derniers sont partagés entre forme organique et forme minérale (25 à 65 % pour cette dernière), suivant l'origine animale et le type d'effluent concernés (Gerritse, R.G. et Vriesema, R., 1984).

Rappelons qu'un des principaux problèmes de pollution attribué au phosphore (en conjonction complexe avec l'azote) est sa contribution à l'eutrophisation des eaux de surface (confer TBE 2006, p 22 à 33). On sait que celle-ci se déclare préférentiellement dans des zones à circulation d'eau réduite tels que les canaux, les lacs, les étangs, les cours d'eau à faible vitesse d'écoulement et *in fine* dans les zones maritimes côtières¹⁷.

2.3.2.2 Les pesticides, le carbone organique

Outre les processus de lessivage et biodégradation dans les sols (confer le Fascicule « Contamination » précité), les pesticides et produits de dégradation correspondants sont également susceptibles d'être emportés sous forme dissoute ou fixés sur les particules de sol et de matière organique entraînées par les eaux de ruissellement.

¹⁶ Valeurs citées dans « Phosphorus Loss Assessment Tools from the States" Session 64, ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, ASAE and CIGR, Chicago, Illinois, USA; July 28-31, 2002 (100 pages).

¹⁷ OSPAR Convention For The Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (2004) "Draft Guideline 6: Quantification and Reporting of Nitrogen and Phosphorus Losses from Diffuse Anthropogenic Sources, and Natural Background Losses" (*Reference Number: 2004-2; OSPAR 00/9/2 Add.6 and OSPAR 00/20/1, § 9.5b*).

La matière organique peut être transportée en surface par les eaux de ruissellement soit sous forme particulaire individualisée soit fixée sur les particules minérales de sol (revêtements « *coatings* ») ; en termes de pollution des eaux, elle peut être une des composantes du processus complexe d'eutrophisation (confer TBE 2005).

2.4 Quantification de l'érosion diffuse

L'évaluation quantitative de l'érosion hydrique porte en fait sur l'évaluation des pertes en sol et non sur l'érosion elle-même ; elle est fondée soit sur des observations de terrain soit, indirectement, sur des modèles mathématiques. Les observations s'effectuent à la limite de parcelles agricoles, dans des cours d'eau ou dans des plans d'eau exutoire de bassin versant.

En termes de valeurs moyennes pluriannuelles, les expressions suivantes sont généralement utilisées:

- à l'échelle de la parcelle agricole, la « perte en sol » (*soil loss*), en tonnes/ha.an - ou aussi en mm de sol perdu par an), quantité spécifique de sédiments susceptible de quitter la parcelle ou de se déposer en bordure de celle-ci;
- le rendement (ou la production) en sédiment (*sediment yield*), en tonnes/km².an ou m³/km².an., part des sédiments issus de l'érosion d'un bassin versant qui parvient en son point exutoire.

Hors études spécifiques dont la description sort du cadre de la présente étude, le « référentiel Wischmeier » reste un standard pour l'évaluation de la perte en sol : dès 1958, après vingt années d'observations en parcelles d'essai dans au moins dix Etats des USA, W.H. Wischmeier, un statisticien du Service de Conservation des Sols, collationna et traita plus de 10.000 résultats annuels issus de parcelles d'essai et de très petits bassins versants. Sur cette base, de 1960 à 1978, lui-même et D.D. Smith's s'attachèrent ensuite à établir un modèle empirique pour prédire la perte en sol d'une parcelle agricole en vue de permettre aux spécialistes de prendre des mesures appropriées (Wischmeier, W.H. et Smith, D.D., 1965; Wischmeier, W.H. et Smith, D.D. (1978)).

Ce modèle empirique, **USLE** (« Universal Soil Loss Equation »), est devenu le référentiel « mondial », régulièrement complété ou modifié¹⁸, mais non remplacé dans ses fondements à ce jour. En outre, vu la lourdeur de l'expérimentation, celle-ci n'a été que très rarement reproduite ailleurs qu'aux USA. En Belgique (sinon en Europe), seul A. Bollinne a effectué entre 1978 et 1982, et en région limoneuse gembloutoise uniquement, des essais et évaluations reproduisant le type d'essai Wischmeier.

En ce qui concerne l'évaluation du rendement en sédiment, la version MUSLE (« Modified Universal Soil Loss Equation ») (Williams, J.R., 1975) est devenue de son côté la référence, impliquant, outre la formulation USLE, une évaluation des débits de pointe et volumes de ruissellement ; l'évaluation in situ du rendement en sédiment s'effectue à partir de la mesure, peu aisée, des dépôts dans des retenues ou de la somme du charriage de fond et du débit solide en suspension en un point d'un cours d'eau.

¹⁸ Par exemple: **RUSLE** (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard, K.G., et al. (1997), ou **RUSLE2** (http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/RUSLE2_Index.htm).

2.4.1 Les modèles

Les modèles constituent un outil technologique d'aide à la décision tant pour les Planificateurs et les Politiques que pour les Ingénieurs, en vue d'aborder les besoins en matière de Conservation des Sols et des Eaux (CES) à une échelle régionale ou locale ; ils peuvent être utilisés non seulement pour évaluer les taux de pertes en sol (diffus agricole) mais aussi pour prédire les effets de différents aménagements. Ils sont avantageux dans la mesure où ils permettent de globaliser les connaissances et d'économiser du temps et des moyens.

En Europe, les premières tentatives d'applications régionalisées utilisant un système d'information géographique (SIG) et la formulation USLE ou RUSLE semblent être celles de Strauss et al. en 1994 pour l'Autriche et celles de Dautrebande S. et al. pour la Région Wallonne, en 1994 également (Projet CARHY¹⁹). Actuellement ce type d'approche est assez généralisé en Europe sous de nombreuses variantes, reconnu comme simple et robuste (Desmet et Govers, 1996) et recommandé en matière d'indicateurs au niveau des instances européennes et autres (EU Directorate-General Environment, WG reports on Soil Thematic Strategy, 2004 ; OCDE, 2003).

Nombre de modèles hydrologiques se veulent d'intégrer actuellement à l'échelle du bassin hydrographique les formulations USLE/RUSLE et MUSLE moyennant, selon le modèle, des variantes ou ajouts tels que le calcul au pas de temps journalier, la notion de capacité maximale de transport, une description plus explicite du détachement et du transport (« *process based* »), la modélisation du transport des contaminants associés, la prise en compte détaillée de la croissance des cultures et des pratiques agricoles, etc.

Parmi les nombreuses variantes, on citera :

- le modèle EPICgrid (Sohier, S., et Dautrebande, S., 2004), semi-distribué, construit pour la Région Wallonne à l'échelle du bassin versant en incluant la zone vadose, basé sur le modèle EPIC (parcelle agricole) développé par Williams, J.R., Jones, C.A., et Dyke, P.T., en 1984 (pas de temps journalier); signalons qu'il existe d'autres modèles construits avec le « noyau EPIC », notamment : SWAT, GLEAMS, CREAMS, GIBSI au Québec²⁰, WEPP (Lane, L.J. et Nearing, M.A., eds (1989) et ultérieurs, cités par Summer, W., et Walling, D.E. (2002)), etc.;
- le modèle PESERA, qui constitue une approche de développement au niveau européen (Gobin, A. et al. 1999);
- les modèles STREAM (Cerdan, O., 2002c) et EUROSEM développés pour des épisodes pluvieux individuels.
- etc.

Certains aspects relatifs aux modèles, en particulier PESERA, seront examinés ultérieurement (confer Point 0).

¹⁹ Dautrebande, S. Laine, S. et Mokadem, A.I., (1994-1995) « **CAR**actérisation **HY**drologique des bassins versants en Région wallonne » (Projet cofinancé par le SSTC et le Service d'études hydrologiques du Ministère de l'Équipement et des Transports (MRW-MET-SETHY).

²⁰ <http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/gibsi/francais/accueilgibsi.htm>).

2.4.2 USLE/RUSLE et MUSLE

On se limitera ici à présenter les formulations habituelles pour l'évaluation de la perte en sol et de la production de sédiments à établir au mieux sur un nombre d'années représentatif de la variabilité climatique; rappelons que les modèles hydrologiques réalisent généralement les calculs avec un pas de temps journalier (cas d'EPICgrid notamment), alors que les formulations de base les effectuent à partir des caractéristiques d'une année moyenne.

2.4.2.1 L'érosion des terres agricoles

Suivant la formulation USLE (ou RUSLE) de base, la perte en sol moyenne annuelle A_w est calculée par la relation suivante :

$$A_w = R.K.LS.C.P_w . \quad (1)$$

Dans cette relation, A_w est exprimé généralement en t/ha.an et on a:

- R = indice d'érosivité²¹ des précipitations (en MJ.mm/ha.h.an, par exemple), calculé à partir de la valeur moyenne annuelle relative à une période pluriannuelle représentative, la distribution mensuelle de R devant également être connue en vue de la pondération du paramètre C ;
- K = indice d'érodibilité²² du sol, fonction de sa texture²³, quelque peu de son taux d'humus, de la structure de la couche de sol au voisinage de la surface, de sa perméabilité (infiltrabilité limite de surface) (K a les unités de A_w/R et est compris entre 0 et 1);
- LS = indice topographique²⁴, adimensionnel, fonction de la longueur de pente et de la pente du terrain;
- L = longueur de pente du versant occupée par une culture ou une succession de cultures de même valeur de C sans rupture de nature hydraulique ;
- S = pente du terrain relatif à la longueur L ;
- C = indice de couverture végétale et de pratiques culturales (note²⁵ et Figure 8), adimensionnel et compris entre 0 et 1, pondéré par la distribution mensuelle de R,

²¹ L'index moyen annuel de pluie R caractérise l'érosivité de la pluie et s'obtient en sommant sur la période pluriannuelle considérée les valeurs de R relative à chaque épisode pluvieux. Le principe à la base du calcul est qu'à une intensité de pluie correspond un spectre de gouttelettes dont les diamètres sont d'autant plus importants que cette intensité est élevée; or à chaque diamètre, on peut associer une vitesse de chute et donc une énergie cinétique. L'analyse faite par Wischmeier lui a permis de retenir comme seule variable bien corrélée avec A_w le produit, R, de l'énergie cinétique E de l'averse considérée, rapportée à l'unité de surface, par la hauteur pluviométrique maximum « I30 » de cette averse, correspondant à l'intensité maximum observée pendant une durée de 30 minutes (des enregistrements pluviographiques sont donc nécessaires pour ce type d'étude). Par la suite, vu la lourdeur du traitement de l'information et la disponibilité réduite de données pluviographiques, Wischmeier a mis au point une relation entre la valeur moyenne annuelle de R (= moyenne annuelle de la somme des E.I30) et la pluviométrie moyenne annuelle, appliquant en complément, via le calcul du paramètre C de l'équation, une pondération fonction de la distribution mensuelle moyenne de cette valeur de R.

²² Règles de pédotransfert suivant concepts et Abaque de Wischmeier pour l'indice K ; des variantes existent (ex. Declercq et Poesen, 1992).

²³ Un problème réside dans le fait que la limite supérieure de la classe « silt » est prise à 100 microns, contrairement à la plupart des classifications texturales, notamment la classification utilisée en Belgique ; une interpolation empirique est donc à effectuer en général.

²⁴ Sous sa forme d'origine, l'indice LS est déterminé par l'abaque de Wischmeier ou l'équation correspondante $LS = \sqrt{L} (0,0076 + 0,0053 S + 0,00076 S^2)$, L est la longueur de pente exprimée en pied et S est la pente exprimée en pour cent.

²⁵ Dans la version Wischmeier d'origine, cinq périodes sont définies pour l'évaluation du paramètre C (à pondérer par la répartition de R) de la façon suivante :

Période F : jachère nue ou période entre le premier labour et le semis;

Période SB : semis ou période s'étendant de la préparation du lit de germination jusqu'à un couvert végétal de 10 %; Période 1 : de 10 à 50 % de couvert;

fonction de la croissance des cultures, de leur stade phytotechnique, des rotations culturales et des pratiques agricoles.

- P_w = indice d'aménagement antiérosif, adimensionnel et compris entre 0 et 1, fonction du type d'aménagement antiérosif tel que cultures en bandes alternes, terrasses, banquettes, labours en courbes de niveau et autres « *stripfarming* » (confer quelques détails techniques dans Dautrebande, S., 2004) (confer aussi Point 4.5.1.1),

Les aménagements repris dans l'indice P_w exigent en général sur le plan de l'hydraulique douce un aménagement topographique précis et rigoureux en relation avec les conditions spécifiques du milieu (sol, topographie) et de la pression climatique. Des tables de référentiel indiquent la valeur P_w à prendre en fonction du type d'aménagement, cependant sous leur forme actuelle aux USA, elles font intervenir en outre plusieurs facteurs correctifs liés précisément aux limites d'application de cet aménagement (exemple : Wilkins, D., Liu, H. et Williams, J. (1996). On a en particulier:

- un paramètre d'infiltrabilité²⁶ *en grand*, défini par un des quatre Groupes SCS²⁷ hydrologiques des sols;
- des indicateurs topographiques et de limitation de longueur de pente de parcelle (imposant le plus souvent des longueurs de parcelle – ou de successions de parcelles de même paramètre C sans rupture d'hydraulique douce – de moins de 200 m).
- un indicateur de précipitations exceptionnelles (les aménagements ne sont pas prévus – dimensionnés – pour supporter les événements pluvieux « exceptionnels », sauf aménagement complémentaire de sécurité) ;
- ...

Période 2 : depuis fin de période 1 jusque période où le couvert atteint 75 %;

Période 3 : depuis fin de période 2 jusque la récolte (trois niveaux sont évalués);

Période 4 : de la récolte au labour ou au nouveau semis.

Les pratiques agricoles (fumures, résidus de cultures, type et modalités de travail du sol, , etc., via les Tableaux ad hoc ; un exemple d'origine (très partiel) des valeurs à pondérer et sommer pour un cas de rotation est repris dans l Figure 8 (où : corn ou c = maïs, GS = sorgho, G= petit grain, RdR = résidus sortis du champ, RDS = résidus enfouis, OR =, Cot = cotton, Moldboard, sprg (fall) TP = labour de printemps (automne) traditionnel, no-till =non-labour, etc. - Ces tableaux d'origine ont par la suite été complétés pour d'autres cultures ou pratiques par de nombreux auteurs ; les modèles tels qu'EPICgrid (pour rappel à noyau « EPIC ») en effectuent le calcul (quotidien) détaillé. Par ailleurs des valeurs simplifiées globales sont souvent présentées (qui permettent dès lors peu ou pas de nuancer les effets des différentes modalités culturales, ni les interactions avec les périodes intra-annuelles d'érosivité des précipitations).

²⁶ Exemple : dans un sol naturellement peu infiltrant – facteur limitant – des aménagements du type banquette d'infiltration ou de labour en courbes de niveau au sens strict ne seront pas efficaces et pourront même avoir un effet défavorable lors de pluies importantes par effets de débordements localisés des flux de ruissellement; on leur préférera peut-être alors un aménagement de type banquette de dérivation ou un labour en courbe de niveau oblique par rapport à la courbe de niveau (micro-chenal d'écoulement) –avec pente régulée faible afin d'éviter d'atteindre la vitesses érosive mais suffisante pour l'évacuation appropriée du ruissellement vers un chenal-collecteur, tout ceci moyennant un planage général -s'il y a lieu- et une utilisations appropriés du terrain (pas de micro-vallons de récolte des eaux de ruissellement naturel ou créé par le passage des machines agricoles).

²⁷ Dans la méthode SCS (SCS = Soil Conservation Service of USA), quatre classes d'infiltrabilité *en grand* des sols sont définies sous la dénomination « Groupes hydrologique de Sols » ; la formulation, datant d'expérimentations aux USA dans les années 1960 et antérieures, est actuellement très généralement utilisée dans le monde scientifique et technique hydrologique. L'application pour la Région wallonne a été développée dans le Projet CARHY pour la partie hydrologique quantitative (Projet CARHY : CARactérisation HYdrologique des bassins versants en Région wallonne, Dautrebande, S. et Mokadem, A.I. et Laime St., 1995) et dans les Projets « Programme-Action-Hesbaye » (Dautrebande,S et Dewez, A., 1996) pour les aspects de contamination diffuse des sols par le nitrate et la modélisation « EPICgrid_PIRENE » pour les aspects sols-bassins versants-risque de pollution diffuse agricole des eaux de surface et souterraines et risque érosif et pertes en sol (Sohier, S. et Dautrebande, S. (2005)). L'infiltrabilité en grand inclut, outre la notion de capacité d'infiltration de base, la notion de limitation de l'infiltration en raison de la saturation progressive des sols.

La formulation Wischmeier intègre en fait explicitement ou implicitement les aspects théoriques vus au Point 2.2.1, tout en apportant une possibilité de quantification utile à l'identification des causes et au choix d'aménagements antiérosifs.

En pratique, il est souvent admis pour A_w que le seuil de 10 t/ha.an (soit environ 0,8 mm de sol par an) est à considérer comme un maximum acceptable ; des valeurs inférieures sont aussi présentées comme maximum recommandé (jusqu'à même 1 t/ha.an), notamment en regard de l'épaisseur disponible de sol meuble et de sa vitesse de renouvellement.

Une rapide analyse de sensibilité du terme « Perte en sol » aux paramètres intervenant dans l'équation USLE est présentée ci-dessous via quelques exemples :

- Effet de la pluviométrie
 - Compte tenu du fait que c'est l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui est en jeu, l'intensité pluviométrique importe plus que sa hauteur : une pluie de 60 mm pendant une heure sera 3 fois plus érosive que ces mêmes 60 mm pendant 24 heures.
- Effet de la texture du sol sur le paramètre K
 - Un sol comprenant 10 à 20 % d'argile et 70 % de « silt » (% de passants entre 2 et 100 microns) est 4 fois plus érodable qu'un sol à même teneur en argile mais comprenant 10 à 20 % de ce silt.
- Effet du paramètre de perméabilité sur le paramètre K
 - Pour les sols fortement érodables, le paramètre de perméabilité (ou infiltrabilité limite, dite « de base ») de la couche de surface modifie la valeur de K (et donc de A_w) dans une proportion d'environ 20 % entre les sols les moins perméables et les sols les plus perméables ; la variation est d'un ordre de 50 % pour les sols moyennement érodables.
- Effet du paramètre « structure de surface » sur le paramètre K
 - Ce paramètre joue dans les mêmes proportions que la perméabilité.
- Effet du paramètre « taux d'humus » sur le paramètre K
 - Le passage d'un taux d'humus de 1% à 2% diminue l'érodabilité du sol de l'ordre de quelque 10% ; précisons également qu'en général un faible taux d'humus sur une parcelle érodée n'est pas une cause mais plutôt une conséquence des effets de l'érosion – la confusion d'interprétation est fréquente. Rappelons encore que ce paramètre est à évoquer distinctement de la question de l'enfouissement de résidus organiques, dont l'effet, favorable, est inclus dans la détermination du paramètre C.
- Effet des rotations et des pratiques culturales (cultures, type de travail du sol, enfouissement de résidus organiques, déchaumage ou non déchaumage avec paille laissée en place²⁸, mulching²⁹, cultures intercalaires³⁰, etc.) (paramètre C de l'équation USLE)
 - L'effet peut être considérable : dans un rapport de 1 à 10 et plus (confer exemple pour la Région wallonne au Point 4.2).
- Effet de la pente (composante du paramètre LS)
 - Une parcelle dont la longueur de 300 m installée sur une pente de 3% perdra une quantité de sol « USLE » 8 fois moins importante qu'installée sur une pente de 10%.

²⁸ À éviter cependant sur les terres pentues ou vallonnées, en raison de l'entraînement des pailles par les eaux de ruissellement et obstructions subséquentes de collecteurs et grilles.

²⁹ Mulching : application en surface du sol de résidus végétaux ou autres non produit sur le site.

³⁰ Hupin, F. et Dewez, A. (2004) « Mieux gérer les cultures intercalaires » Livret de l'Agriculture N°8, Ed. DGA-RW, 33 p.

- Effet de la longueur de pente (composante du paramètre LS)
 - Si on ramène la longueur d'une parcelle de pente 10% de 300 m à 100 m (via l'installation de cultures différentes alternées de façon favorable suivant la pente, ou la réorientation de la longueur de la parcelle, ou le morcellement parcellaire), la perte en sol sera diminuée environ de moitié (mais elle sera quatre fois plus importante que la perte en sol sur une même parcelle de 300 m mais de pente de 3%).

A l'échelle de la parcelle agricole, les facteurs-clés agissant sur l'érosion peuvent donc être résumés comme étant l'intensité, la durée et la fréquence des précipitations, le type de sol, la longueur de pente relative à une même culture et plus encore la pente, les rotations culturales et les pratiques agricoles. Dans nos régions, c'est donc essentiellement l'organisation parcellaire, le couvert du sol (assolements, intercultures, sous-semis, bandes alternes,...), la nature et l'intensité du travail du sol, la nature et l'alternance des cultures suivant la pente, qu'il importe de gérer de façon appropriée pour une situation sol/topographie/climat donnée.

Les mesures telles que les bandes enherbées en bordure de parcelle, les bassins de sédimentation, et autres mesures destinées à favoriser le dépôt des sédiments, sont des palliatifs car ils ne corrigent pas le processus d'érosion (en amont) mais visent à minimiser leur transport vers l'aval et les dommages associés.

Toutes ces mesures ne sont en outre efficaces que pour autant que des conditions hydrauliques rigoureuses d'installation et d'entretien soient respectées (confer Synthèse par Dautrebande, S., 2003, et le Livret Agriculture n°12² (2006)).

Il importe d'ajouter cependant que le plus souvent, c'est tout un (petit) bassin versant qui est « responsable » des cas les plus dommageables : en cause non seulement le milieu naturel - sol, topographie, talweg – et le parcellaire agricole, mais aussi des faits de voiries (exemple en Figure 9), de fossés supprimés, de têtes de cours d'eau voûtés, et autres « urbanisations » (confer Synthèse Dautrebande, S., 2003). Ceci met en exergue la nécessité d'agir à l'échelle du (petit) bassin versant et non seulement à l'échelle de la parcelle agricole, et ce, en concertation avec tous les acteurs du territoire.

Line N°	Cover, crop sequence, and anagement ¹	Spring residue ²		Cover after plant ³		Soil loss ratio ⁴ for cropstage period and canopy cover ⁵							
		Lb	Pct	Pct	Pct	F	SB	1	2	3:80	90	96	4L ⁶
CORN AFTER C, GS, G OR COT IN MEADOWLESS SYSTEMS													
<i>Moldboard plow, conv till :</i>													
1	RdL, sprg TP	4,500	-	31	55	48	38	-	-	20	23		
2		3,400	-	36	60	52	41	-	24	20	30		
3		2,600	-	43	64	56	43	32	25	21	37		
4		2,000	-	51	68	60	45	33	26	22	47		
5	RdL, fall TP	HP ²	-	44	65	53	38	-	-	20	-		
6		GP	-	49	70	57	41	-	24	20	-		
7		FP	-	57	74	61	43	32	25	21	-		
8		LP	-	65	78	65	45	32	26	22	-		
9	RdR, sprg TP	HP	-	66	74	65	47	-	-	22	56		
10		GP	-	67	75	66	47	-	27	23	62		
11		FP	-	68	76	67	48	35	27	-	69		
12		LP	-	69	77	68	49	35	-	-	74		
13	RdR, fall TP	HP	-	76	82	70	49	-	-	22	-		
14		GP	-	77	83	71	50	-	27	23	-		
15		FP	-	78	85	72	51	35	27	-	-		
16		LP	-	79	86	73	52	35	-	-	-		
17	Wheeltrack pl, RdL, TP ⁸	4,500	-	-	31	27	25	-	-	18	23		
18		3,400	-	-	36	32	30	-	22	18	30		
19		2,600	-	-	43	36	32	29	23	19	37		
20		2,000	-	-	51	43	36	31	24	20	47		
21	Deep off-set disk or disk plow	4,500	10	-	45	38	34	-	-	20	23		
22		3,400	10	-	52	43	37	-	24	20	30		
23		2,600	5	-	57	48	40	32	25	21	37		
25	No-till plant in crop residue ⁹	6,000	95	-	2	2	2	-	-	2	14		

Figure 8 – Mode de calcul du paramètre C (extrait partiel du calcul de C), version originale Wischmeier (1978) (non inclus à ce stade de calcul la pondération avec la distribution intra-annuelle de l'érosivité des précipitations).

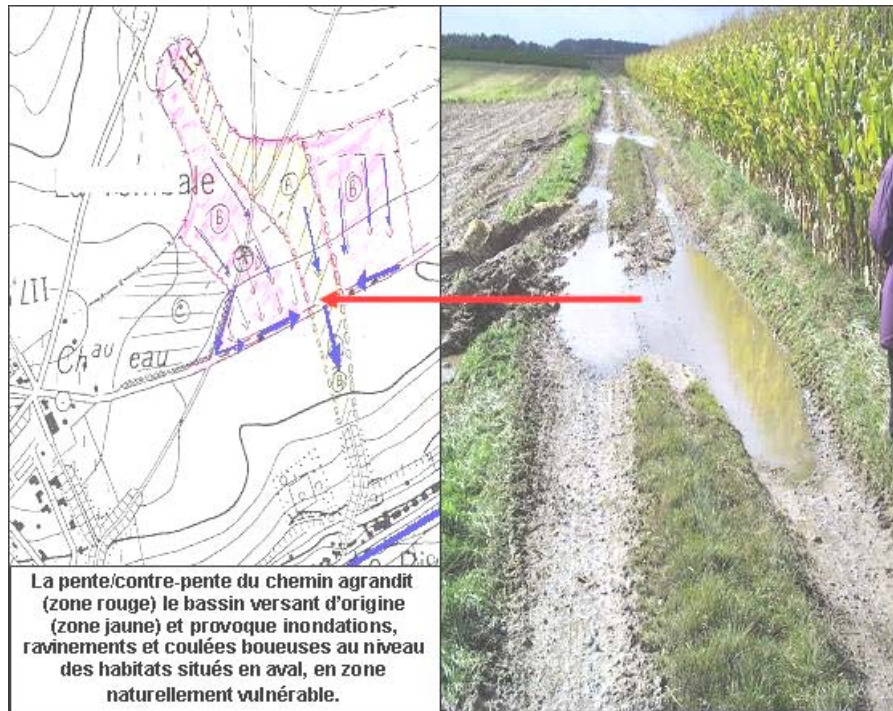


Figure 9 - Exemple d'accroissement du ruissellement sur le champ en aval, du fait de la voirie agrandissant le bassin versant d'apport (photo S. Dautrebande).

2.4.2.2 La production en sédiments

L'équation MUSLE (Williams, J.R. et Berndt, H.D. (1977)) se présente souvent sous la forme suivante, pour un évènement pluvieux donné sur un bassin versant:

$$SY = 11.8 \cdot (Q \cdot q_p)^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P_w \cdot L_v S \quad (2)$$

avec SY : production en sédiments d'un évènement particulier,
Q : volume de ruissellement consécutif à l'averse (m³),
q_p : débit de pointe (m³/s),
L_v : longueur de versant,

les autres termes (K, S, C, P_w) étant ceux définis dans l'équation USLE (équation 1).

Nombre de variantes permettent de tenir compte de la topographie du bassin versant ou de la succession des évènements pluvieux (par exemple Williams et Berndt, 1977, tel qu'adopté pour le modèle EPICgrid), de pentes irrégulières (Foster, G.R. et Wischmeier, W.H. (1974)), etc.

Compte tenu de ce que la relation MUSLE est empirique et basée sur des observations à l'exutoire de bassins versants, l'évaluation inclut aussi implicitement la production de sédiments issus des ravinements.

2.4.3 Matière organique, nutriments, pesticides

En ce qui concerne les nutriments et pesticides agricoles diffus relatifs aux eaux de surface, on se limitera à citer ici les approches d'évaluation suivantes produites au niveau belge³¹ qui incluent ces aspects:

- les approches de nature statistique, tels SENTWA (nutriments)³² et SEPTWA (pesticides)³³ à l'échelle annuelle (exemple de validation pour la Dyle de SEPTWA, notamment *in* : Beernaerts, S. et al, 2005).
- les modèles à base physique (tel EPICgrid³⁴), incluant la simulation hydrologique et celle des flux d'azote, phosphore et pesticides (diffus ou dispersé) et de matières organiques fixées sur les sédiments.

Pour l'azote, on se référera au Fascicule précité; pour le phosphore associé au ruissellement de surface et aux particules de sol érodées, dont la production globale pour la Région wallonne a été estimée par le modèle EPICgrid (confer Point 4.4), on montre à titre d'exemple en Figure 10 le cycle du phosphore tel qu'il est inclus dans ce modèle.

³¹ Au niveau européen, il existe un projet en cours, de comparaison de modèles appelé FOCUS (« Forum for Co-ordination of pesticide fate models and their Use » (<http://viso.ei.jrc.it/focus/>)).

³² Pour développements, confer notamment: Vanderheyden, V. et Scokart, P. (1997) « Quantification pour les eaux de surface de Wallonie, des apports en nutriments issus de l'activité agricole » Rapport I.S.0.- I.R.C., Tervuren, Min. Classes moy. et Agriculture; 81 pages.

³³ SEPTWA : "Systems for the Evaluation of Pesticides Transport to surface Waters".

³⁴ Approche similaire (le modèle Swat a le même noyau "EPIC" que EPICgrid) : Holvoet, K., van Griensven, A., Seunjens, P., Vanrolleghem, P.A., (Gent Univ. et VITO) "Hydrodynamic modelling with soil and water assessment tool (SWAT) for predicting Behaviour of Pesticides », In: *Proceedings 2nd IWA Young Researchers Conference*. Wageningen, The Netherlands, May 3-4 2004; aussi *in* : http://www.brc.tamug.edu/swat/3rdswatconf/PDF/Session_II/Holvoet.pdf.

Pour les exportations de pesticides diffus agricoles vers les eaux de surface, le modèle EPICgrid (par exemple) tient compte suivant les modes d'application du pesticide de facteurs d'interception (par la végétation), des processus de biodégradation, d'adsorption et autres, liés aux effets du ruissellement de surface et de transfert dans le sol (Figure 11). Il paraît donc apte à fournir des éléments d'information (par bassin hydrographique, par région,...) au système d'indicateurs de risque POCER-PRIBEL³⁵ créé pour les pesticides au niveau fédéral (Pussemier, L. et Steurbaut, W., 2004 ; Maraite, H. et al, 2004 ; Vagenende, B., et al., 2005), et dont nous exposons sommairement ci-dessous le mode de calcul pour ce qui concerne la partie érosion et ruissellement.

Soient :

- PCOW = concentration moyenne annuelle en pesticide s'écoulant vers les eaux de surface, en g/l = (APESUW/rainfall*SPR);
- « rainfall » = précipitation moyenne annuelle en mm (780 mm par défaut) ;
- SPR = pourcentage d'écoulement³⁶ d'eau de surface par rapport aux précipitations, pris standard dans les bassins belges et égal à 0,333 ;
- APESUW = quantité annuelle de pesticide potentiellement exportable vers les eaux de surface = pertes directes + somme des quantités relatives à la dérive (atmosphérique) vers les eaux de surface, au ruissellement³⁷ et aux flux d'eau hypodermique et de drainage ;
- Pertes directes = 0,005*AR, avec 0,005 = coefficient exprimant le taux de pertes par rapport à la quantité appliquée;
- AR = quantité de pesticide appliquée, en g/ha;
- drift (retombée dans les eaux de surface par dérives atmosphériques) = dc*AR avec dc = 0,0001 pour une pulvérisation au sol et 0,0005 pour une pulvérisation sur les végétaux (dc = coefficient exprimant le taux de pertes par rapport à la quantité appliquée) ;
- pertes par ruissellement et érosion = 0,004*DRS, avec DRS = Dose de pesticides atteignant le sol = AR – pertes directes – dérive – (1 – interception par les plantes (fonction culture et date)), et 0,004 coefficient de perte par ruissellement et érosion pour la parcelle agricole (autres coefficients pour les arbres fruitiers);
- pertes par flux hypodermiques et de drainage = dh. DRS avec dh = 0,0001 pour GUS < 3 ; 0,001 pour 3 < GUS < 4 ; 0,001 pour 4 < GUS < 4,5 ; 0,1 pour GUS > 4, 5) ;
- CRR = rapport superficie culture/rivière = 0,01 pour la Belgique ;
- GUS = paramètre fonction des caractéristiques du pesticide (DT50, durée de demi-vie liée à la dégradation du pesticide et Koc, constante d'adsorption- désorption, pour le pesticide considéré);
- BFI³⁸ = proportion de l'écoulement du cours d'eau non directement reliée aux précipitations, prise égale à 0,50;

³⁵ Système PRIBEL d'indicateurs : confer Annexe de l'Arrêté royal du 22 février 2005 relatif au premier programme de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides (M.B. 11.03.2005).

³⁶ La valeur attribuée à ce terme ne correspond pas au ruissellement de surface, il s'agit d'un ordre de grandeur (approximatif – confer Rapport EPICgrid_Pirene) du taux d'écoulement total annuel du cours d'eau par rapport à la pluviosité annuelle.

³⁷ Il s'agit ici du ruissellement de surface.

³⁸ Hypothèse considérant que les apports par les eaux souterraines sont négligeables.

- $PEC_{\text{aqua org}} = PCOW * (1 - BFI)$.

$PEC_{\text{aqua org}}$ est la concentration moyenne annuelle du pesticide dans les eaux de surface.

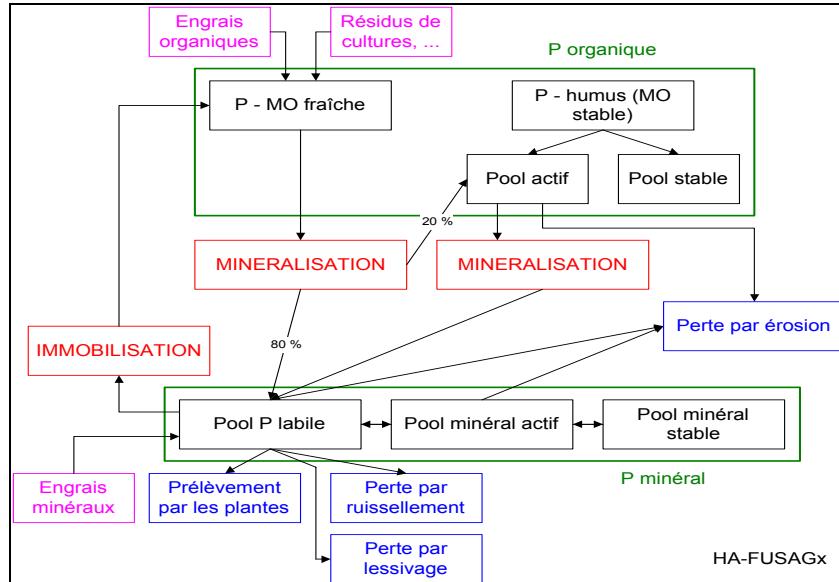


Figure 10 – Le cycle du Phosphore dans le modèle EPICgrid.

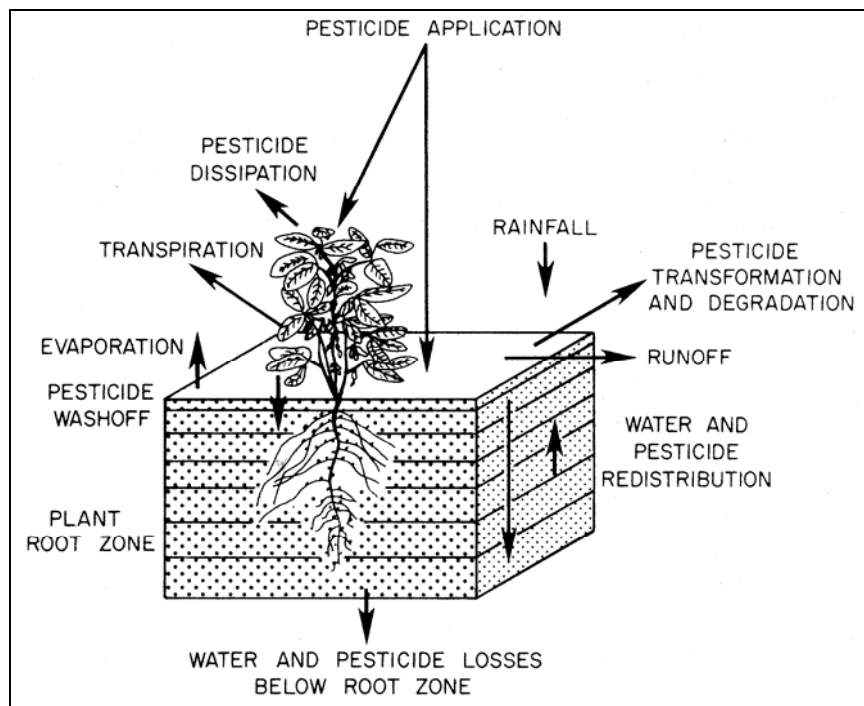


Figure 11 – Représentation schématique des processus liés aux pesticides diffus agricoles décrits dans le modèle EPICgrid.

3 La notion de Risque

L'érosion des terres est surtout perçue comme un problème en raison des dommages symptomatiques qu'elle occasionne à court terme, c'est-à-dire les coulées et dépôts boueux en aval de terres ou les dépôts de sédiments dans les cours d'eau; cependant la perception de dommages à la parcelle elle-même n'est pas négligeable non plus, bien que les effets sur la fertilité des sols relèvent plutôt du long terme.

La perception du dommage et de son importance peut être différente suivant « l'acteur » concerné : agriculteur, commune avec problèmes de voiries et collecteurs, particulier envahi par les boues, économiste, assurances, etc.

Une importante enquête a été réalisée (Enquête ADALI, confer Point 1.2, Bieters, Ch. et al., 2003) auprès de 352 agriculteurs de la région limoneuse wallonne, qui a montré que 70% d'entre eux déclarent connaître des problèmes d'érosion hydrique ; parmi ceux-ci 95% signalent des conséquences locales importantes et 66% souffrent de conséquences importantes en aval (Tableau 1).

Une enquête auprès des communes est en cours par la DGRNE en ce qui concerne les coulées boueuses et inondations par ruissellement (confer Point 1.2).

Tableau 1 – Synthèse des conséquences « érosion, inondations » évaluées par des agriculteurs de la région limoneuse wallonne (Bieters, Ch. et al., 2003)

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%

Les aspects relatifs aux indicateurs seront examinés au Point 4.4 (Approche DPSIR : Impacts).

3.1 Le Risque de dommages : Principes et Terminologie

En soi, le terme « risque », bien que polysémantique, inclut toujours une notion de danger outre une notion de probabilité d'occurrence (spatiale, temporelle) et une notion d'intensité (Bernier et al. 2000).

En termes de dommages possibles ou prévisibles, **le risque** (en Hydrologie, notamment : Oberlin et al, 1993) se détermine par **le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité**, moyennant les définitions suivantes (Schéma de la Figure 12) :

- **l'Aléa** est un phénomène naturel et lié ou non aux activités humaines, récurrent, d'intensité variable, assorti d'une incertitude tant sur le lieu que sur le moment, la fréquence et l'importance de son occurrence ;

- **la Vulnérabilité**³⁹ caractérise le niveau de dommages prévisibles sur les enjeux ; **les enjeux** sont les intérêts menacés par le phénomène en question, intérêts qui peuvent être de nature économique, environnementale, sanitaire, patrimoniale,...;
- la Sensibilité (ou Susceptibilité ou « Vulnérabilité intrinsèque »³⁹) caractérise le niveau de réactivité du milieu naturel eu égard aux aléas considérés.

En outre, on définit, dans ce contexte :

- **la Zone sensible** comme étant la zone naturellement soumise aux aléas;
- **la Zone exposée** comme étant la zone exposée au risque de dommage.

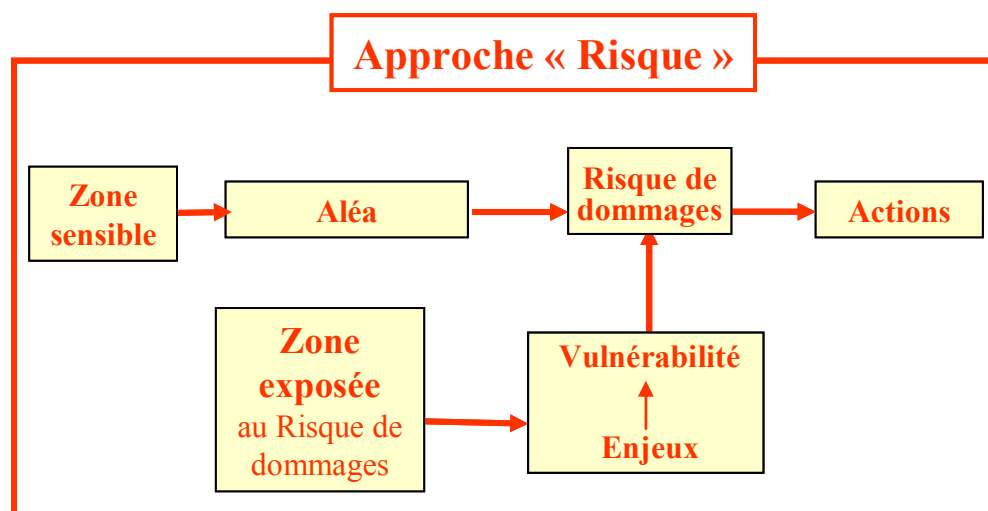


Figure 12 - Schéma d'une approche d'analyse de Risque.

3.2 Application à la problématique de l'érosion

Cinq types de **zones exposées** sont à prendre en considération, eu égard aux dommages précités :

- L'échelle parcelle agricole « On », également **zone sensible** (à l'érosion),
- Le Point noir (« Off »), exutoire d'une parcelle agricole (Figure 13) ou d'un talweg de petit bassin versant (Figure 3)),
- Le cours d'eau ou le plan d'eau exutoire (« Off »),
- L'échelle d'une région agro- ou éco-climatique ou d'un bassin hydrographique « On », également **zone sensible** (à l'érosion).

Les enjeux seront liés au coût des dommages socio-économiques et environnementaux; le classement de vulnérabilité (actuelle ou potentielle) est à établir en conséquence.

Dans le cas des zones exposées « On », **l'aléa** à considérer est le taux d'érosion, caractérisé comme on l'a vu plus haut par la perte en sol. Dans le cas de zones exposées « Off », **l'aléa** à considérer est l'importance des flux boueux.

³⁹ La vulnérabilité est donc liée à l'impact ou risque, et la « vulnérabilité intrinsèque » à l'aléa.

Pour la zone exposée du type « **Point Noir** » (Off), qu'elle soit dépendante d'une seule parcelle agricole ou d'un petit bassin versant, le classement de **vulnérabilité** peut en tout état de cause être effectué en fonction de l'occupation du sol de ce Point noir : zone agricole, type de voirie, fossé, collecteur, habitat. Le classement du **risque** est alors fonction de la vulnérabilité de ce point noir et de l'aléa de production de flux boueux, lui-même dépendant en définitive du classement de risque des zones à risque « On » (parcelle agricole ou bien petit bassin versant).



Figure 13 – Exutoire d'une parcelle agricole soumise à l'érosion diffuse.

Quant à une détermination de la **vulnérabilité** relative aux **eaux de surface** (zones exposées « Off »), elle est à effectuer en fonction des enjeux relatifs à l'état attendu⁴⁰ des plans d'eau et cours d'eau; pour les sédiments, la question reste cependant complexe en raison de la dynamique du transport des sédiments dans les cours d'eau eux-mêmes et des contaminants⁴¹ associés.

En ce qui concerne le **risque** correspondant, on propose parfois de définir un seuil de risque (= seuil d'aléa si classe unique de vulnérabilité) considéré comme critique (seuil d'acceptabilité) SY_{cr} de la production de sédiment SY (confer équation 2) tel que $SY_{cr} = A_{w, cr} / 10$, ce qui revient à admettre que l'on considère que le dixième du risque érosif admissible pour les sols est le risque admissible pour l'état des eaux de surface (exemple : si on considère que $A_{w, cr} = 10$ t/ha.an, alors $SY_{cr} = 1$ t/ha/an).

Pour les zones exposées « On » (parcelle et petit bassin versant), comme elles correspondent également aux zones sensibles, il s'ensuit qu'elles participent aussi bien à un classement d'aléa qu'à un classement de vulnérabilité ; ces zones sont donc aussi les zones à risque (de dommages érosifs).

Pour la parcelle agricole, si l'on prend l'équation USLE de perte en sol A_w de Wischmeier (confer Point 2.4.2), on a en l'occurrence :

- Aléa : $A_w = R.K.C.LS.P$:

⁴⁰ Etat d'une eau de surface : expression générale de l'état d'une masse d'eau de surface, déterminé par la plus mauvaise valeur écologique et de son état chimique (Directive-Cadre Eau 2000/60/CE).

⁴¹ En ce qui concerne le Phosphore, pesticides et les matières en suspension (MES), les critères chimiques et écologiques relatifs à l'état des eaux de surface sont définis (confer la Directive-cadre Eau 2000/60/CE et les Etats des lieux des 15 sous-bassins hydrographiques en Région wallonne, DGRNE, Observatoire des Eaux de Surface (2005)).

- Paramètres de sensibilité (ou susceptibilité) du milieu : S, K;
- Enjeu (intérêts menacés) : fertilité (physique, chimique, biologique) du sol ;
- Classes de vulnérabilité : si on considère que tous les sols ont même enjeu de fertilité quel que soit leur usage, alors tous les sols sont à classer au même niveau de vulnérabilité; il s'ensuivra que les classes de risque correspondent aux classes d'aléa et les seuils de classe de risque seront les seuils de classe d'aléa;
- En fonction de ce qui précède, les seuils de Risque seront des valeurs de A_w considérées comme critiques ($A_{w,cr}$) en termes d'acceptabilité, et la définition des classes de risque A_w sera effectuée en conséquence (voir plus loin classes de risque définies par l'OCDE par exemple); ceci est généralement établi dans l'esprit d'un taux acceptable de renouvellement naturel du sol meuble (fertile) : soit unique, soit fonction de l'épaisseur de sol (exemple : la perte en sol d'1 mm/an est moins dommageable pour un sol meuble épais –« moins vulnérable »- que pour un sol peu épais), soit aussi parfois en fonction des grandes régions climatiques, admettant que le taux de renouvellement naturel du sol meuble et fertile est plus ou moins rapide suivant les climats.
- Indicateur de Risque : $A_w / A_{w,cr}$.

Pour le petit bassin versant, il faut ajouter la superficie A aux paramètres de susceptibilité, et le paramètre L (Longueur de pente de la parcelle) est remplacé par la longueur de pente du versant (terme L_v dans la formulation du rendement en sédiment SY, confer équation 2).

Eu égard à l'enjeu de fertilité des sols, les classes de risque de dommages pour la parcelle agricole (dommages « On ») seront définies en fonction, par exemple, d'un maximum recommandé ($A_{w,cr} = 5 \text{ t/ha.an}$) et d'un maximum toléré ($A_{w,cr} = 10 \text{ tonnes/ha.an}$)⁴².

A l'échelle régionale, l'OCDE⁴³ distingue cinq niveaux de risque caractérisés par des valeurs limites acceptables de la perte en sol moyenne annuelle (perte en sol dite potentielle), soit cinq classes de valeurs A_w :

- Erosion tolérable $\rightarrow A_w < 6.0 \text{ t/ha/an}$ ⁴⁴,
- Erosion faible $\rightarrow 6.0 < A_w < 10.9 \text{ t/ha/an}$ ⁴⁴,
- Erosion modérée $\rightarrow 11.0 < A_w < 21.9 \text{ t/ha/an}$,
- Erosion élevée $\rightarrow 22.0 < A_w < 32.9 \text{ t/ha/an}$,
- Erosion sévère $\rightarrow A_w > 33.0 \text{ t/ha/an}$.

Les niveaux de risque peuvent également être exprimés en termes de pourcentages de superficie agricole utilisée affectée par des pertes en sol relatives à chacune des classes.

Le Tableau 2 présente sous forme résumée les analyses et considérations précédentes. L'application à la Région wallonne est intégrée à l'analyse DPSIR qui suit (Point 4.2).

⁴² Remarque: $10 \text{ t/ha} = \sim 0,8 \text{ mm}$ d'épaisseur de sol.

⁴³ Un Questionnaire est communiqué aux pays membres de l'OCDE (« OECD AGRICULTURAL-ENVIRONMENTAL INDICATORS: SECOND QUESTIONNAIRE », basé sur Volume 4, COM/AGR/CA/ENV/EPOC (2003) 112) ; la Région wallonne, sollicitée en 2005, y a reporté notamment les valeurs des superficies concernées par classes de SY en l'occurrence issues de la simulation du modèle EPICgrid (confer Point 4).

⁴⁴ Les 5 et 10 t/ha.an classiquement repris, avec une « marge d'incertitude » ?

Tableau 2 : Erosion et pertes en sol : Proposition de synthèse des catégories de Zones exposées et de Risque correspondant

ZONE EXPOSÉE	CLASSES DE VULNÉRABILITÉ	ZONE SENSIBLE	ALÉA ÉROSION	INDICATEUR DE RISQUE DE DOMMAGES
(1) Parcelle agricole	Unique (sauf modulation en fonction de l'usage des sols)	S, K de la parcelle agricole	$R.K.LS.C.P = A_w$	$A_w / A_{w,cr}$
(2) Point Noir « Limite de Parcelle agricole »	Classes d'occupation vulnérables en limite de parcelle (zone agricole, type de voirie, fossé, collecteur, habitat)	S, K de la parcelle agricole	Fréquence et importance des flux et dépôts boueux	Fréquence et coût des dégâts/ fréquence et coûts des dégâts acceptables
(3) Point noir « exutoire de talweg »	Classes d'occupation vulnérables au Point Noir » (autre(s) parcelle(s), type de voirie, fossé, collecteur, habitat,...)	Petit bassin versant amont L_v, S, K, A^{45}	Fréquence et importance des flux et dépôts boueux	Fréquence et coût des dégâts/ fréquence et coûts des dégâts acceptables (effet d'inondations incluses s'il y a lieu)
(4) Eaux de surface	Unique ou variable selon une typologie environnementale ou autre ou un usage des eaux de surface (y compris pour les contaminants P, N et pesticides d'origine agricole diffuse)	L_v, S, K, A^{46}	- Production de sédiments SY - Production de contaminants (P, N, pesticides) d'origine agricole diffuse, associés aux particules de sol érodées	- SY/SY_{cr} - Concentration P / seuil(s) acceptable(s) pour le bon état des eaux de surface - Concentration en Pesticide / seuil (s) acceptable(s) pour le bon état des eaux de surface - (Nitrate : confer Dossier « Contamination diffuse agricole »)
(5) Echelle régionale (région ou bassin hydrographique)	(Unique)	Les versants, par région ou par bassin hydrographique	A_w	$A_{w,v} / A_{w,cr}$

⁴⁵ A = Superficie du petit bassin versant amont.

⁴⁶ A = Superficie du bassin versant hydrographique.

4 Analyse DPSIR

Dans un contexte d'analyse environnementale, l'approche DPSIR est un cadre conceptuel recommandé par l'Etat de l'Environnement wallon (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2005) ainsi que par les instances européennes et internationales (notamment références^{47,48,49,50,51,52,53}).

Cette approche permet une organisation de l'information existante sous forme d'indicateurs tant au niveau du système concerné que des politiques (réglementations et autres), mettant en évidence les liens de causes à effets en relation avec les modalités de solutions dans une perspective de durabilité environnementale ; le but est *in fine* l'élaboration de mesures ciblées, la mise en œuvre de programmes de surveillance appropriés, l'élaboration ou la révision de normes et critères appropriés.

Comme annoncé en Introduction, l'application relative à la Région wallonne (y compris l'aspect Risque) est développée dans le présent Point 4.

4.1 Principes

Outils d'évaluation ou de performance environnementale, les indicateurs DPSIR se doivent d'être :

- applicables à une échelle spatio-temporelle adéquate,
- utilisables pour la mise en œuvre de politiques opérationnelles à l'échelle nationale ou régionale,
- quantifiables pour le suivi et l'évaluation des effets des politiques,
- capables de définir l'état du système concerné et être suffisamment sensibles aux modifications du système,
- basés autant que faire se peut sur l'existant en matière de sources d'information (observations et bases de données, statistiques, modèles mathématiques ou statistiques, bilans, etc.),
- relativement standards (importance de référentiels) et permettant des comparaisons entre régions,
- scientifiquement fondés tout en restant synthétiques et de complexité aussi limitée que possible.

Les composantes de l'approche DPSIR sont les suivantes (Figure 14) :

⁴⁷ OCDE (1999 à 2001) « Indicateurs environnementaux pour l'agriculture » (plusieurs volumes), www.oecd.org/agr/env/indicators.htm.

⁴⁸ EEA (2003) « Assessment and reporting on soil erosion- Background and workshop report » prepared by Gobin A., Govers G., Jones R., Kirky M., Kosmas C., ; project manager : A. M. Gentile, 103 pages.

⁴⁹ OCDE (2004) « Indicateurs clés d'environnement de l'OCDE », Direction de l'Environnement, Paris, France, 36 pages.

⁵⁰ Gobin, A., Jones, R., Kirby, M., Campling, P., Govers, G., Kosmas, C., Gentile, A.R. (2004) « Indicators for pan-european assessment and monitoring of soil erosion by water » *Env. Sc. & Policy* 7 , 25-38.

⁵¹ EU Directorate – General Env., Soil Thematic Strategy (2004) : Working groups on soil erosion & executive summary; Draft Final Reports and Final Reports, EU Directorate –General Env., Soil Thematic Strategy.

⁵² Segnestam, L. (2002) « Indicators of Environment and Sustainable Development – Theories and Practical Experience » The World Bank Environment Department, 61 pages.

⁵³ EEA (2005) « Agriculture and environment in EU-15 – the IRENA indicator report » n° 6/2005, 128 pages.

- D = Driving forces = Forces motrices ou directrices
« Les indicateurs de forces directrices se situent à l’amont du phénomène étudié, caractérisant le cadre social et économique (données sur la population, le niveau de consommation,...) ; ces indicateurs varient en général lentement. »
- P = Pressure = Pressions
« Les indicateurs de pressions s’attachent à traduire les pressions sur l’environnement à l’origine des changements d’état des composantes environnementales dans l’espace ou dans le temps. »
- S = State = État
« Les indicateurs d’état permettent d’évaluer l’état d’un compartiment de l’environnement (air, eau, sols, faune, flore et habitats). »
- I = Impacts
« Les impacts (dommages ou risques de dommages) sont les conséquences des pressions et des réponses sur les milieux. Les indicateurs d’impact traduisent le lien entre l’état et ses conséquences dommageables. »
- R= Response = Réponses
« Les indicateurs de réponse mettent en évidence les réactions apportées par la société pour corriger l’état des compartiments environnementaux ainsi que les progrès réalisés lors de la mise en place des politiques environnementales ou ayant un impact sur l’environnement »

Les réponses sont donc les différentes actions (mesures) liées aux activités humaines ; elles peuvent être de nature préventive, curative ou palliative. On distingue :

- des indicateurs d’avancement : par action et/ou par mesure,
- des indicateurs d’efficacité : ils doivent permettre de visualiser l’importance des effets d’une mesure vis-à-vis des objectifs poursuivis.

Le lien entre l’analyse de Risque (Figure 12) et l’approche DPSIR (Figure 14) est schématisé en Figure 15.

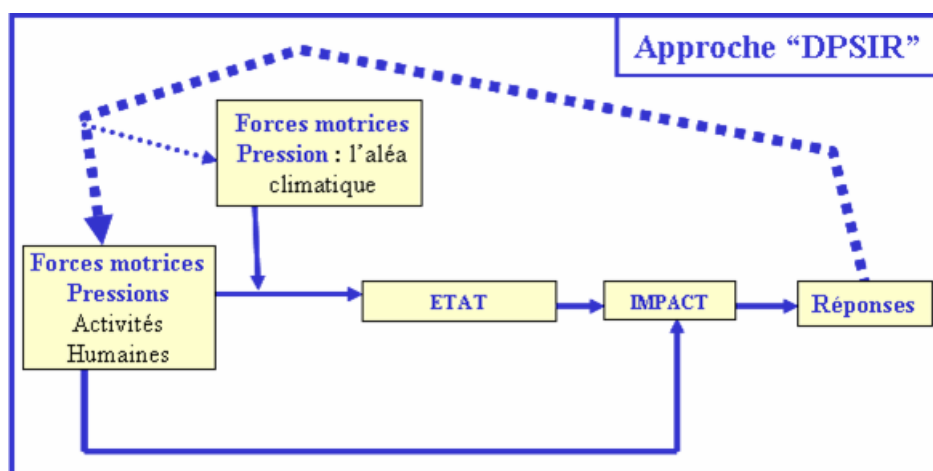


Figure 14 - Schéma relationnel de l’approche DPSIR.

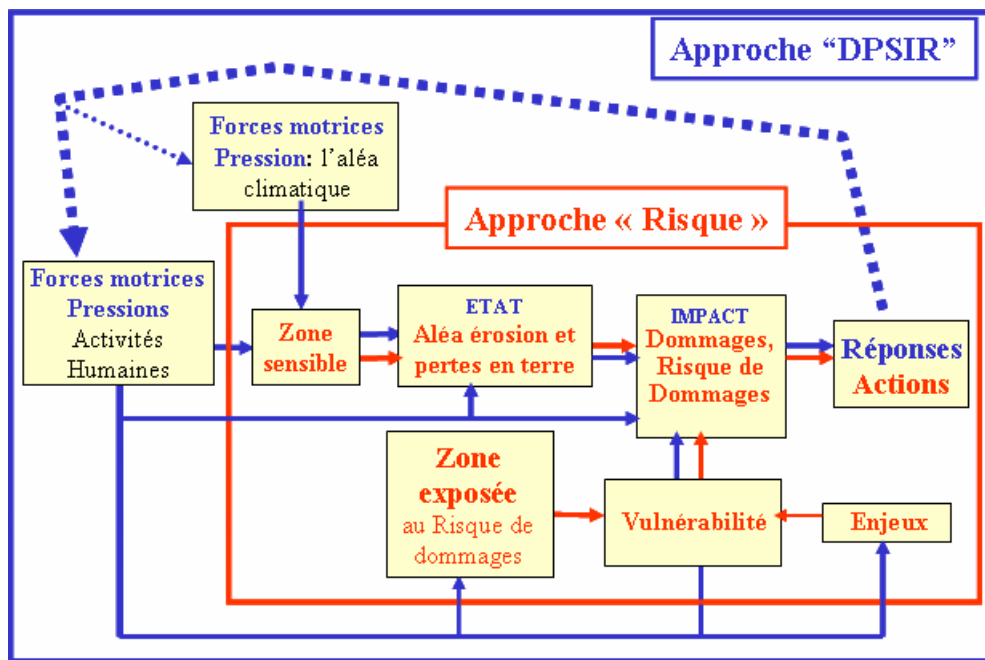


Figure 15 - Intégration de l'approche Risque dans l'analyse DPSIR.

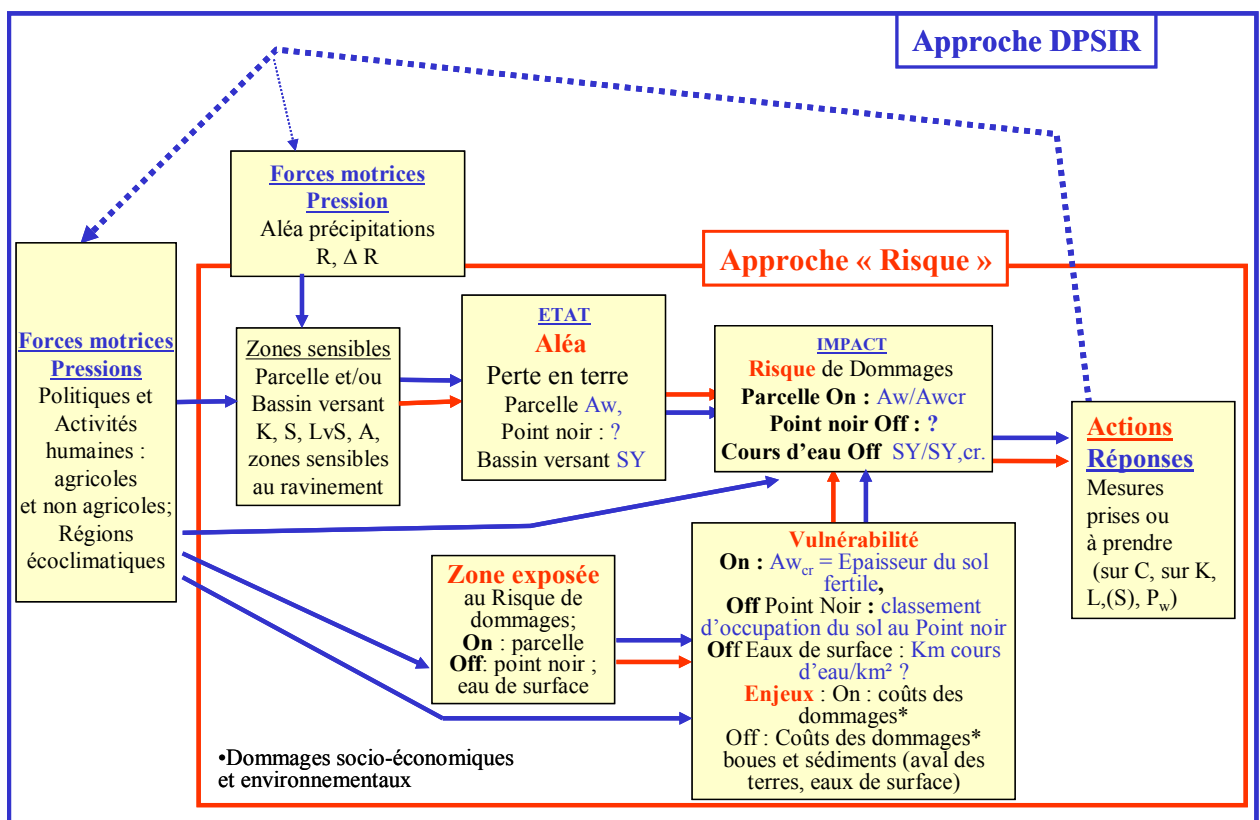


Figure 16 - Intégration de l'approche Risque (en rouge) et de l'approche DPSIR (en bleu).

4.2 Application à la Région wallonne

Ainsi qu'on l'a vu au point relatif à l'analyse du Risque (Point 3), l'approche de type «Wischmeier», empirique mais physiquement fondée, est la plus recommandée et généralisée dans sa forme sinon dans ses concepts, avec de nombreuses variantes il est vrai.

Le résumé est présenté en Figure 16 ; les différents termes seront repris au fur et à mesure de l'analyse DPSIR⁵⁴.

4.2.1 Forces motrices

Les Forces motrices⁵⁵ qui conduisent à une exigence forte en matière d'occupation de l'espace sont (confer TBE 2005) :

- les Politiques agricoles au niveau international ou régional (accords de l'OMC, de l'OCM, réformes de la PAC, ...), l'impulsion donnée à l'agriculture biologique ou au Développement Rural, NATURA 2000 (Figure 17), l'impulsion récente donnée aux cultures énergétiques^{56,57} ou autres (par exemple : colza, chanvre,...), etc.;
- les Politiques tendant à « l'urbanisation » de l'espace (Politiques d'aménagement du territoire, de développement de l'habitat ou des voiries, d'égouttage, etc.) influençant la circulation et l'importance des eaux de ruissellement de surface, ainsi que le dépôt de sédiments dans les cours d'eau.

La présentation et l'analyse d'indicateurs de tendance relatifs à l'ensemble des Forces motrices peuvent être réalisées à l'échelle de la Région agricole ; en effet, les caractéristiques de ces Régions agricoles évoluent lentement, étant donné qu'elles sont encore dominées en priorité par le milieu et le climat (confer Figure 18 a et b, montrant la similitude entre les régions écoclimatiques et les régions agricoles et en Figure 19 les taux de superficies agricoles utilisées (SAU) correspondantes). Rappelons que la délimitation des régions agricoles tient précisément son origine dans un regroupement approprié de sous-régions écoclimatiques (Delvaux et Galoux, 1962 ; Onclincx, *et al*, 1987).

⁵⁴ Dans ce contexte, il apparaît que notamment le Questionnaire COM/AGR/CA/ENV/EPOC (2003) (43) « 112s formalismes USLE/RUSLE » (pour la parcelle agricole) et MUSLE (pour le bassin versant hydrographique) contiennent tous les éléments nécessaires à la définition d'indicateurs P, S, I et R appropriés.

⁵⁵ Notamment : Fons-Esteve, J. et al. (2004) « Pressures & drivers Causing Soil Erosion – Final report » Working Group on Erosion, Task Group 1, EU DG Environm. Soil Thematic Strategy, 25 pages.

⁵⁶ Directive 2003/30/CE du 8 mai 2003, JOL 123 du 15 mai 2003.

⁵⁷ AR du 4 mars 2005 (FI 2401) (Moniteur belge du 8 mars 2005).

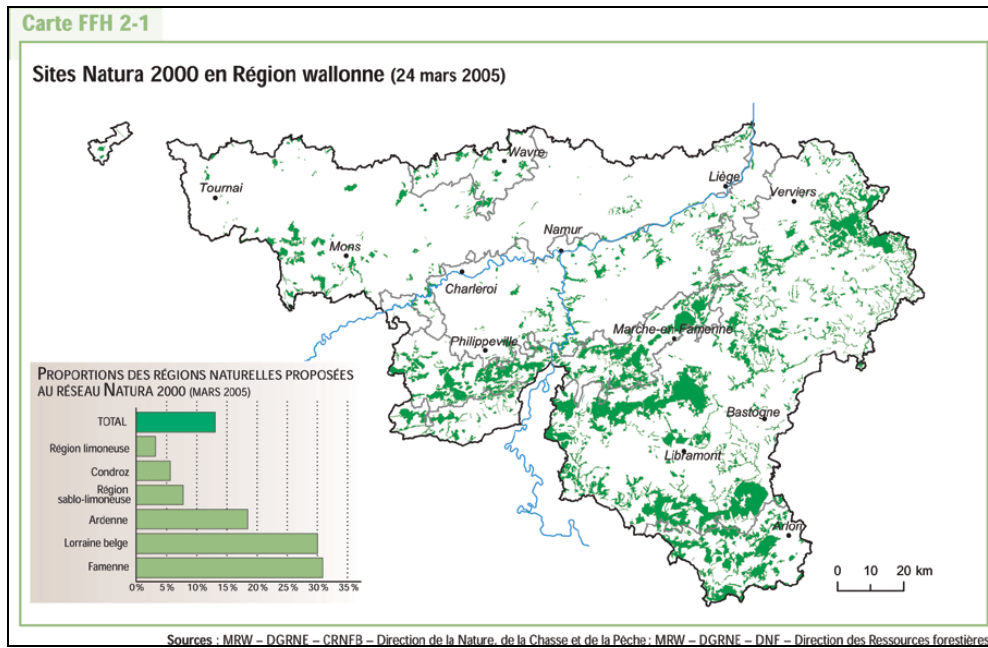
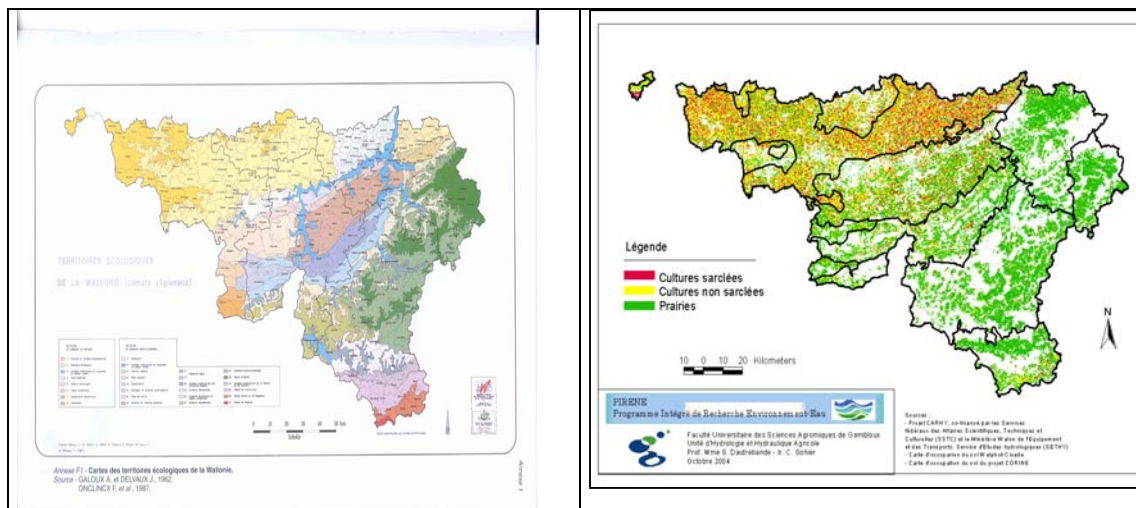


Figure 17 - Carte du réseau Natura 2000 (Graphe MRW/DGRNE/CRNFB) (extrait de TBE, 2005).



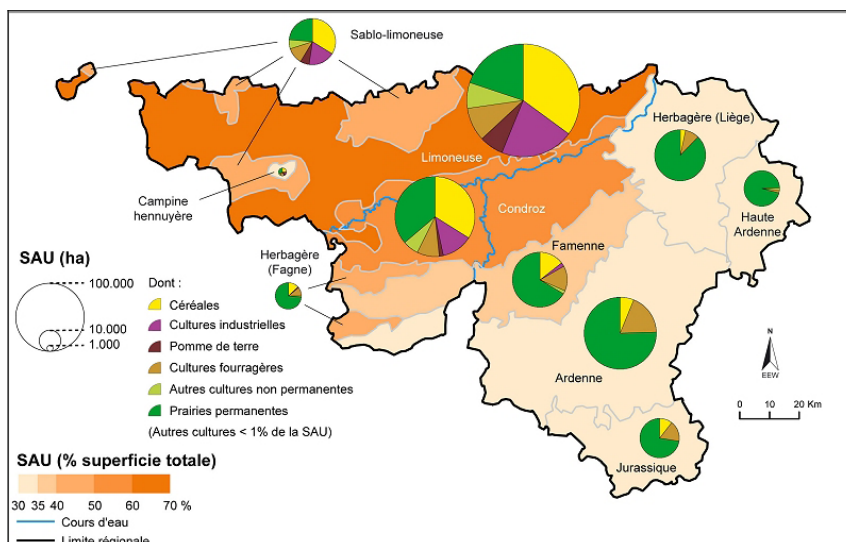


Figure 19 - Surface agricole utilisée (SAU), par région agricole (année 2005) Source : INS (Recensement agricole et horticole) ; réalisation CEEW.

Pour la problématique de l'érosion, les indicateurs d'évolution des Forces Motrices peuvent être de deux ordres (Synthèse en Tableau 3) :

- Pour les Politiques économiques, agricoles, d'aménagement du territoire, environnementales, énergétiques ou autres susceptibles d'influencer globalement l'occupation et la disponibilité en terres ainsi que le zonage des secteurs non agricoles dispersés, on pourra utiliser comme indicateurs d'évolution, sur l'ensemble du territoire de la Région wallonne et par région agricole:
 - le pourcentage de surface agricole utilisée (SAU), le taux de cultures, le taux de prairies,
 - le pourcentage de zones boisées,
 - le taux de cultures liées à une Politique particulière (ex : cultures non alimentaires, cultures énergétiques,...),
 - le taux de superficies imperméabilisées.
- Pour le climat :
 - Les précipitations annuelles.

Tableau 3 : DPSIR « Erosion hydrique diffuse »

INDICATEURS « FORCES MOTRICES » (D)			
FORCES MOTRICES	SECTEURS CONCERNÉS	INDICATEURS SPATIAUX ET/OU TEMPORELS : EVOLUTION PAR RÉGION AGRICOLE*	SOURCE
Politiques économiques (agricoles alimentaires et non alimentaires, (énergétiques, industrielles,...), environnementales, d'aménagement du territoire, d'urbanisation, de développement rural,...	Secteur agricole et forestier	SAU, (%)	INS
		Superficies des cultures, prairies, forêts (ha ou %)	INS
		Superficies de cultures liées à des politiques spécifiques (jachères, colza, chanvre, autres.) (ha ou %)	INS
	Secteur non agricole	Superficies bâties (ha)	INS (sur base des données cadastrales)
Climat (Changements climatiques inclus)	Environnemental	Précipitations pluri-annuelles	- Données de précipitations ponctuelles : IRM - moyennes régionales et par bassin versant hydrographique : - Scenarios interna EPICgrid - scenarios internationaux de changements climatiques
* Les régions agricoles sont en correspondance avec les régions naturelles de Wallonie			

4.2.1.1 L'occupation du sol

En Région wallonne, les terres agricoles (cultures et prairies) couvrent en 2004 une superficie de 883.180 ha⁵⁸ (soit 52,6 % de la superficie de la Wallonie), c.-à-d. 61.700 ha de moins qu'en 1980, la différence s'étant globalement portée au profit de l'habitat (Figure 20, extraite du Tableau de bord de l'environnement wallon (TBE) 2005, www.tbe2005.TERRIT.pdf).

La Figure 21 illustre l'évolution de la SAU (en ha) de 1960 à 2000 ; les données sont celles de l'INS (Institut National des Statistiques)⁵⁹. L'analyse fait apparaître une diminution lente mais constante et non négligeable de la SAU entre 1965 et 1990 ; ensuite on observe une certaine stabilisation (la SAU serait même en très légère augmentation pour certaines régions agricoles).

⁵⁸ Sur base des données cadastrales.

⁵⁹ « Dans le cas de la SAU, un écart de 1300 km² (soit moins 15% par rapport aux données cadastrales...) est observé *-par exemple en 2004* - entre les données cadastrales et les données INS (déclarations des exploitants agricoles) ; selon la Conférence permanente du développement territorial (CPDT), cet écart peut s'expliquer par des différences au niveau des occupations réelles (...), ainsi que des divergences entre le traitement des données par le cadastre et les déclarations des agriculteurs » (*in* TBE 2005, TERRIT). On peut y voir en partie une différence entre la notion de terres agricoles et celle de terres exploitées.

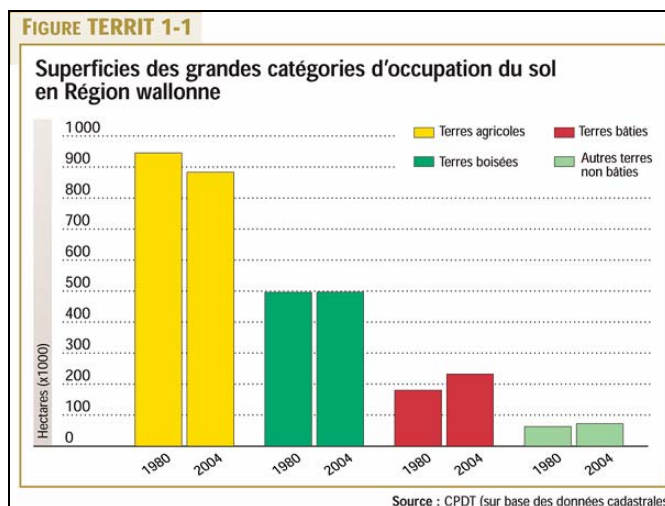


Figure 20 - Evolution des grands types d'occupation du sol (Extrait du Tableau de Bord de l'Environnement Wallon 2005).

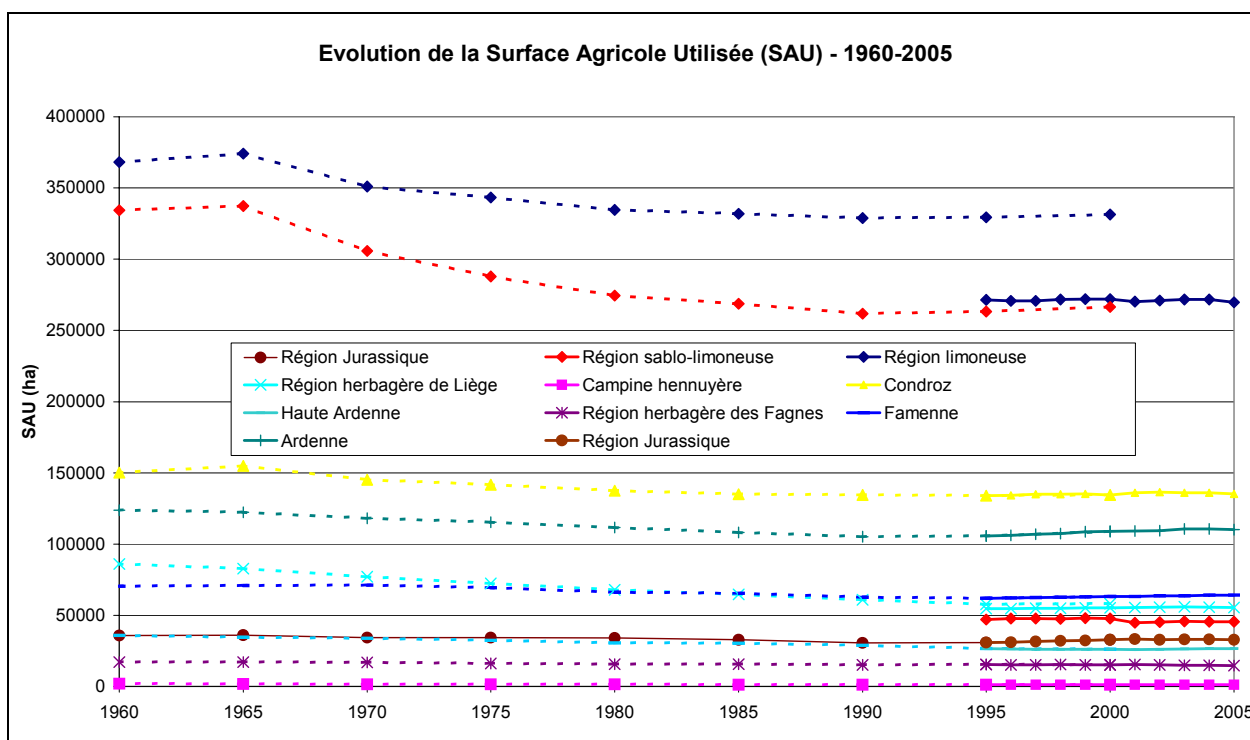


Figure 21 - Evolution annuelle de la SAU par Région agricole (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) (*Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995*) (Source : données INS, Recensements agricoles et horticoles du 15 mai)

Cette évolution est également illustrée en termes de représentation spatiale (Figure 22 et Figure 23) ; on remarquera dans la partie Nord de la Région wallonne la diminution sensible des superficies agricoles et le gain tout aussi sensible des superficies urbanisées.

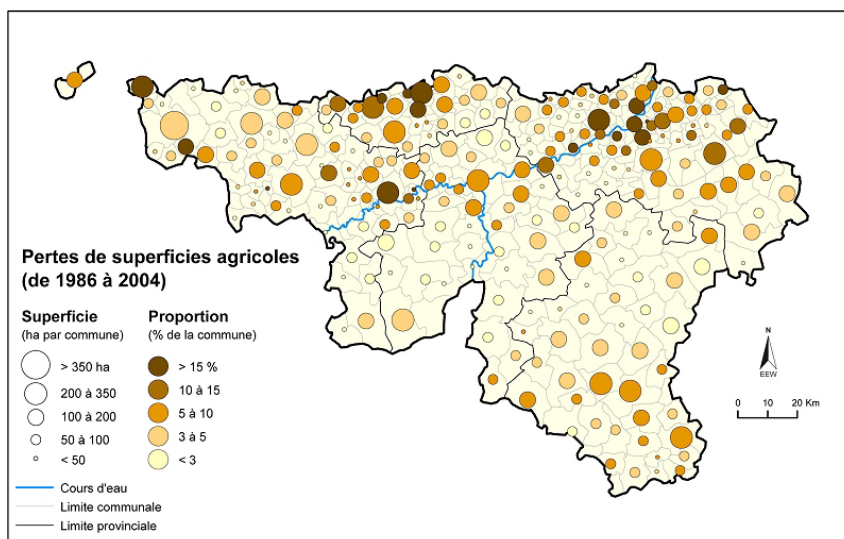


Figure 22 - Pertes de superficie agricole entre 1986 et 2004 en ha ou % de superficie par commune (Réalisation - CEEW) ; Source des données SPF Economie - DGSIE (INS-Occupation du sol - 2004).

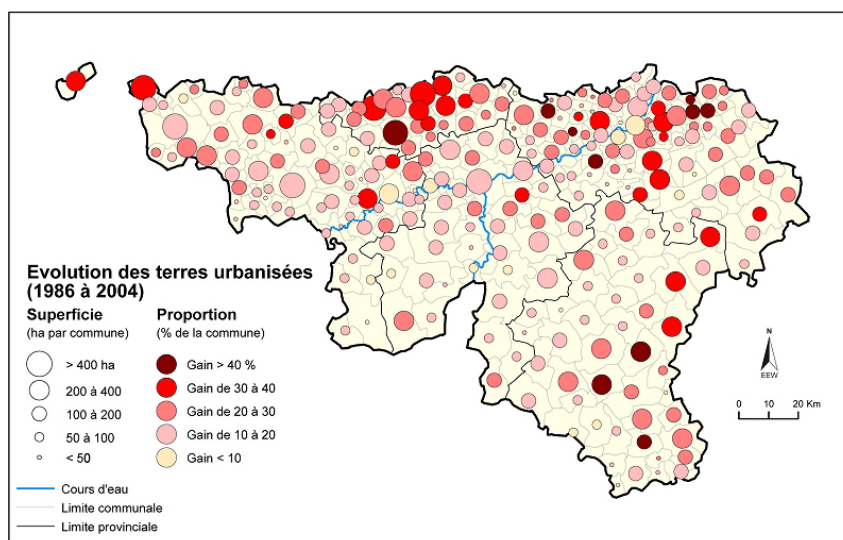


Figure 23 - Gain de superficies urbanisées en ha ou % de superficie par commune (Réalisation - CEEW); Source des données SPF Economie - DGSIE (INS-Occupation du sol - 2004).

L'analyse visuelle en parallèle des Figure 24 et Figure 25 montre les évolutions, non totalement stabilisées, au niveau de l'affectation même des sols agricoles par Région agricole à partir de 1960⁶⁰, indiquant les gains de superficies en cultures et les pertes en prairies (permanentes et temporaires confondues) ; c'est l'inverse pour l'Ardenne. Exprimées en taux de superficie par SAU de Région agricole (Figure 26 et Figure 27) les tendances sont similaires ; dès les années '95, on observe en particulier une forte densité d'occupation du sol en termes de cultures (plus de 70% de la SAU) dans les régions limoneuses et sablo-limoneuses.

⁶⁰ Pour les régions limoneuse et sablo-limoneuse respectivement, il s'agit avant 1995 exclusivement de statistiques relatives à la Belgique.

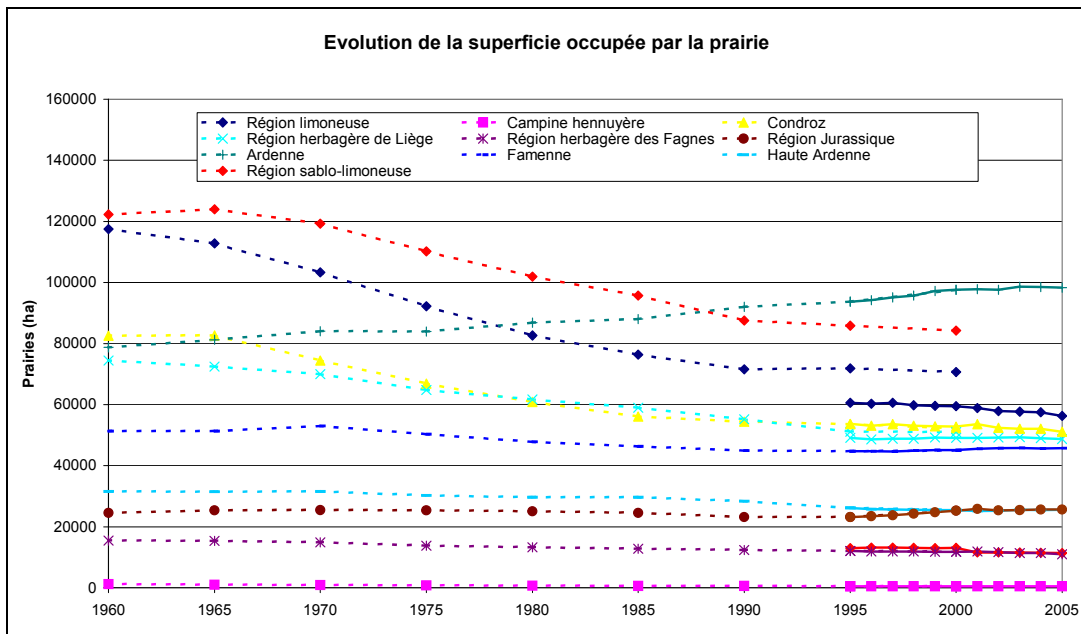


Figure 24 : Evolution par Région agricole de la superficie occupée par les prairies (temporaires et permanentes). (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) (*Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995*) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

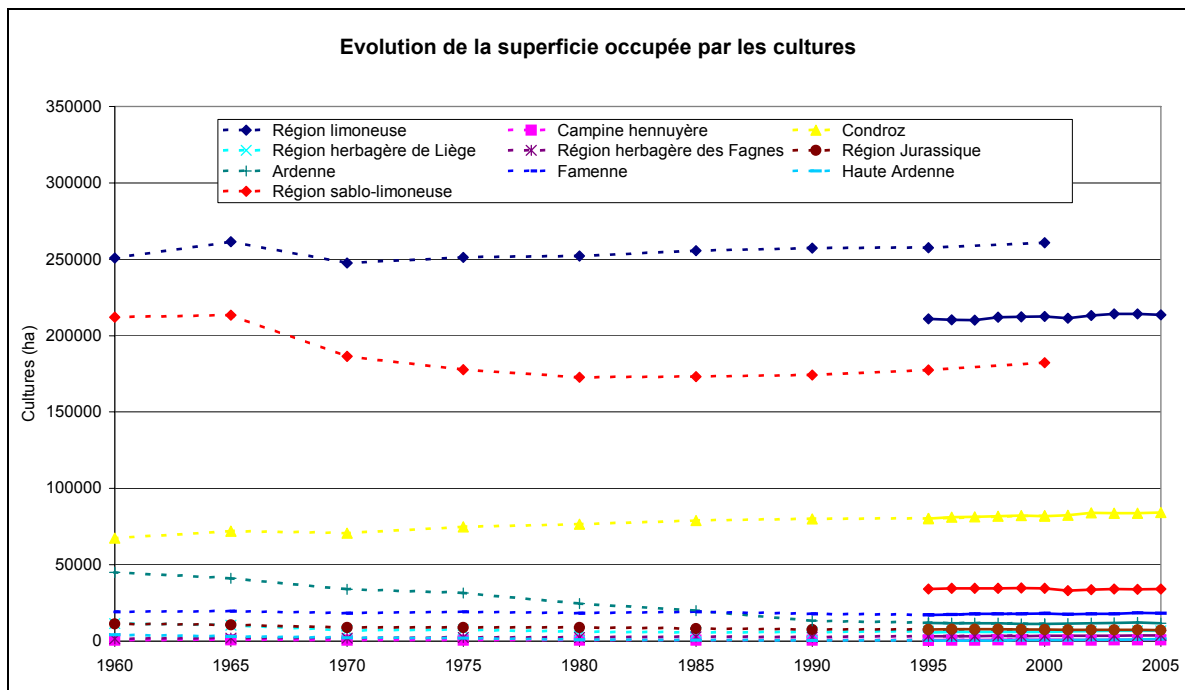


Figure 25 : Evolution par Région agricole de la superficie occupée par les grandes cultures (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) (*Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995*) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

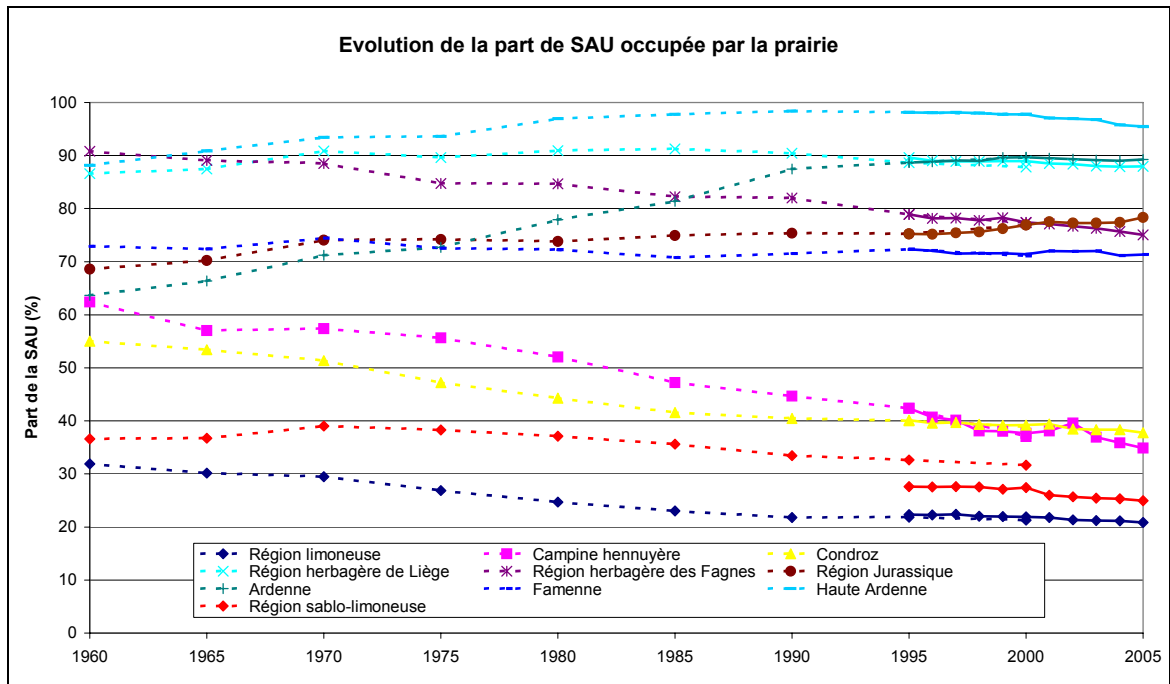


Figure 26 - Evolution par Région agricole de la part de la SAU occupée par les prairies (temporaires et permanentes) (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) (*Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995*) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

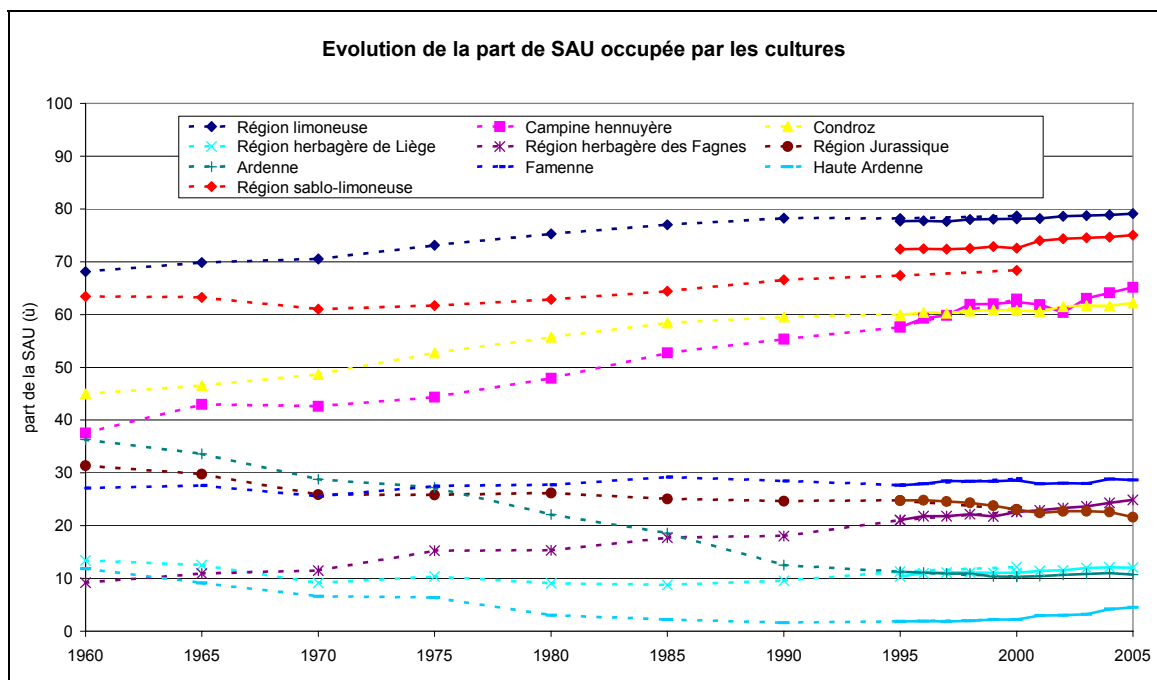


Figure 27 - Evolution par Région agricole de la part de la SAU occupée par les cultures (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) (*Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995*) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

4.2.1.2 Le climat

En ce qui concerne spécifiquement le problème de l'érosion, l'indicateur climatique représentatif en tant que force motrice peut être la tendance pluriannuelle des précipitations annuelles.

La Figure 28 montre l'évolution des précipitations annuelles en trois stations d'observation pluviométriques, sur la période 1950 à 2005; les trois sites indiquent une tendance croissante nette (d'environ 20%) sur la période considérée. Cette tendance peut en toute éventualité être liée à une périodicité climatique pluriannuelle, « normale » si l'on examine la période 1900 -2000 pour le bassin de la Meuse (Figure 29, De Wit, 2001), dont les amplitudes moyennes pourraient apparaître comme croissantes cependant.

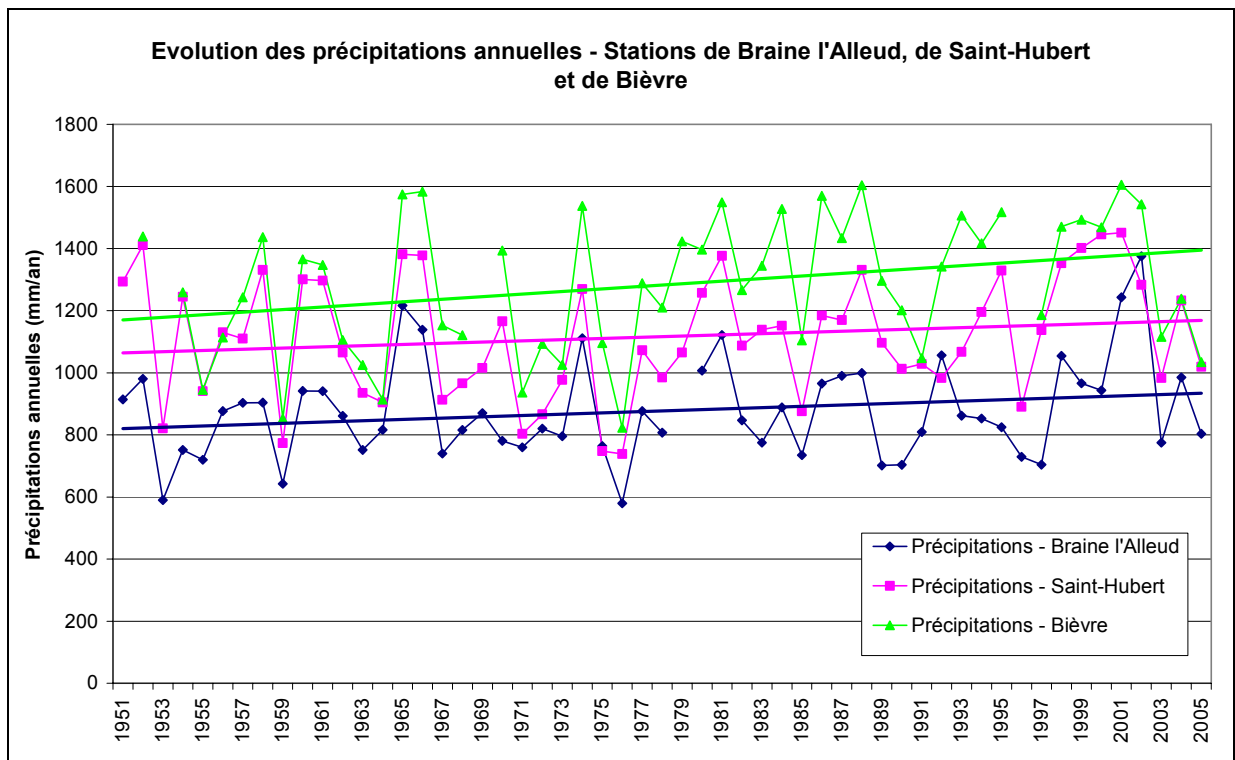


Figure 28 - Evolution des précipitations annuelles à trois stations d'observation en Région wallonne (Indication de tendance par régression linéaire) (Source des données : IRM).

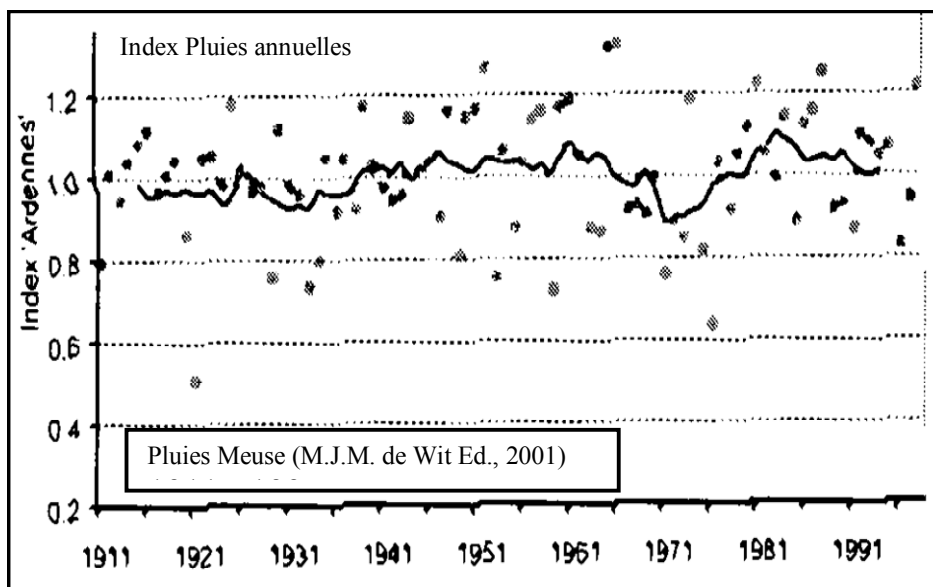


Figure 29 – Evolution de la pluviométrie annuelle sur le bassin de la Meuse (Index), de 1911 à 1995 (E. De Wit, 2001).

4.2.2 Pressions

Les indicateurs de pression caractérisent les paramètres anthropiques et du climat agissant directement sur l'état ou l'aléa considéré, en l'occurrence l'aléa d'érosion A_w d'une part, l'aléa de production de sédiments SY d'autre part (Figure 16).

Le Tableau 4 en résume les composantes, détaillées ci-dessous.

4.2.2.1 Pressions sur l'aléa érosion

L'érosivité des précipitations

L'indicateur d'érosivité R des précipitations (confer 2.4.2) a été établi et traduit pour la Belgique par Laurant, A. et Bollinne, A. (1978) et Bollinne, A. et al. (1980) sous la forme d'une relation entre la valeur de R^{61} annuel et la précipitation moyenne annuelle, sur base de la statistique des intensités de pluie en quatre stations pluviographiques (Uccle, St Hubert, Spa et Florennes) réparties sur 40 années de mesures ; ces valeurs de R varient de 50 à plus de 200 $t.cm^2/ha.h.an$ du Nord de la Région wallonne au Sud (érosivité dans un rapport de 1 à plus de 4...) (Figure 30 pour la Belgique).

La répartition intra mensuelle moyenne de R (nécessaire au calcul du paramètre C de Wischmeier, confer Point 2.4.2) est également fortement variable d'un endroit à l'autre (Figure 31, étude Laurant, A. et Bollinne, A., 1978) et d'une période pluriannuelle à l'autre (confer étude pour Uccle de Verstraeten et al., 2001, cité par Gillijns, K. et al., 2005, à ne pas extrapoler cependant comme telle en d'autres lieux, compte tenu de la variabilité spatio-temporelle importante en Région wallonne telle que précitée).

Considérant cette variabilité du paramètre R en Région wallonne, on comprendra la nécessité de moduler les évaluations du risque érosif en relation avec la pression climatique.

⁶¹ $R = E. I_{30} = 0,27 P - 160$, avec P = pluie moyenne annuelle en mm et R en $t.m^2/ha.h.an$ (ou en $Mj.mm/9,8.ha.h.an$).

Signalons que la modélisation spatio-temporelle EPICgrid utilise les données de précipitations journalières de l'entièreté du réseau pluviométrique de l'IRM ainsi que des informations fournies par l'IRM liées à la statistique régionale des relations intensités (ou hauteurs)-durées-fréquences⁶² des précipitations (dont exemple pour Uccle en Figure 32).

Signalons également que la détermination systématique des relations intensités-durées-fréquence de précipitation a été finalisée cette année 2006 pour l'entièreté de la Région wallonne (Etude IRM et MET-RW).

⁶² Les relations (ou courbes) « intensités-durées-fréquences » sont établies sur base de l'analyse statistique dite des extrêmes (ou des excès) de données pluviographiques (à pondérer par les données pluviométriques) correspondant aux intensités moyennes maximales annuelles de différentes durées ; plusieurs dizaines d'années d'enregistrement sont nécessaires en vue de la représentativité des relations établies pour une station de mesure donnée. Les valeurs issues d'une station de mesure sont à moduler en fonction des superficies considérées (bassin versant ou autre).

Tableau 4 - DPSIR « Erosion hydrique diffuse » : Evolution spatio-temporelle d'indicateurs de Pressions

APPROCHES PARCELLE TYPE USLE/RUSLE LOCALE (ÉROSION PARCELLE OU POINT NOIR PARCELLE) ET RÉGIONALE			
PRESSIONS (ON ET OFF)	PARAMÈTRES	INDICATEURS	DONNÉES SOURCE
Occupation et pratiques agricoles et forestières.	Evolution de l'occupation du sol du parcellaire agricole et forestier, pratiques et phytotechniques associées	Par parcelle : C (Wischmeier) et superficies relatives à C détaillées ou par classe de risque (par exemple : cultures non sarclées/ type sarclé/prairies/forêts et taux de coupe à blanc)	- Statistiques et SIG agricoles et forestières
Dimension des parcelles	Longueur de ruissellement diffus	- Distribution des L(S) parcelle (Wischmeier) - Echelle régionale : L(S) statistique, ou L _v (S) à pondérer s'il y a lieu	- L : statistique et SIG du parcellaire agricole, projet ERRUISSOL ⁶³ - (L _v : MNT (RW, IGN))
Précipitations	Erosivité	R (type Wischmeier)	- IRM et RW
Production de sédiments SY (approches type MUSLE), exutoire de talweg (Point noir) ou de bassin versant hydrographique			
Par bassin versant de talweg ou hydrographique : Pratiques agricoles et forestières, urbanisation (voiries, habitats)	Par bassin versant de talweg ou hydrographique : évolution de l'occupation du sol	Par bassin versant de talweg ou hydrographique : - C (Wischmeier) et superficies relatives à C par classe de risque (par exemple : cultures non sarclées/ type sarclé/prairies/forêts - taux de coupes à blanc	- Statistiques et SIG agricoles et forestières - SIG voiries et habitats - MNT - Projet CARHY - Données DNF
		- Taux de voiries et collecteurs - Taux de superficie imperméabilisée	
Précipitations bassin versant	Erosivité	R (type Wischmeier)	- IRM et RW

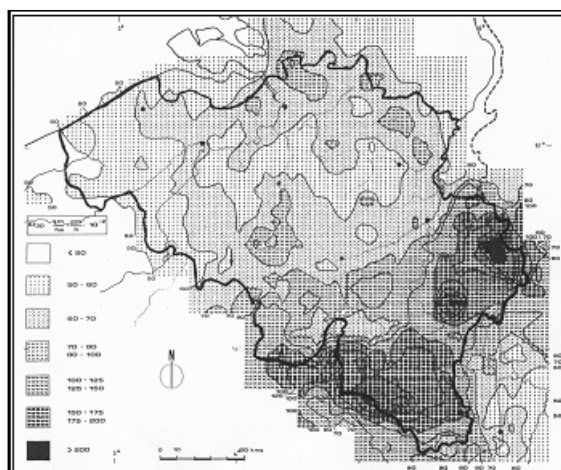


Figure 30 – Répartition de l'érosivité moyenne annuelle des précipitations en Belgique (période 1930-1975) (Bollinne et al. 1980) (t.cm²/ha.h.an).

⁶³ En préparation dans le projet ERRUISSOL (ERosion-RUIssellement- SOL) (2005-2008) (UHAGX, pour la DGA-FUSAGX).

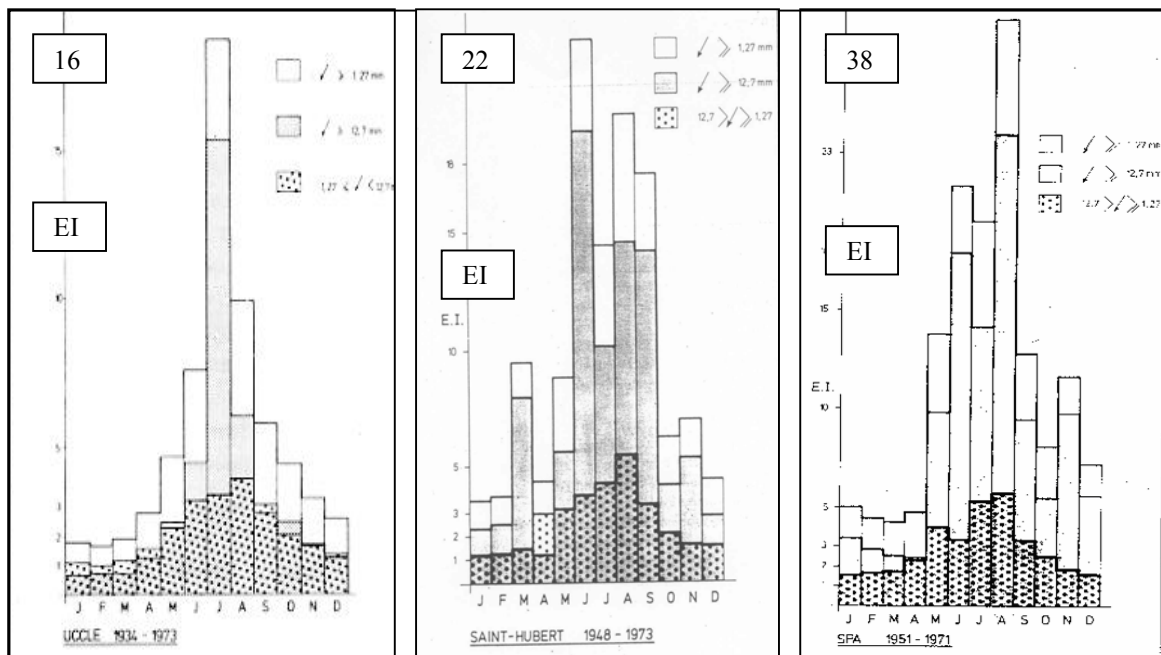


Figure 31 – Comparaison de la répartition de l'érosivité moyenne mensuelle des précipitations (période climatique entre 1930 et 1970) dans trois sites de la Région wallonne (Laurant, A. et Bollinne, A., 1978).

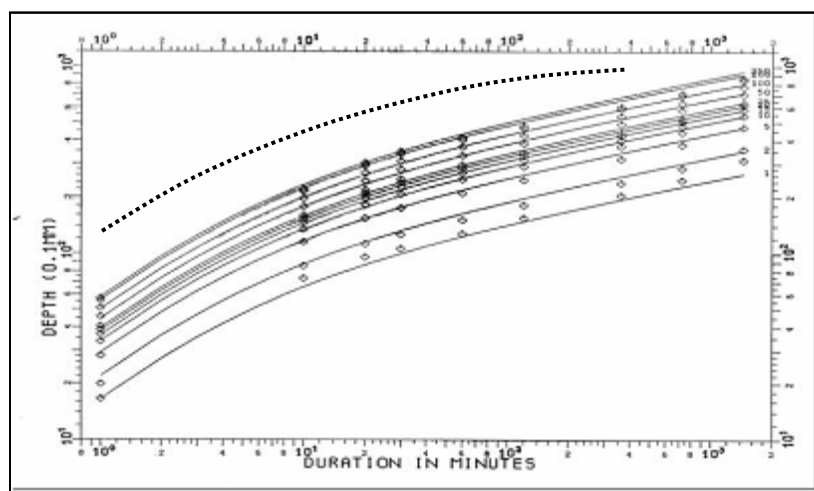


Figure 32 – Courbes Hauteurs- Durées-Fréquences des précipitations à Uccle (Demarée, 1985 -IRM) , plus – (en pointillé) - la « courbe des pluies exceptionnelles pour la Belgique » de Ruthy (1960) ajustée sur des relevés ponctuels occasionnels de précipitations orageuses.

L'indicateur culturel

En ce qui concerne l'indicateur C (confer 2.4.2), rappelons que ce paramètre décrit la densité (spatio-temporelle) de couverture du sol et les pratiques agricoles ayant un effet sur le risque érosif des terres agricoles, soient notamment :

- les rotations culturales et les intercultures,
- l'importance de la biomasse (aussi en relation avec la fertilisation),
- les pratiques culturales (types et dates de travail du sol, dates de semis et de récolte,...),
- l'enfouissement de résidus organiques, les *mulching* éventuels,
- les stades phénologiques de développement des cultures,

- etc.

Pour l'évaluation de ce paramètre (dont la valeur est comprise entre 0 et 1), soit des tables de référentiels existent (confer exemple en Point 2.4.2), soit ces référentiels sont inclus dans les modèles (comme EPICgrid ou autre) ; rappelons qu'il doit être pondéré par la distribution intra-annuelle de l'érosivité des précipitations.

Le couvert du sol

Globalement, plus le sol est couvert, plus l'indice C tend vers 0. Il s'ensuit qu'un premier regroupement des cultures en termes de risque érosif peut être effectué. La méthodologie et le mode de classement ont été mis au point et développé pour la Région wallonne dans le cadre du projet CARHY⁶ (version CARHY2) (Dautrebande, S. et al, 1995) sur base d'une répartition de l'occupation du sol traitée par imagerie satellitaire SPOT et LANDSAT pour la période 1993-1994 ; les groupes suivants ont été différenciés (confer carte CARHY2, Figure 18 b) correspondant :

- aux cultures sarclées ou assimilées⁶⁴ (le mot « sarclé » étant assimilé à « globalement peu couvrant »⁶⁵), à risque érosif élevé en raison de leur faible taux spatial de couvert végétal sur une base annuelle (exemple du maïs : photo de la Figure 34),
- aux cultures non sarclées : à risque érosif moyen,
- aux prairies peu denses à denses, à risque érosif minimal à « nul »,
- aux forêts, similaire aux prairies, sauf de tenir compte du taux de « coupes à blanc »⁶⁶ pour lequel le risque érosif est maximal.

Actuellement, la méthode de classement CARHY est institutionnalisée au niveau de la Région wallonne ; une carte actualisée pour l'année 2005 (par rapport à la Figure 18b, années 1993-1994) du classement cultures type sarclé/type non sarclé/prairies est présentée en Figure 33 (statistiques agricoles de la base de données SIGEC de la DGA-Région wallonne).

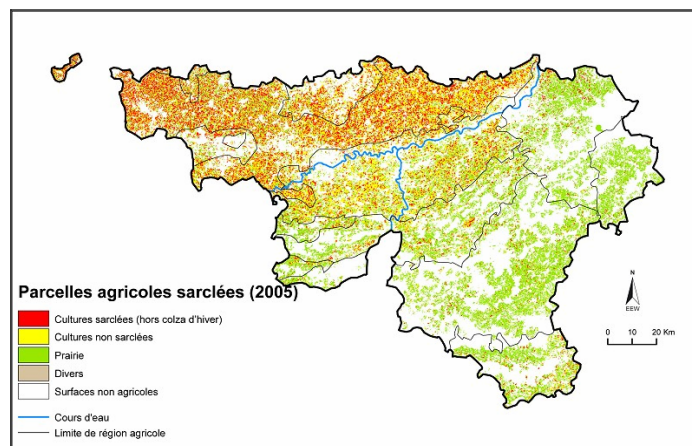


Figure 33 - Classement des cultures « type sarclé/type non sarclé/prairies » pour l'année 2005 (statistiques agricoles de la base de données SIGEC de la DGA-Région wallonne); Réalisation - CEEW.

⁶⁴ Essentiellement : maïs, pommes de terre, betteraves, chicorées, cultures maraîchères de pleine terre.

⁶⁵ La distinction entre « type sarclé » et « non sarclé » a été proposée dans le cadre du projet CARHY (Dautrebande, S. et al, 1996 ; projet SSTC et MET-RW), en vue de différencier des groupes de cultures suivant leur potentiel de ruissellement (confer résultat en Figure 18b.); ce mode de classification est apparu également approprié pour différencier les groupes de cultures suivant leur potentiel de pression eu égard à la problématique de l'érosion (« cultures à risque érosif ») (Dautrebande, S. , 2003).

⁶⁶ Des estimations de l'effet érosif de coupes à blanc est également évaluable via l'approche Wischmeier ; l'effet ne devient quelque peu sensible qu'à partir d'un pourcentage de sol nu atteignant 20% (accroissement de 10% de l'effet érosif) (Dissmeyer, G.E. et Foster G.R., 1979).

Pour ce qui concerne le taux de coupes à blanc (sol dénudé et $C \sim 1$), le Tableau 5 permet de constater que la superficie concernée en Région wallonne est négligeable à l'échelle régionale ; le déboisement non maîtrisé peut cependant occasionner le cas échéant des problèmes importants à l'échelle locale (Photo de la Figure 5 (b)).

Tableau 5 - Estimation des surfaces mises à blanc annuellement (situation actualisée à 2005) (Source : MRW-DGRNE-DNF-Direction des Ressources forestières)

PEUPLEMENTS	SUPERFICIES MISES À BLANC (HA/AN)
Pessières	2700
Autres peuplements résineux	280
Peupleraies	420
Autres peuplements feuillus	460
Total	3860 (soit moins de 1% des superficies boisées)

Outre l'évolution décroissante constatée pour les superficies de prairies (confer Point 4.2.1.1), on observe de façon assez généralisée (Figure 35⁶⁷ une croissance des superficies affectées à la culture de type sarclé⁶⁷, entraînant non seulement des superficies plus et plus souvent dénudées⁶⁸, mais aussi des sols souvent plus « agressés » en surface (états de surface) (confer ci-dessous) pour la préparation des terres en vue des semis ou plantations. La situation est relativement stabilisée ou en voie de l'être depuis les années 1995 ; la spéculation maïs (fourrager) est même plutôt en diminution (Figure 36)⁶⁷, contrairement cependant à la pomme de terre (Figure 37)⁶⁷.



Figure 34 - Culture de maïs (« type sarclé »).

⁶⁷ Ne pas tenir compte des statistiques pour la région sablo-limoneuse avant 1995 (statistiques pour la Belgique).

⁶⁸ Un exemple de l'effet de la variation des spéculations culturales sur le paramètre C est donné en comparant (via simulation EPICgrid) l'aléa Perte en sol Aw relatif à deux rotations culturales différentes, soit 7.5 t/ha.an pour une rotation betterave-froment-escourgeon contre 12.0 t/ha.an pour une monoculture de maïs, moyennes calculées sur la période de 1971 à 2000, pour des parcelles de longueur de pente de 150 m, de pente 4%, et de sol limoneux. On a donc dans ce cas non seulement une augmentation de l'ordre de 60 % mais en outre on dépasse le seuil critique de 10 t/ha.an.

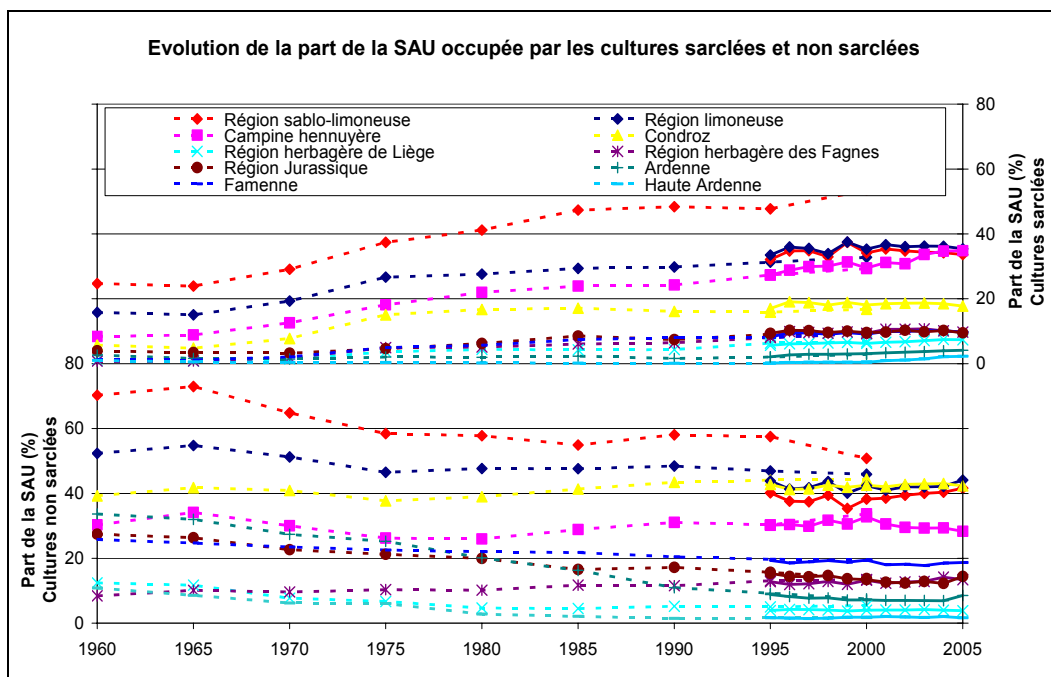


Figure 35 - Evolution par Région agricole de la part de la SAU occupée par les cultures « type sarclé » et non sarclées (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) ((Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

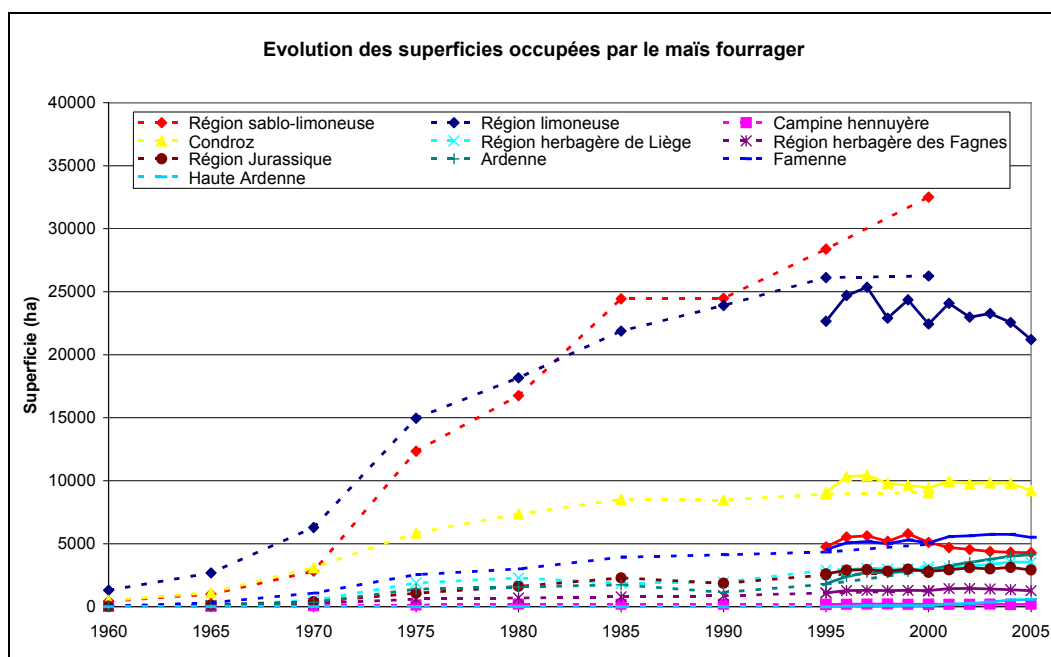


Figure 36 – Evolution par région agricole des superficies occupées par le maïs (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) ((Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

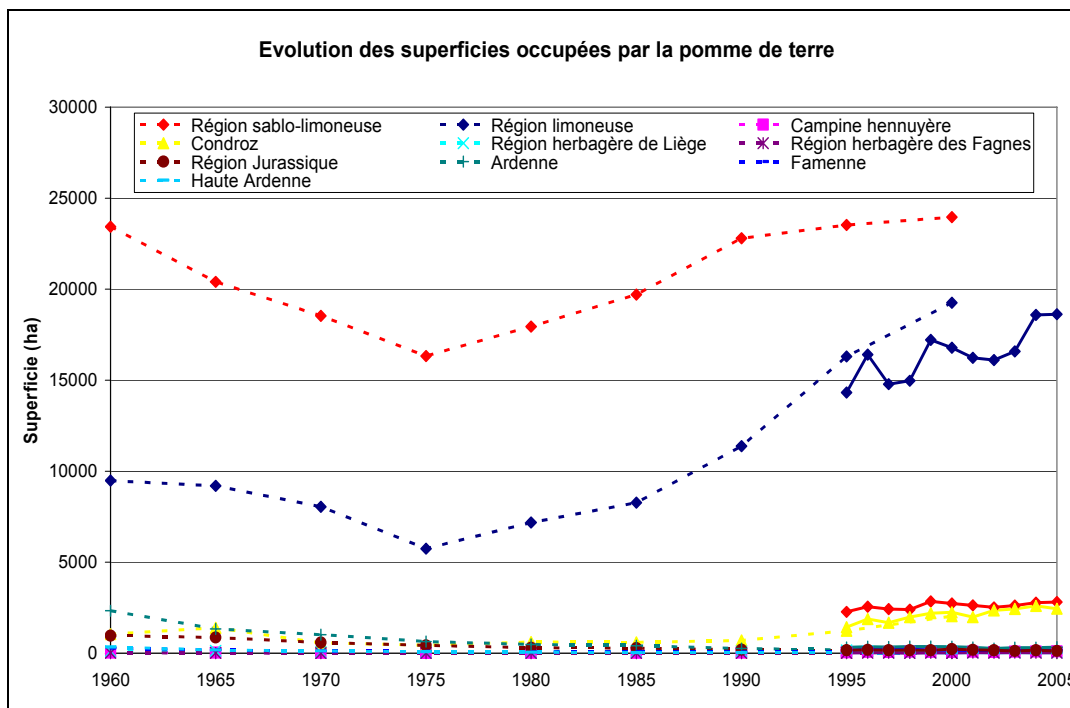


Figure 37 - Evolution par région agricole des superficies occupées par la pomme de terre (Traits discontinus : statistiques nationales ; traits continus : statistiques Région wallonne) ((Région sablo-limoneuse, majoritairement en Région flamande: statistiques belges jusqu'en 1995 ; région limoneuse : statistiques belges jusqu'en 1995) (Source : données INS - Recensements agricoles et horticoles du 15 mai).

Le travail du sol

Ce paramètre intervient dans la modalité de calcul du paramètre C ; le travail excessif du sol de surface (à ne pas confondre avec la modalité labour comme telle), du fait des exigences liées à certaines cultures comme signalé ci-dessus, induit un ameublissement excessif des premiers millimètres de sol (modification de l'état de surface) et de ce fait favorise :

- une saturation et mise en boue (solifluxion) très rapide lors des précipitations,
- la formation de la « croûte de battance », qui diminue l'infiltrabilité d'une part et accélère d'autre part la lame d'eau de ruissellement, en raison de la faible rugosité de surface (surface « lisse »),
- la sensibilité à la compaction lors du passage des machines agricoles, avec accentuation localisée (traces de roues) des effets cités au point précédent.

C'est essentiellement la micro-structure du sol, favorable à sa cohésion (bien que de teneur en eau non utile aux plantes), qui est dégradée au profit, dommageable, de la macroporosité (favorisant une -trop- rapide saturation de la couche de surface) (Exemple d'observation de cet effet en Figure 38 (Dautrebande, S. (2002) in « Rapport final de la Convention d'étude sur l'effet du travail du sol sur les propriétés physiques et mécaniques du sol » CRAGx-UHAGx_FUSAGX ; pour la DGA-RW) .

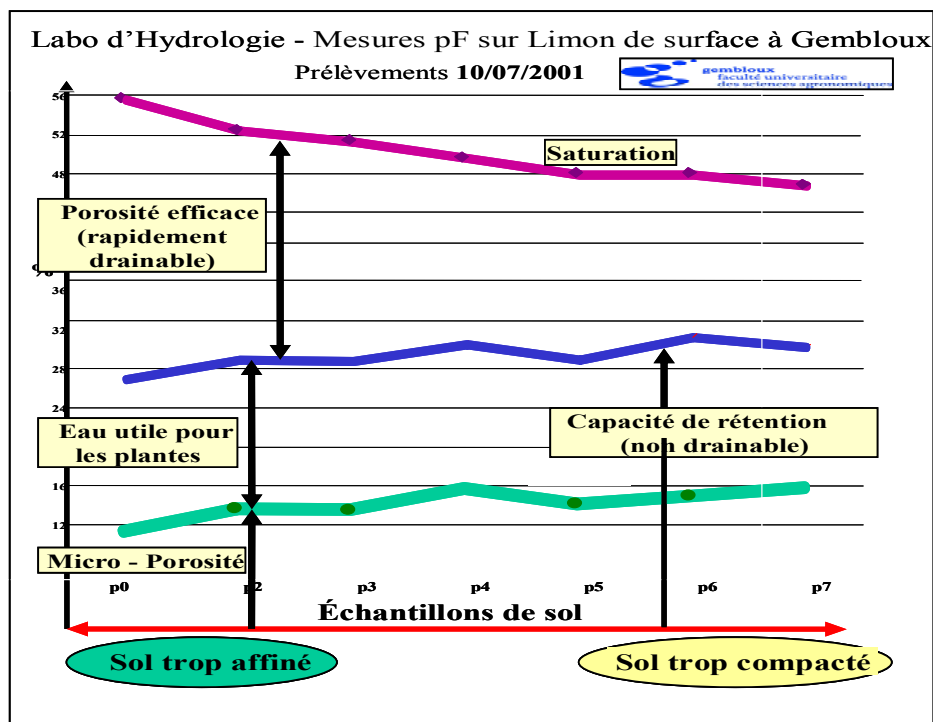


Figure 38 – Evolution des propriétés de rétention du sol de surface (5 cm) en fonction soit de la compaction soit de l'ameublissement – Effet compaction : porosité efficace réduite (infiltrabilité réduite) au profit de la microporosité – Effet ameublissement : microporosité réduite (d'où structure du sol « affaiblie ») au profit d'une macroporosité (« porosité efficace ») accrue (d'où saturation et mise en boue rapides lors des pluies – entraînant flux boueux accrus, croûtes de battance, « lissage » du sol »,... -, compactations locales – traces de roues- facilitées lors du passage des engins agricoles,...).

L'indicateur longueur de pente

La statistique de l'évolution du paramètre longueur de pente L de l'équation de Wischmeier (équation (1)) en fonction de la pente S n'est pas disponible à ce jour⁶⁹ ; remarquons que cette longueur correspond en fait, mieux qu'à la longueur de pente d'une seule parcelle, celle d'une succession de parcelles suivant la pente présentant des cultures de même risque érosif sans interruption hydraulique (fossé, voirie,...).

A l'échelle régionale, le paramètre longueur de versant L_v pourrait suffire comme indicateur, L_v étant le maximum de L , quitte à le pondérer en fonction du taux de parcelles occupée par des cultures de risque érosif dès lors différent; pour la représentation de L_v, S , on se référera au Point 4.2.2.2.

Quant à l'effet du paramètre L sur le risque érosif, il est connu que les politiques (agricoles et autres) ont favorisé et favorisent toujours l'agrandissement des parcelles (remembrement légal ; actuellement principalement regroupement par les agriculteurs eux-mêmes). Déjà Binard, M. et Bollinne, A. (1980) attireraient l'attention sur la question par le biais d'une étude de l'effet de l'agrandissement parcellaire sur le taux d'érosion diffuse A_w pour le cas d'espèce du remembrement de Verlaine ; ils avaient abouti à la conclusion d'une augmentation du risque érosif de 14%. Pour comparaison cependant, rappelons⁶⁸ que le passage de la rotation triennale vers une monoculture de maïs augmente le risque érosif de plus de 60%....

⁶⁹ En préparation dans le projet ERRUISSOL (ERosion-RUIssellement- SOL) (2005-2008) (UHAGX, pour la DGA-FUSAGX).

Un exemple d'évaluation combinant les effets cultural C et de longueur de pente L (expertise UHAGx-FUSAGx, pour Agrenwal, 2002) est présenté en Figure 39 pour un cas de parcellaire ayant présenté des problèmes récurrents de coulées boueuses sur la voirie ; sans compter le fait de la monoculture de maïs, spéculation défavorable, la modification de l'orientation des parcelles sur ce versant de pente de 4% a multiplié par trois la longueur de pente de chacune d'elle (passant de 50 m à 150 m). L'augmentation de la perte en sol Wischmeier est de 50% et dépasse dès lors largement le seuil critique 10 t/ha.an. (Compte tenu de ce qu'il s'agit ici d'une problématique d'érosion diffuse, l'abandon de la monoculture de maïs pourrait déjà corriger largement le problème ou, à défaut, l'adoption de sous-semis, complété par d'autres mesures du type MAE (mesures agrienvironnementales) et/ou d'hydraulique douce (fossés, chenaux enherbés) (Confer Guide technique, Dautrebande S., 2003).

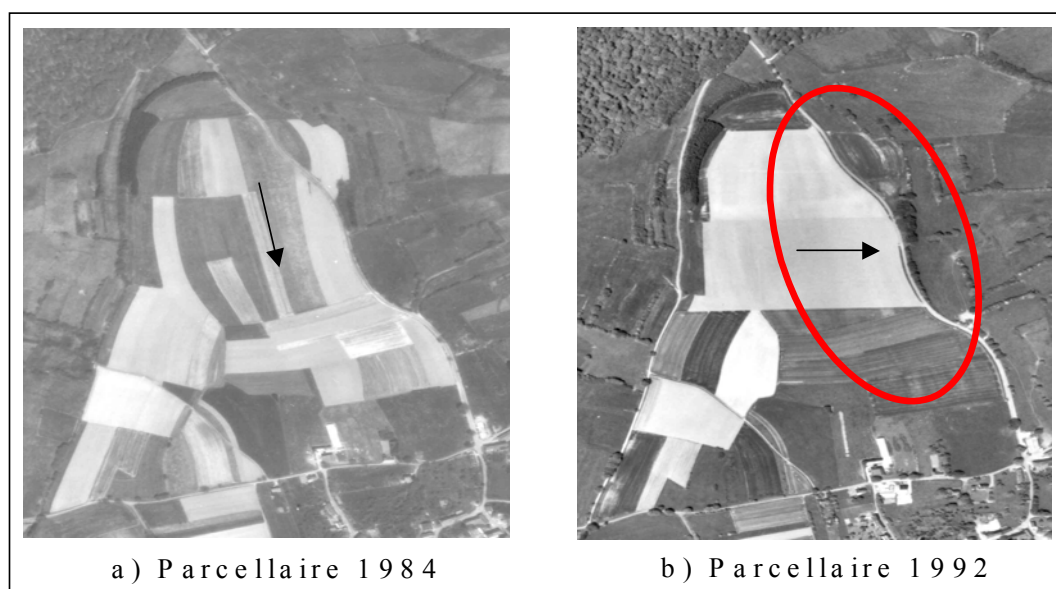


Figure 39 - Evolution d'un parcellaire entre 1984 et 1992 (photos aériennes IGN) : les parcelles, orientées antérieurement de façon parallèle à la pente (confer flèche), ont été orientées perpendiculairement à celle-ci, notamment pour faciliter l'accès des machines agricoles ; la partie encerclée de rouge relative à chaque parcelle se trouve sur un versant de 4% de pente et de 150 m de longueur de pente. La perte en sol Wischmeier calculée, compte tenu du type de sol, de son taux de MO, d'une monoculture de maïs, indique des valeurs de 18 à 20 t/ha.an (rappel : seuil maximum admissible $A_{w,cr} = 10$ t/ha.an).

4.2.2.2 Pressions sur l'aléa Production en sédiments

A l'échelle du bassin versant hydrographique, l'approche MUSLE inclut le paramètre L_v , (longueur de versant) pour la détermination de $L_v S^{70}$ (équation 2 et Figure 40); outre les paramètres C et K identiques à USLE/RUSLE, intervient en lieu et place du paramètre R l'évaluation des flux de ruissellement (volumes et débits) ; celle-ci est effectuée soit pour des événements particuliers, soit pour la succession d'un nombre représentatif d'années (modèle EPICgrid ou autre).

L'approche MUSLE bassin versant (exutoire de talweg ou de bassin versant hydrographique) exige de connaître les flux de ruissellement ; ceux-ci sont déterminés notamment sur base de l'occupation du sol.

⁷⁰ Pour autres commentaires à ce sujet, confer Point 4.3.1, paramètres de sensibilité du milieu.

Outre l'occupation agricole et forestière, il est donc nécessaire d'estimer le taux de superficies imperméabilisées⁷¹. Une évaluation est donnée à la Figure 41 ; il s'agit de la superficie imperméable (bâti +voiries) actuelle, indiquée par commune moyennant un regroupement en quatre classes de valeurs. La Figure 42 indique en outre le taux de voiries (préférable : le taux de superficies de voiries), également en % de superficie de la commune.

Ces informations pourront être utilement croisées avec une cartographie détaillée des zones sensibles au ruissellement concentré (notamment Projet ERRUISSOL, confer Point 1.2) en vue de la détermination des « Points noirs » (Zones exposées au ruissellement concentré et éventuellement aux flux boueux)).

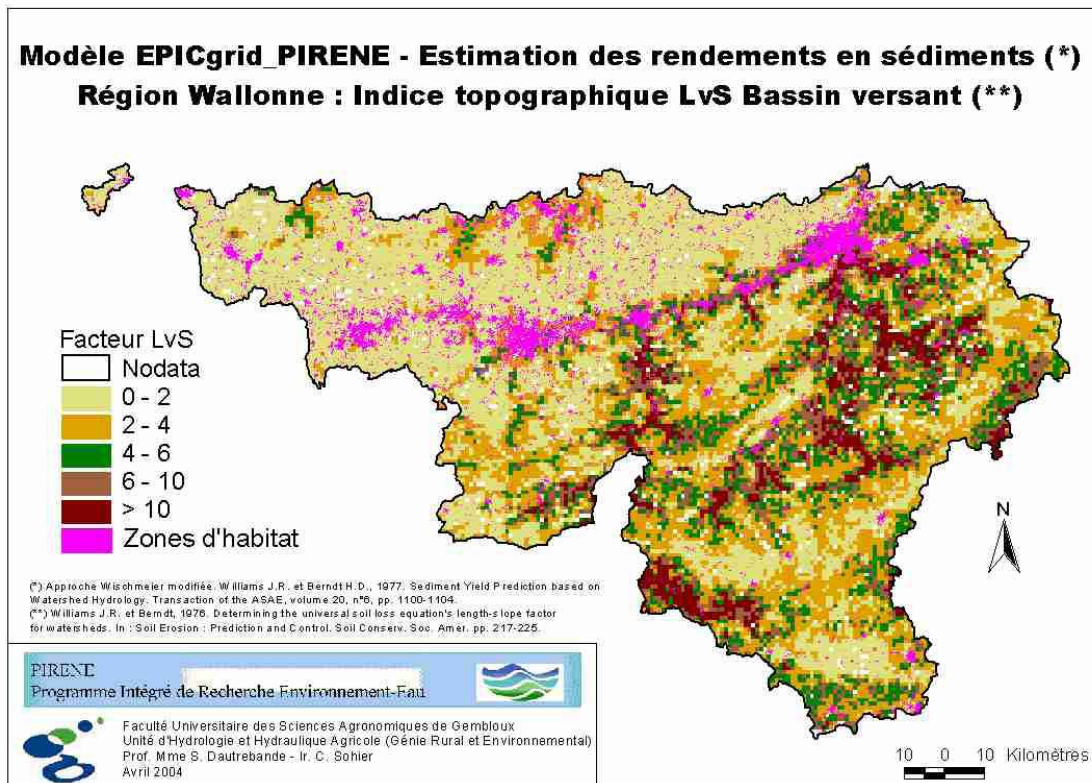


Figure 40 - Carte du facteur L_vS (fonction de la pente et longueur de pente du versant) pour la Région wallonne (base d'information : MNT 1:50000) (estimation EPICgrid).

⁷¹ Les superficies urbanisées (bâti, voiries,...) peuvent avoir une influence sur la problématique de l'érosion des terres agricoles sous deux aspects : 1) apports d'eaux de ruissellement parasites sur les terres (accroissement éventuel du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant) et 2) augmentation éventuelle de la Vulnérabilité des Points Noirs (Confer Point 3 sur l'Analyse des Risques).

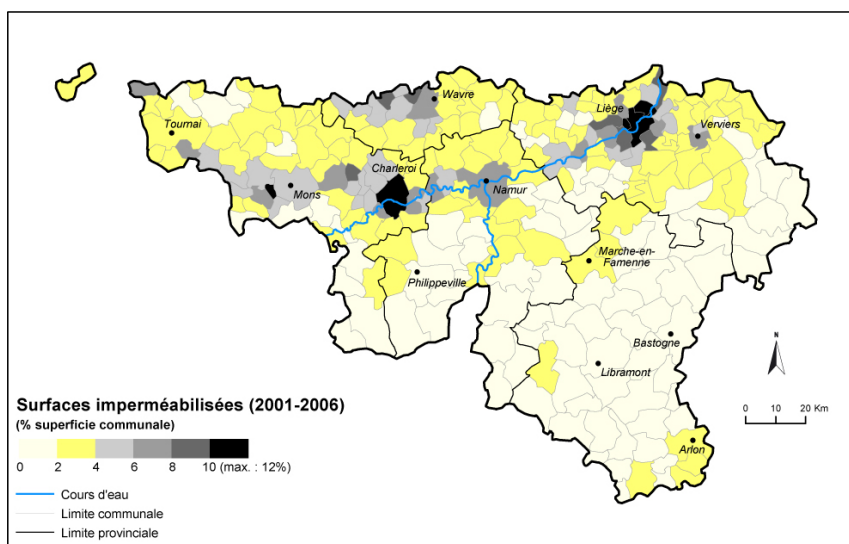


Figure 41 – Estimation des superficies imperméabilisées (bâti + voiries), en % de la superficie de la commune (Source des données : INS); Réalisation CEEW.

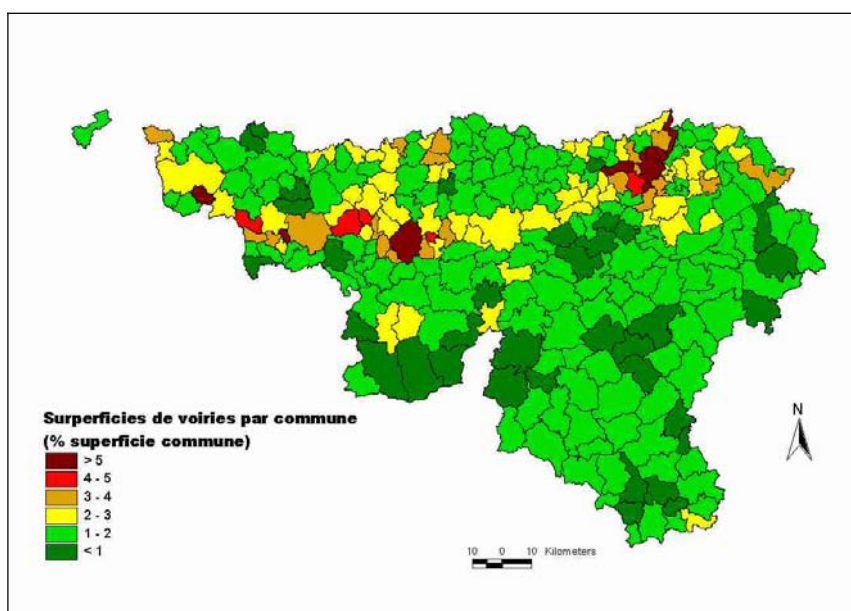


Figure 42 – Estimation des superficies de voiries, en % de la superficie de la commune (Source des données : INS).

4.2.2.3 Le phosphore, les pesticides

Le phosphore

Pour rappel (confer Point 2.3.2), le phosphore d'origine agricole diffuse est essentiellement entraîné via les eaux de ruissellement en solution ou fixé sur les sédiments transporté (et peu ou pas lixivié vers les eaux souterraines via la solution du sol relative aux eaux de percolation).

En termes de pression, les apports de fertilisant phosphoré sur les terres agricoles marquent une nette décroissance depuis les années 1970 (Figure 43).

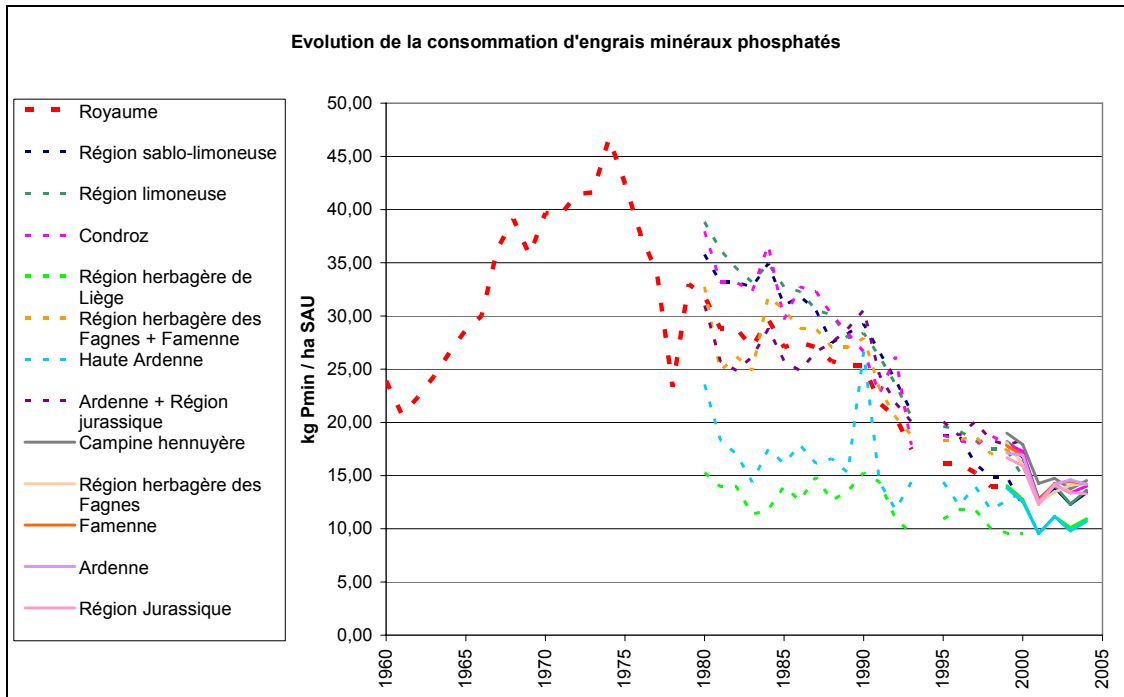


Figure 43 –Apports des fertilisants minéraux phosphatés pour la Région wallonne (Source INS).

Les pesticides

Compte tenu de la complexité et de la multiplicité des produits intervenant, les cultures regroupées en fonction de l'importance des doses d'apport de substances actives sont reprises du Rapport CERVA (Pissard et al, 2005) en Figure 44 et les cultures correspondant aux doses les plus élevées sont indiquées en rouge sur la Figure ; l'évolution des doses moyennes d'apport (pour la Belgique) montre globalement une diminution par rapport à 1995. La pomme de terre, de doses d'apport élevées, reste exigeante toutefois (pour développements sur la question dans le cadre de la problématique de la contamination des sols, confer Dautrebande, S. et Sohier C., 2006).

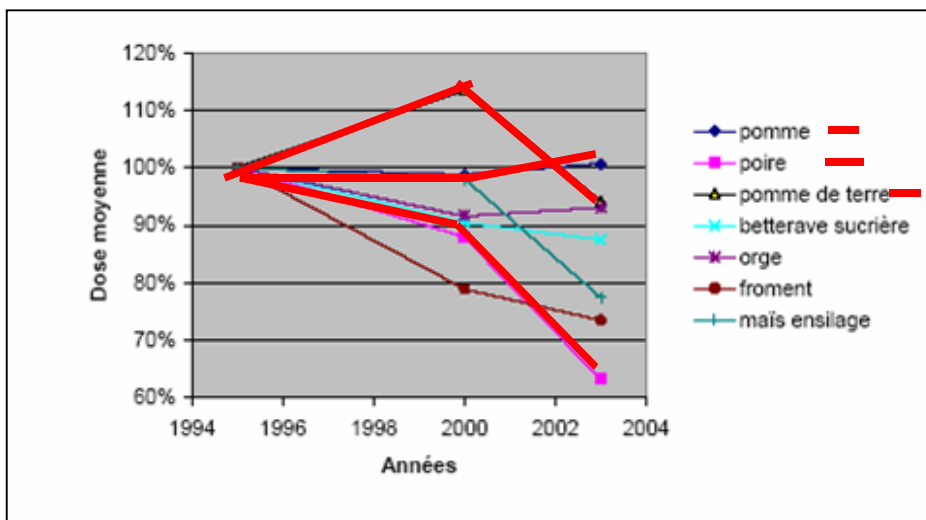


Figure 44 : Evolution des doses d'apport agricole de substances actives phytosanitaires (Rapport CERVA, 2005) ; en surcharge rouge, les spéculations à doses d'apport les plus élevées.

4.3 Etat

L'indicateur d'état relatif à l'érosion à l'échelle de la parcelle agricole est l'aléa moyen de perte en sol du type A_w (USLE/RUSLE) et celui relatif à la production de sédiment dans les eaux de surface (échelle bassin versant) est l'aléa du type SY (MUSLE) ; le Tableau 6 en résume les différentes composantes. Comme vu précédemment, les évaluations peuvent être effectuées sur une base annuelle classique ou bien sur une base de modélisation journalière (modèle EPICgrid par exemple, Sohier C. et Dautrebande S., 2005).

Tableau 6- DPSIR « Erosion » : Evolution d'indicateurs d'Etat /km² ou /BHV ou /Zone sensible

ETAT	SECTEUR	INDICATEURS	DONNÉES SOURCE
« On » et « Off » Parcelle agricole	Erosion diffuse des terres agricoles	Aléa moyen de Perte en sol USLE/RUSLE : $A_w = R.K.C.LS.P$	- Précipitations → R - Texture, MO, structure et drainage naturel des sols de surface → K - Agriculture et parcellaire agricole → C et L - MNT → S - Aménagements antiérosifs → P
Off eau de surface	Exutoire eau de surface ou talweg	Aléa moyen de Rendement en sédiments MUSLE : $SY = f(\text{débits de pointe et volumes de ruissellement, A}^{(72)} K, L_v, S, C, P, n^{73}, CN^{74})$	Similaires données pour A_w + hydrologie

4.3.1 La sensibilité du milieu

Outre les paramètres R, L et C décrits dans le Point relatif aux Pressions, avant de caractériser l'état ou aléa, il est nécessaire d'inclure et caractériser les paramètres du milieu sensibles à l'érosion, à savoir :

- l'érodibilité du sol K incluant le paramètre de taux de carbone organique du sol,
- le paramètre de pente S à l'échelle de la parcelle agricole,
- le paramètre L_vS à l'échelle du bassin versant,
- et si possible, un paramètre permettant de mettre en évidence les zones sensibles au ravinement⁷⁵.

Pour rappel, le paramètre S est un composant du produit LS (L longueur de pente de la parcelle) ou L_vS (L_v longueur de versant) discuté au Point 4.2.2.2 (cartographie en Figure 40, pour l'échelle bassin versant et régionale).

En complément, une cartographie « fine » des pentes⁷⁶ ainsi que de LS et L_vS est en voie de réalisation dans le cadre du projet ERRUISSOL (confer Point 1.2), en vue de faciliter les évaluations et la gestion « à la parcelle » et à l'échelle des petits bassins versants (L_vS).

⁷² A = superficie du bassin versant.

⁷³ n = coefficient de rugosité de surface (hydraulique de l'écoulement) = f (occupation du sol).

⁷⁴ Si la méthode SCS (SCS = Soil Conservation Service of USA) est utilisée (confer pour détails notamment dans Rapport Pirene de Sohier, S. et Dautrebande, S, 2005), CN = paramètre d'infiltrabilité, fonction de (capacité d'infiltration de base du sol, humidité du sol, pente, occupation du sol) ; il s'agit d'une formulation très utilisée dans le monde scientifique et technique, cependant toute autre fonction décrivant l'infiltrabilité de l'eau dans les sols en fonction de l'état de surface est utilisable, sous réserve de la caractérisation adéquate des paramètres.

⁷⁵ Pour rappel, en souvent sols très infiltrants outre leur érosivité élevée (confer Point 2.2).

4.3.1.1 L'érodibilité du sol

Pour rappel, le paramètre d'érodibilité K du sol tient compte de sa texture, de son taux de carbone organique, de sa structure, de sa perméabilité.

Sur base d'une première étude de Bollinne, A. et Rosseau, P. en 1978, et moyennant quatre classes de valeurs, Pauwels, J.M. et al. ont établi en 1980 une carte d'érodibilité K des sols pour la Belgique, reportée en Figure 45 (unités de A_w/R , A_w en t/ha.an et R en t.cm²/ha.h.an).

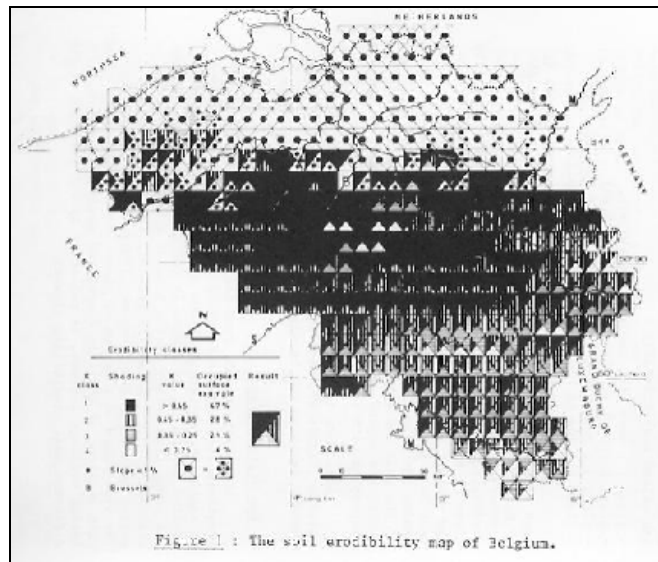


Figure 45 – Carte d'érodibilité K des sols de Belgique élaborée par Pauwels, J.M. et al. (1980).

On remarquera que les sols limoneux sont parmi les plus sensibles à l'érosion comme tels (érodables), en raison de leur composition texturale, bien que faisant partie de la catégorie des sols ayant la meilleure capacité de rétention en eau pour les plantes au monde en raison de la distribution favorable de leur porosité.

Dans le cadre de la modélisation EPICgrid (Sohier, C. et Dautrebande S., 2005, Rapport PIRENE), une évaluation du paramètre K a été mise au point (suivant EPIC de Williams, J.R. et al, 1984) et sa représentation cartographique effectuée moyennant la maille élémentaire du km² ; la procédure de caractérisation des propriétés physiques et hydrodynamiques nécessaires à l'évaluation a combiné les informations suivantes :

- la carte des sols de Belgique simplifiée (1/500000^{ème}),
- l'analyse des cartes et des livrets pédologiques (1/20000^{ème}) (Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA)),
- l'utilisation des fonctions de pédotransfert proposée par Rawls et Brakensiek (1989).

Les éléments suivants ont été évalués :

⁷⁶ Sur base du MNT construit à partir des données du PICC (Projet Informatique de Cartographie Continue, MET-RW), échelle 1/1000, ou, à défaut, des données de l'IGN (Institut Géographique National), échelle 1/10.000^{ème}.

- le pourcentage pondéral en « limon » (< 100 microns) de la portion 'terre fine' du sol;
- le pourcentage pondéral en « sable » (> 100 microns) de la portion 'terre fine' du sol;
- la charge caillouteuse du sol, en pourcentage volumique;
- la densité apparente sèche de la portion 'terre fine' du sol;
- l'épaisseur du profil de sol si celle-ci est inférieure à 1,50 m;
- la conductivité hydraulique (terre fine + éléments grossiers);
- la teneur en eau au point de flétrissement;
- la teneur en eau à la capacité de rétention en eau pour les plantes (« au champ »)⁷⁷;
- la teneur en carbone organique (« MO ») du sol (base des données REQUASUD de la Région wallonne).

La cartographie correspondante est présentée en Figure 46 pour la Région wallonne.

⁷⁷ La teneur en eau à la capacité de rétention en eau d'un milieu poreux est la teneur en eau résiduelle de ce milieu après évacuation de l'eau gravitaire ; c'est une caractéristique de ce milieu poreux liée à la forme et à la distribution des diamètres des pores. En quelque sorte, les « gouttes d'eau » retenues par capillarité sont en équilibre avec leur propre poids. La capacité de rétention est mesurable in situ (d'où son nom également de « capacité au champ ») ; elle correspond approximativement (effets d'hystérésis, etc.) à un potentiel de rétention capillaire déterminé (qui peut être exprimé en termes de pF) pour un milieu poreux donné (Confer Manuels de Physique des Sols). (Remarque : cette notion est à différencier de celle de capacité « en bac - ou en pot » qui est variable en fonction de la proximité de la zone en équilibre avec la pression atmosphérique (profondeur de la surface libre de la nappe saturée ; fond percé d'un pot de fleur, etc.). Signalons que les sols de la région limoneuse de la Région wallonne sont parmi ceux qui ont la meilleure capacité de rétention au monde, ils ont aussi une très bonne capacité d'infiltration ; par contre, ils sont hautement érodables. Ils ont aussi une porosité efficace (porosité disponible pour la saturation ou la percolation) relativement faible.

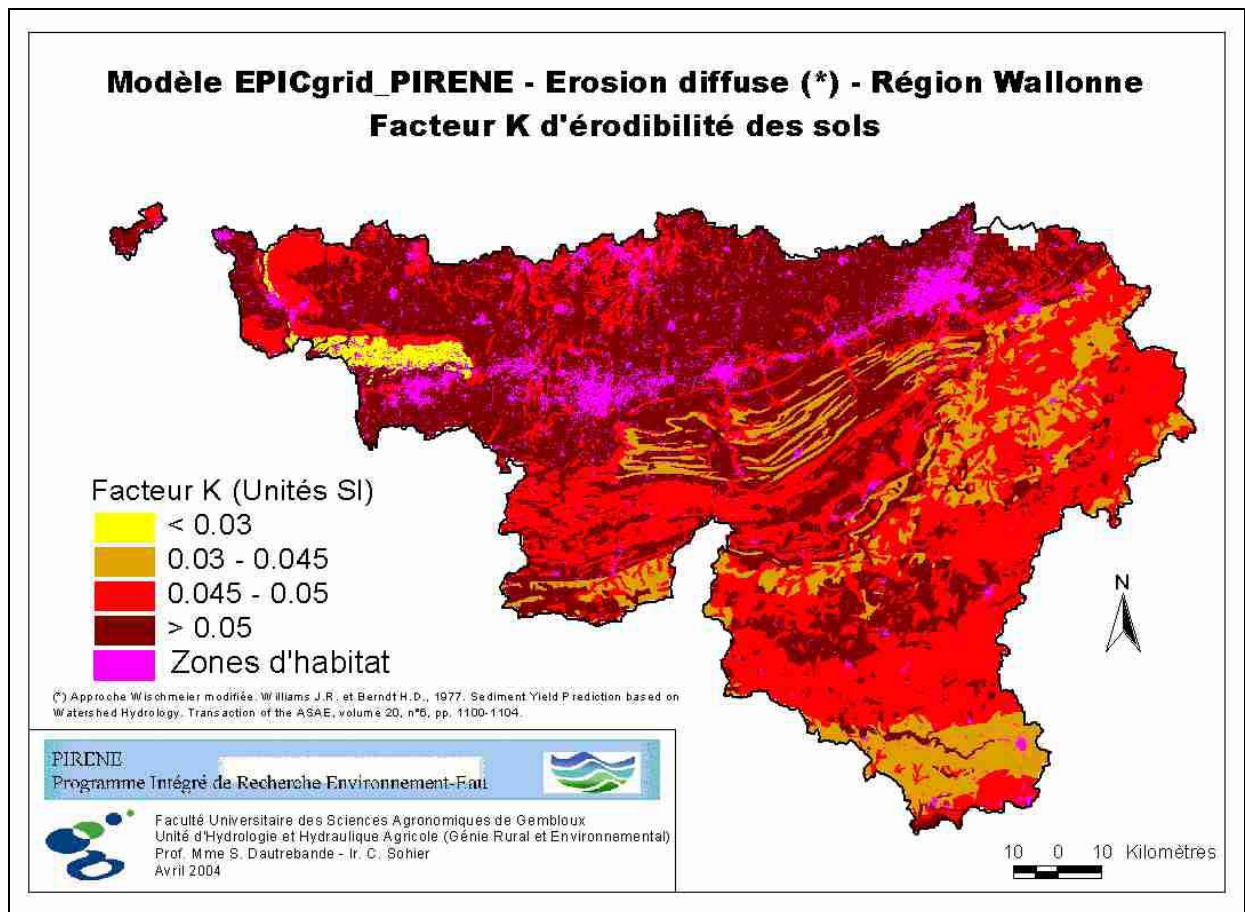


Figure 46 - Cartographie du paramètre K (Wischmeier) pour la Région wallonne (*in* modèle EPICgrid) (Sohier, C. et Dautrebande, S., 2004).

4.3.1.2 Le Carbone organique

En ce qui concerne l'effet sur l'érosion, il convient de différencier :

- l'effet du carbone organique du sol, qui apparaît comme faible dans la gamme de variation possible pour les sols agricoles (confer Paramètres Wischmeier, Point 2.4), mais dont le départ en surface contribue globalement à leur dégradation physique, chimique et biologique;
- l'effet plus déterminant de l'incorporation et de la présence dans le sol de résidus organiques, favorable à la bonne infiltrabilité et structuration du sol.

On a vu que la présence ou incorporation de résidus organiques interviennent dans l'évaluation de l'indicateur de pression C tandis que le taux d'humus quant à lui fait partie de la détermination du paramètre K en tant qu'élément structurant du sol ; cependant l'impact de ce taux d'humus du sol (noté M.O.) y est relativement faible dans la gamme des variations possibles au niveau des sols agricoles, et ceci d'autant moins que les sols sont plus érodables (confer exemple au Point 2.4.2). Rappelons que la problématique du carbone dépend d'un bilan entrées-sorties extrêmement complexe, la valeur d'équilibre étant fonction du contexte agricole mais aussi écoclimatique.

Par contre , la teneur en M.O. du sol vu comme milieu sensible à l'érosion par disparition de la couche fertile de surface peut participer à la caractérisation de la dégradation (et « désertification ») des sols ; cependant, de multiples autres causes que l'érosion peuvent être en jeu dans le fait d'une diminution du taux de carbone des sols de surface, notamment l'effet de « dilution » induit par le travail du sol, comme identifié pour certaines régions agricoles en Wallonie par Lettens, S. et al. (2004) et par van Wesemael, et al. (2004)⁷⁸. La question des indicateurs de dégradation des sols ne relève pas de la présente problématique, étant entendu cependant que l'érosion accélérée est susceptible d'y contribuer.

Une présentation cartographique des évolutions des stocks de carbone organique est présentée dans le TBE 2005(pages 44 et 45).

4.3.1.3 *La pente des terres*

La topographie est un élément sensible du milieu, auquel il faut ajouter l'aspect vallonné⁷⁹ de nombre de paysages de la Région wallonne, accentuant de ce fait fortement la problématique de la concentration des eaux de ruissellement et flux boueux vers des zones naturellement exposées (Figure 47).

Un exemple de la statistique spatiale de la répartition des associations « pente – occupation culturale » est montrée en Figure 48 : on remarque en particulier la répartition spatiale défavorable de la spéculation maïs (proportion croissante avec la pente...).



Figure 47 - Problématique de la vulnérabilité du « Point noir » (Photo S. Dautrebande).

⁷⁸ Un projet de Directive « Sols » est en préparation au niveau européen, confer textes : « Proposition de Directive du Parlement européen et du Conseil définissant un cadre pour la protection des sols et modifiant la directive 2004/35/CE (2006/aaaa (COD), 20 pages) et Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité de régions : « Stratégie thématique en faveur de la protection des sols » 13 pages.

⁷⁹ Ce type de paysage où abondent les talwegs, se retrouve également du Nord et Nord-est de la France (Martin, P. et al, 1998).

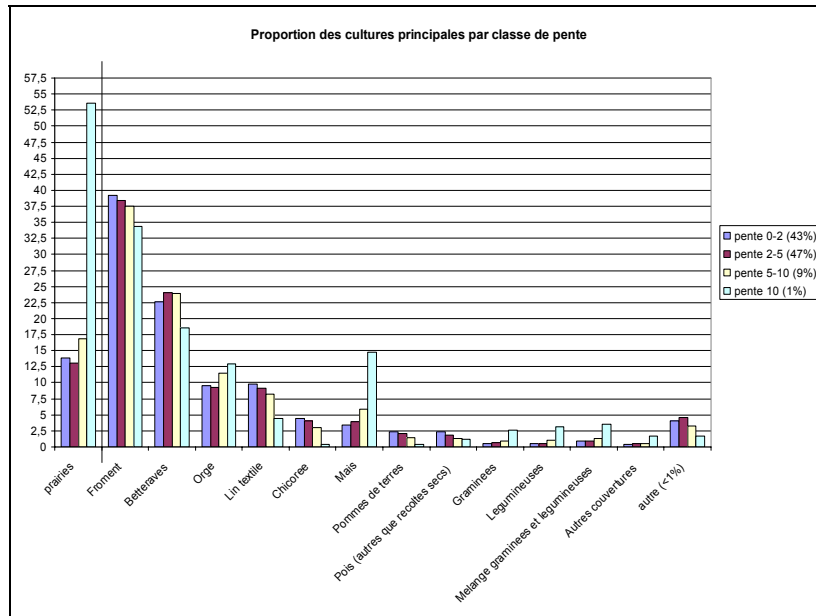


Figure 48 – Distribution des types de cultures (Base de données SIGEC, année 2002) en fonction des pentes pour une partie de la région agricole limoneuse (UHAGx (FUSAGX), 2003, *in* Projet GIREA (UCL)).

4.3.1.4 *La sensibilité des terres au ravinement*

Les ravines les plus conséquentes se développent lors d'une séquence pente faible/pente forte dans la direction du ruissellement concentré: il peut s'agir d'un talus en bordure de parcelle (Figure 6), d'un versant (Figure 5), du sectionnement d'un versant par une voirie en déblai,... La ravine se développe le plus souvent par érosion régressive, en raison d'une vitesse érosive critique atteinte par les eaux de ruissellement ; le processus est favorisé par une infiltrabilité élevée qui sature le sol sous-jacent (sols de surface très infiltrants, galeries d'animaux fouisseurs, fissurations par racines de buissons sur le talus,...) ; peuvent s'ensuivre des mouvements de masse importants (effondrements). Certaines régions paraissent plus sensibles à ces processus, mais il semble que l'on manque actuellement de critères de caractérisation.

4.3.1.5 *Le Phosphore*

Etant donné la particularité du Phosphore du sol à être fortement lié aux particules de sol, il convient de considérer la contribution endogène du phosphore des sols. Les analyses de sol agricole réalisées en Région wallonne ces dernières années montrent assez souvent que ceux-ci ont plutôt tendance à être déficitaires, en tant que nutriment pour les plantes en tout cas. Ceci ne garantit pas de facto que les pertes par érosion et ruissellement soient acceptables sur le plan du risque de pollution des eaux de surface.

4.3.2 Les indicateurs d'état Erosion et Production de sédiments

Les aléas A_w (Wischmeier, ou équivalents) et SY sont à déterminer comme indicateurs d'état, respectivement pour la parcelle et l'exutoire de bassin versants.

Les résultats obtenus par la modélisation EPICgrid pour la Région wallonne seront comparés avec ceux obtenus par divers projets européens ainsi qu'avec ceux obtenus par et pour la Région flamande. En effet, comme déjà évoqué, l'érosion des sols est une préoccupation actuelle généralisée et il existe, à l'échelle européenne notamment, plusieurs tentatives et variantes en vue de déterminer et cartographier l'aléa (état) d'érosion ou de rendement en sédiments.

4.3.2.1 *Pertes en sol moyennes annuelles*

Les valeurs de pertes en sol A_w pour la Région wallonne telles qu'évaluées par EPICgrid sont reportées en Figure 49, exprimées en t/ha.an, moyennes par km² ; la moyenne générale évaluée pour la Région wallonne est de 2,53 t/ha.an et de 3,03 t/ha.an⁸⁰ ($\sim 0,25$ mm/an) respectivement pour les périodes 1971-2000 et 1991-2000 ; la Figure 50 indique la répartition des superficies de la Région wallonne par classe de valeurs A_w . Rappelons que le terme de Perte en sol A_w correspond au taux d'érosion, non au départ de terre (qui est la production de sédiments SY, confer Point 2.4.2 et Point 4.3.2.2).

L'augmentation de la valeur de l'indicateur d'une période à l'autre est liée essentiellement :

- d'une part à l'augmentation de la pression climatique (confer Figure 28),
- et d'autre part à l'augmentation de la pression liée à la proportion croissante de cultures de type sarclé (confer Point 4.2.2).

Pour rappel, les mesures prises susceptibles de diminuer les pertes en sol (notamment intercultures et résidus laissés ou enfouis après cultures) n'ont pas été incluses dans cette

⁸⁰ Pour la Région flamande et la période 1999-2002, l'estimation de 1,18 t/ha.an (Gillijns, K. et al, 2005)

simulation. D'autre part, la longueur de versant L_v est prise à défaut de connaître la statistique des longueurs de pente de la succession des parcelles de même risque érosif (confer Point relatif aux Pressions); une certaine surestimation des taux d'érosion A_w est donc à prendre en considération (confer aussi comparaisons ultérieures avec les résultats de modèles européens).

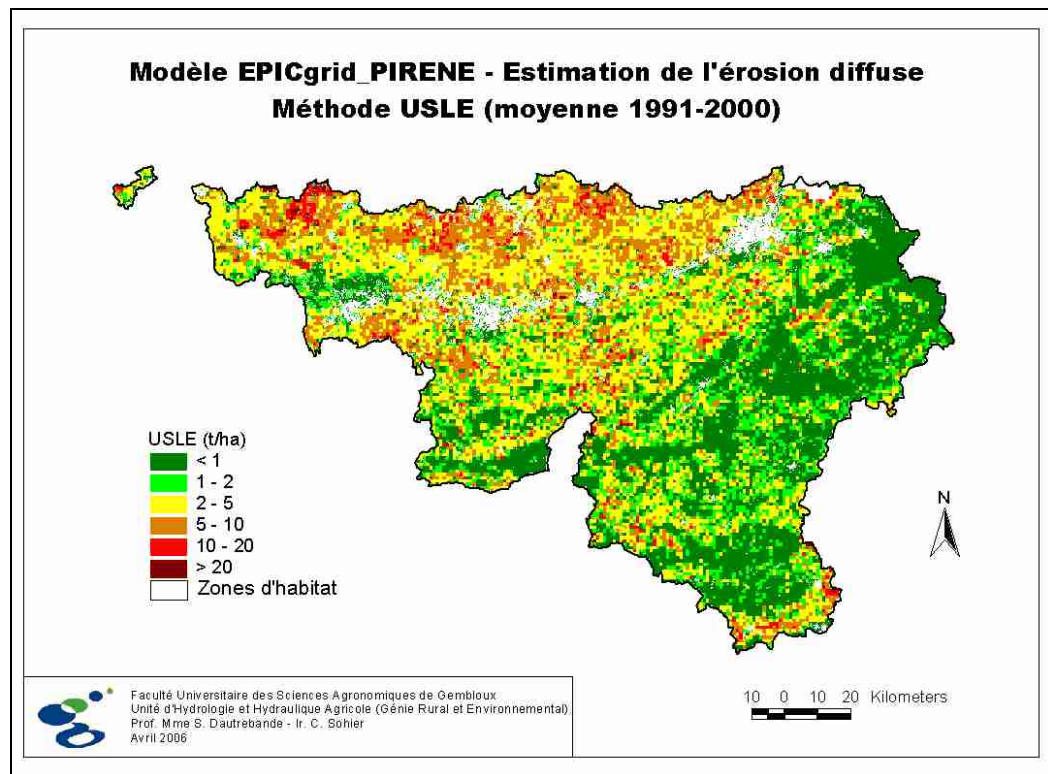


Figure 49 - Estimation par le modèle EPICgrid des pertes en sol A_w « Wischmeier » moyennes annuelles (1991-2000) par km^2 , exprimées en t/ha.an pour la Région wallonne (mesures antiérosives non incluses).

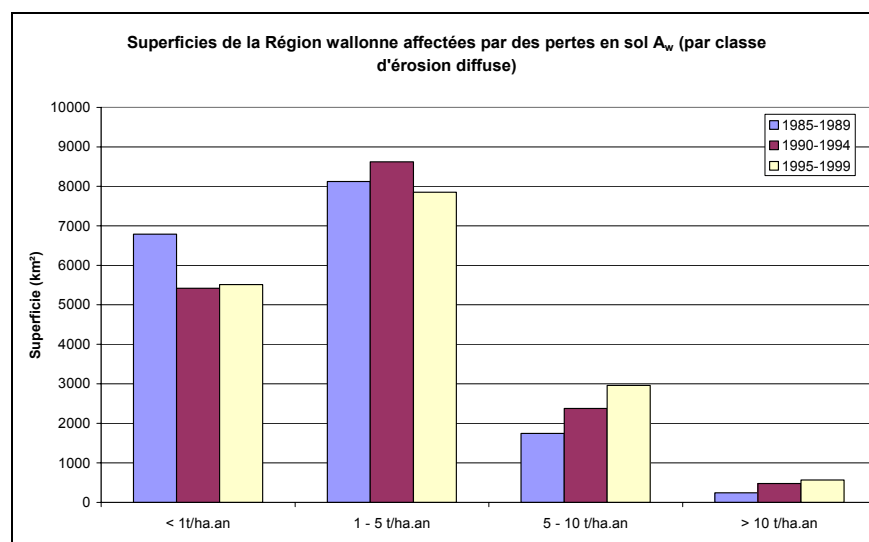


Figure 50 – Superficies de la Région wallonne par classe de valeurs de perte en sol moyennes annuelles par km^2 , A_w , en t/ha.an (Evaluation par simulation EPICgrid, effet des mesures antiérosives non incluses) ; (pour rappel : 10 t/ha.an = seuil critique généralement admis, 5 t/ha.an = seuil généralement « recommandé »).

4.3.2.2 Rendement en sédiments moyens annuels

Pour le calcul de SY (sédiments apportés aux eaux de surface ou « rendement en sédiments »), outre les longueurs et les pentes des versants, sont aussi nécessaires la superficie (A) du bassin versant en amont du point exutoire, les longueurs de versant L_v , l'infiltrabilité (fonction de l'humidité du sol, de la capacité d'infiltration du sol, de l'occupation du sol, de la pente des terres), la « rugosité » de surface (fonction de l'évolution spatiale et temporelle de l'occupation du sol).

L'évaluation de l'indicateur SY suivant EPICgrid est reportée en terme de valeur moyenne par km² en Figure 51 ; cette information a également été présentée sous forme agrégée dans le Tableau de Bord de l'Environnement wallon 2004 (TBE 2004) (confer Figure 52). Signalons que l'effet des mesures prises (Confer Réponses, Point 4.5) n'a pas été inclus ici non plus (et pourrait l'être via la modélisation).

Les pourcentages de superficie relatifs aux 5 classes⁸¹ d'aléa (classes de Risque⁸² OCDE, confer Point 3.2) sont indiqués au Tableau 7 par région agricole et par période de cinq années entre 1985 et 1999 ; ces données ont été fournies à l'OCDE à la demande de la Région Wallonne⁸³. On remarque que la région agricole présentant le plus grand pourcentage de valeurs élevées de SY (> 1 t/ha.an) est la région sablo-limoneuse, et que la région avec le plus de superficies à ce titre est la région limoneuse.

Pour la période 1970-2000, le total moyen SY⁸⁴ estimé est de 670.000 t/an de sédiments secs d'origine agricole, soit 0,4 t/ha.an de superficie de la Région wallonne et, pour la période 1990-2000, de 815.000 t/an (soit 0,5 t/ha.an⁸⁵ ou ~ 0,04 mm/an), - non compté l'impact des mesures antiérosives (confer 4.5).

Le taux $SY/A_w = SDR$ (*Sediment Delivery Ratio*) estimé est de 0,16⁸⁶.

Pour comparaison en ordre de grandeur, la synthèse effectuée par l'IRGT (2005) rapporte pour la Région wallonne l'estimation d'un quota moyen annuel de matières humides de dragage dans les cours d'eau navigables (environ 500 km) de l'ordre de 550.000 t/an (uniquement le charriage donc, mais de toute origine), soit ~ 400.000 t/an de matières sèches (moyennant un coefficient multiplicatif de 0,7).

A titre de validation, les mesures et évaluations relatives au rendement en sédiments d'origine agricole en Région wallonne sont rarissimes et reprises ci-dessous. On se doit d'apporter une appréciation prudente à la comparaison entre les résultats de mesure à l'exutoire de bassins à occupation agricole majoritaire (mesures sur 2 à 3 ans) et le résultat de la simulation EPICgrid pour la RW ramené à la SAU, soit 0,9 t/ha.an (moyenne par km² et sur trente années) :

- Mesures du débit solide suspendu (correspondant approximativement au rendement en sédiment *moins* le charriage de fond, *plus* éventuellement les sédiments provenant de l'érosion de berges):

⁸¹Pour rappel, Erosion tolérable → $A_w < 6.0$ t/ha/an, Erosion faible → $6.0 < A_w < 10.9$ t/ha/an, Erosion modérée → $11.0 < A_w < 21.9$ t/ha/an, Erosion élevée → $22.0 < A_w < 32.9$ t/ha/an.

⁸² Le classement de l'aléa est identique à celui du risque de dommages (ou impact) si il ya classe de vulnérabilité unique.

⁸³ Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale de l'Agriculture, Division de la Politique Agricole, Direction de l'Analyse Economique Agricole.

⁸⁴ SY correspond dans les eaux de surface à la somme du charriage et du débit solide en suspension

⁸⁵ Pour la Région flamande et la période 1999-2002, l'estimation est de 0,26 t/ha.an (Gillijns, K et al. 2005).

⁸⁶ Pour la Région flamande et la période 1999-2002, la valeur de SDR est de $0,26/1,18 = 0,22$.

- Sur la Burdinale à Lamontzée : 0.73 ton/ha.an (Lamalle et *al.*, 1989);
- Sur la Burdinale à Marneffe : 1,45 T/ha.an (Lamalle et *al.*, 1989);
- Sur la Mehaigne à Mehaigne : 0,10 T/ha.an (Sine L. et Agneessens, 1978) (mesures effectuées sur 2 années relativement peu pluvieuses).
- Mesures de dépôts dans des petits bassins d'orage (correspond approximativement au rendement en sédiment *moins* le débit solide suspendu) ($1 \text{ m}^3 = \pm 0.8 \text{ à } 1.5 \text{ t}$) :
 - Hannut, bassin versant de 73 ha : $0.18 \text{ m}^3/\text{ha.an}$ (Verstraeten et Poesen, 2002);
 - Ville-en-Hesbaye, bassin versant de 103 ha : $1.11 \text{ m}^3/\text{ha.an}$ (Verstraeten et Poesen, 2002);
 - Cipllet, bassin versant de 151 ha : $0.97 \text{ m}^3/\text{ha.an}$ (Verstraeten et Poesen, 2002).

4.3.3 Evolutions interannuelles

Les évolutions et fluctuations moyennes interannuelles des pertes en sol A_w et des rendements en sédiments SY estimés sont reportées en Figure 53 ; comme déjà précité, la tendance croissante est liée à l'évolution de la pression climatique (paramètre R) et à celle de l'occupation du sol (paramètre C) (confer 4.2.2).

La représentation de ces évolutions en termes de superficies agricoles par classe de SY est indicative dans le même sens (Figure 54) ; il est à remarquer que si l'on accepte le seuil de $(A_{w,cr}/10) = (10\text{t}/\text{ha.an})/10 = 1 \text{ t}/\text{ha.an}$ comme seuil critique maximum acceptable (confer Point 4.4, Impact), la proportion de superficie concernée (en moyenne par km²) est relativement faible (Figure 55).

4.3.4 Comparaison avec les résultats de la Région flamande

Le Tableau 8 compare très sommairement les approches d'évaluation utilisées par les modèles respectifs en Région flamande et en Région wallonne, en vue d'estimer les pertes en sol et les rendements en sédiments. La Figure 56 (a) et (b) permet une comparaison visuelle des résultats pour le terme A_w ; il ne serait pas inintéressant de comparer les approches de façon plus systématique et peut-être de tendre vers une certaine normalisation. Rappelons que la validité des simulations par modèle est fonction non seulement de la conception du modèle lui-même, mais aussi des paramètres affectés aux différentes fonctions et des bases de données sur lesquelles elle s'appuie.

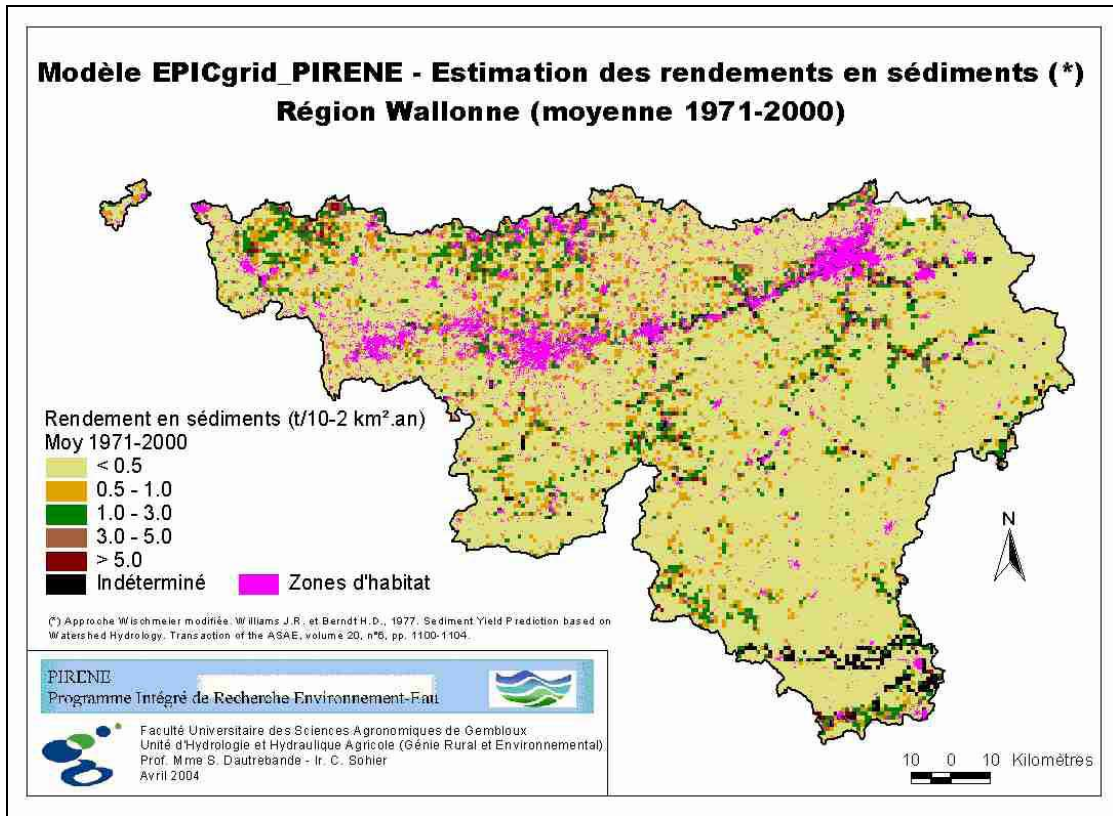


Figure 51 – Rendements en sédiments estimés via le modèle EPICgrid, en t/ha.an – moyennes par km² de la Région wallonne sur la période 1971-2000 (effet des mesures non inclus).

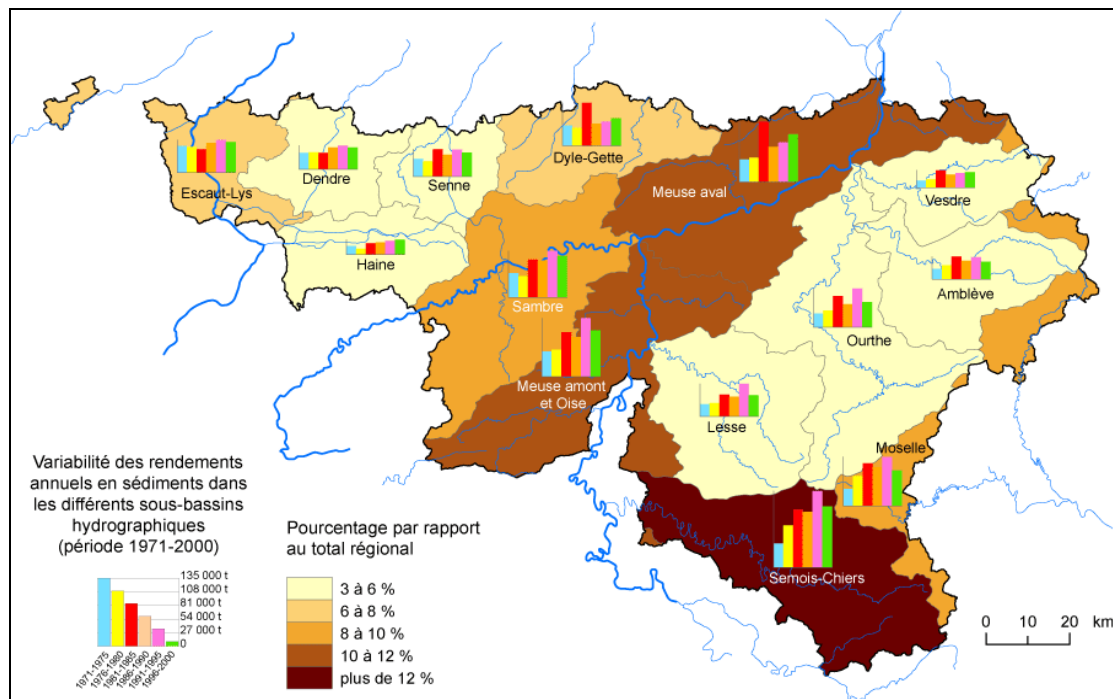


Figure 52 – Répartition de la production moyenne de sédiments SY estimée via le modèle EPICgrid par km², exprimée par sous-bassin hydrographique en % du total de la Région wallonne ; variation sur la période 1970-2000 pour la Région wallonne (Extrait TBE 2004) (effet des mesures non inclus).

Tableau 7 : Superficies agricoles affectées par les classes de Production en sédiments "SY" MUSLE - tonnes /ha.an, pour les régions agricoles de la Région wallonne (simulations EPICgrid)

SY CLASS	AREA (KM ²)			% DE SUPERFICIE >1T/HA.AN ET FACTEURS DOMINANTS
	1985-1989	1990-1994	1995-1999	
Région sablo-limoneuse				
< 0.5	636	646	603	
0.5 - 1.0	164	170	180	
1.0 - 3.0	214	204	224	30 % ; (C, K, S)
3.0 - 5.0	34	31	40	
> 5.0	22	19	23	
Région limoneuse				
< 0.5	3019	967	2837	
0.5 - 1.0	530	561	645	
1.0 - 3.0	321	337	371	11 % ; (C, K)
3.0 - 5.0	29	33	41	
> 5.0	9	10	14	
Campine hennuyère				
< 0.5	37	37	37	
0.5 - 1.0	0	0	0	
1.0 - 3.0	0	0	0	
3.0 - 5.0	0	0	0	
> 5.0	0	0	0	
Condroz				
< 0.5	2076	1870	1849	
0.5 - 1.0	291	427	420	
1.0 - 3.0	217	274	297	15 % ; (R), (C), (K), (S).
3.0 - 5.0	31	40	44	
> 5.0	15	19	20	
Région herbagère de Liège				
< 0.5	1576	1496	1467	
0.5 - 1.0	133	162	168	
1.0 - 3.0	130	171	187	13 % ; R, (C), (K), S.
3.0 - 5.0	27	31	34	
> 5.0	11	17	21	
Région herbagère des Fagnes				
< 0.5	297	248	268	
0.5 - 1.0	20	50	36	
1.0 - 3.0	12	29	23	
3.0 - 5.0	4	3	3	
> 5.0	1	4	4	
Famenne				
< 0.5	1445	1258	1275	
0.5 - 1.0	142	223	223	
1.0 - 3.0	106	187	176	13 % ; R, (C), (K), S.
3.0 - 5.0	17	31	24	
> 5.0	7	18	19	
Ardenne				
< 0.5	3218	2963	3005	
0.5 - 1.0	145	276	244	
1.0 - 3.0	83	189	183	
3.0 - 5.0	12	20	17	
> 5.0	5	15	14	
Région Jurassique				
< 0.5	879	854	854	
0.5 - 1.0	32	49	51	
1.0 - 3.0	70	71	67	
3.0 - 5.0	17	23	27	
> 5.0	32	33	31	
Haute Ardenne				
< 0.5	743	690	725	
0.5 - 1.0	38	61	40	
1.0 - 3.0	39	57	47	
3.0 - 5.0	3	12	9	
> 5.0	2	5	4	

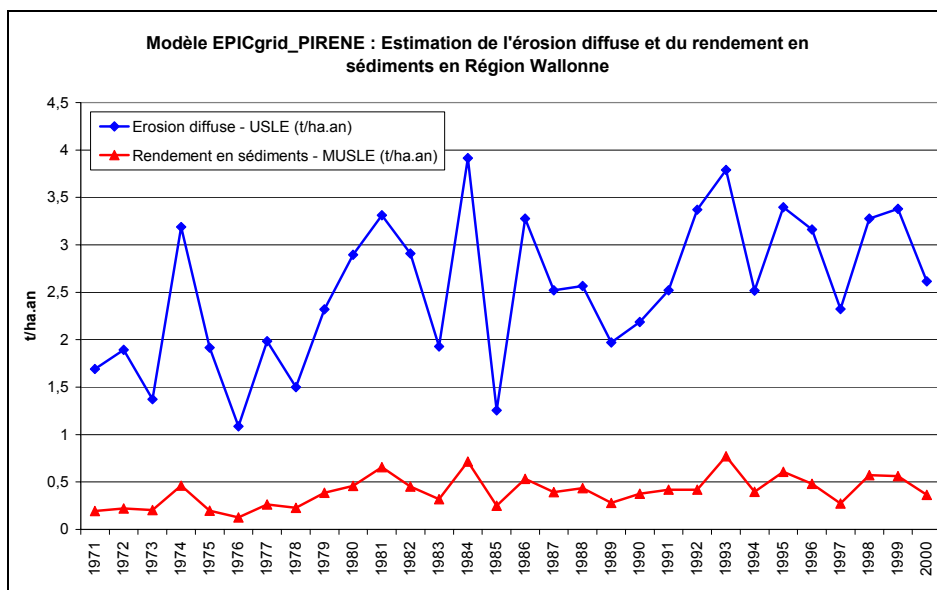


Figure 53 - Evolution estimée des pertes en sol Wischmeier Aw et des rendements en sédiments SY pour la Région wallonne, sur la période 1971 à 2000.

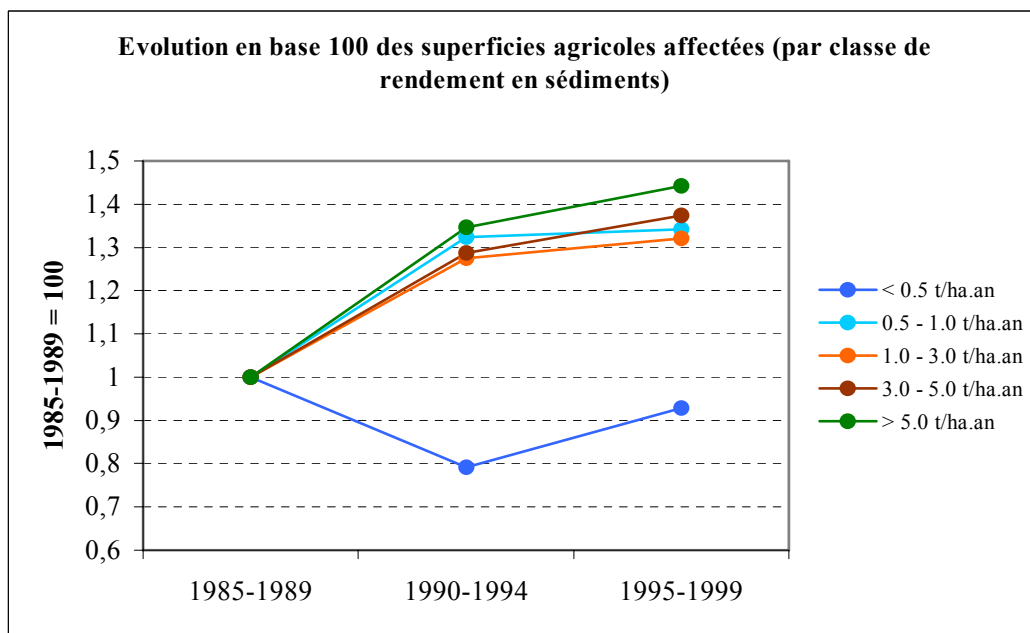


Figure 54- Evolution relative des rendements en sédiments SY regroupés en classes de valeurs, pour la Région wallonne (Estimations EPICgrid).

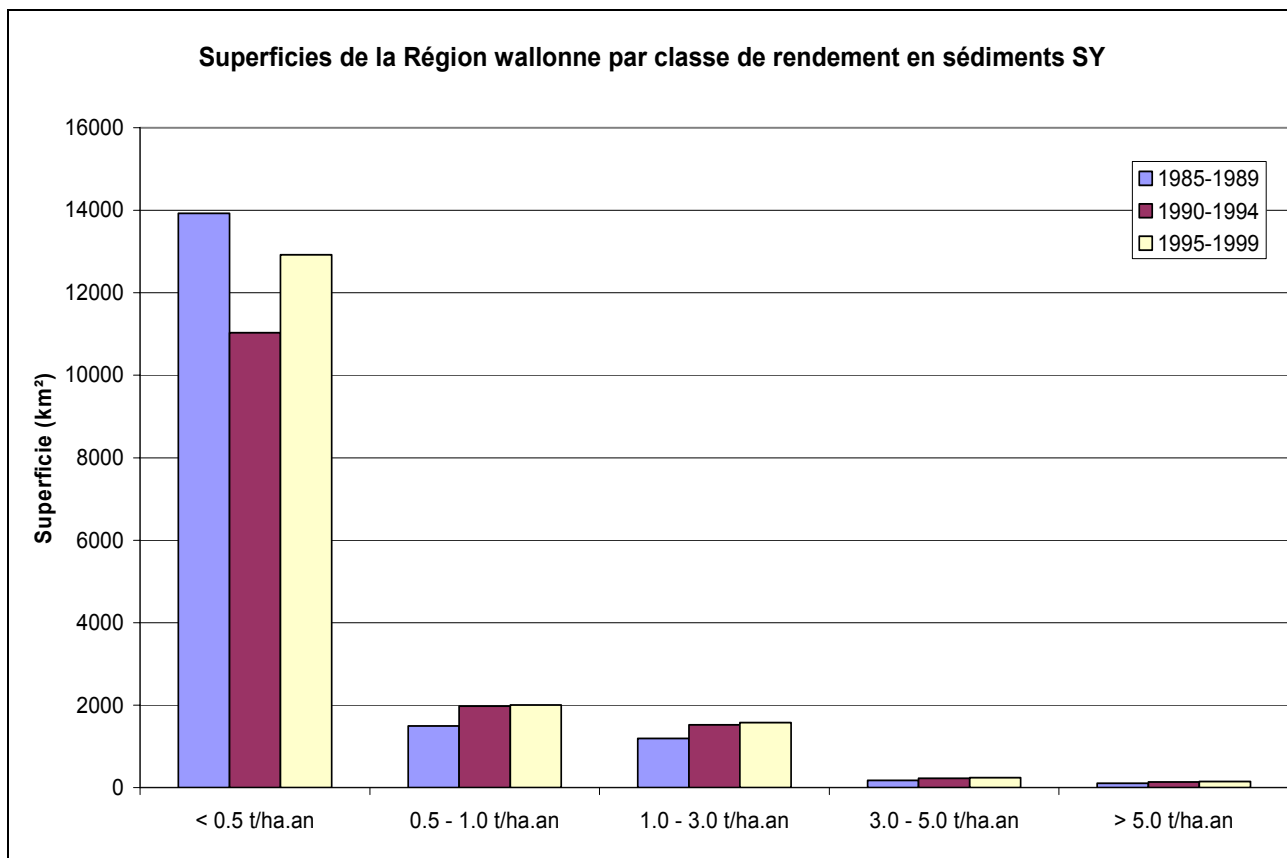


Figure 55 - Répartition des superficies de la Région wallonne par classe de valeurs de rendements en sédiments SY (t/ha.an) parvenant aux cours d'eau, moyennes annuelles par période de cinq années, entre 1985 et 1999 (Estimations EPICgrid ; effets des mesures non incluses) (pour rappel : 1 t/ha.an = valeur de « seuil maximum acceptable » souvent évoqué).

Tableau 8 - Comparaison sommaire entre les approches des modèles utilisés en Région flamande et en Région wallonne

Paramètres de calcul de A_w et SY à l'échelle régionale	Région flamande : Modèles RUSLE + Watem/Sedem (Van Rompey, 2003) pour SY	Région wallonne : Modèle EPICgrid (USLE modifié EPIC + MUSLE pour SY (Foster et al, 2003))
R, érosivité pluie	Pluies moyenne pluri-annuelle + répartition moyenne mensuelle (Bollinne, 1987)	Pluies Journalières + statistiques relatives aux pluies exceptionnelles
K, érodibilité sol	Granulométrie	Granulométrie, MO, structure, perméabilité de la couche superficielle
L_v , longueur de pente du versant	L_v (formulation Desmet and Govers, 1996, sur algorithms de Mc Cool (1987, 1989))	L_v (formulation Williams J.R. et Berndt H.D., 1976)
S , pente	MNT 1 / 50 000 ⁽⁸⁷⁾	MNT 1 / 50 000
$L_v S$, indice topographique	Fonction (L_v, S)	Fonction (L_v, S)
C, indice cultural	- Répartition spatiale de l'occupation parcellaire 1998 - Cultures → C simplifié = constante = 0,37 - Pixel 20 m.	- Répartition spatiale de l'occupation du sol par Télédétection Spot et Landsat 1993 (FUsagx-SSTC-MET_Rw) - Cultures → C variable = Fonction (croissance journalière des cultures, rotations, intercultures, pratiques agricoles, etc. - Pixel 30 m
P_w , indice d'aménagement antiérosif	1 (possibilités de choix <1)	1 (possibilités de choix <1)
Contaminants associés : N, P, pesticides diffus	Non (modèle statistique séparé « SENTWA » pour N et P ; modèle statistique séparé <i>in</i> POCER pour les pesticides)	Oui
Production de sédiments SY	Oui	Oui

⁸⁷ En Région flamande, a été mise en oeuvre une évaluation de la perte en sol potentielle à la parcelle sur base d'un MNT déduit de l'altimétrie laser, moyennant un pixel de 5 m x 5m, - de ce fait le modèle WATEM/SEDEM, comprenant des éléments de de calibration, a demandé un nouveau calibrage en raison, semble-t-il, de la nouvelle précision du MNT (Vanmontfort, B., Van Hove, D., Verstreten, G., Van Rompaey, A., De Man, J., Van Peer, P. (2004) « Mens en landschap in het Dijlebekken » Eindrapport fase 1, studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams gewest, afdeling Monumenten & Landschappen). Le but est d'établir un état des lieux du risque érosif actuel en Région flamande.

La Région wallonne a choisi plutôt l'option d'élaborer un outil permanent d'aide à la décision permettant la prévention et la correction du risque érosif en relation avec les causes (Projet ERRUISSOL en cours d'élaboration (confer Point 1.2) (sur base du PICC - Projet Informatique de Cartographie Continue; MET-RW- au 1/1000^{ème}).

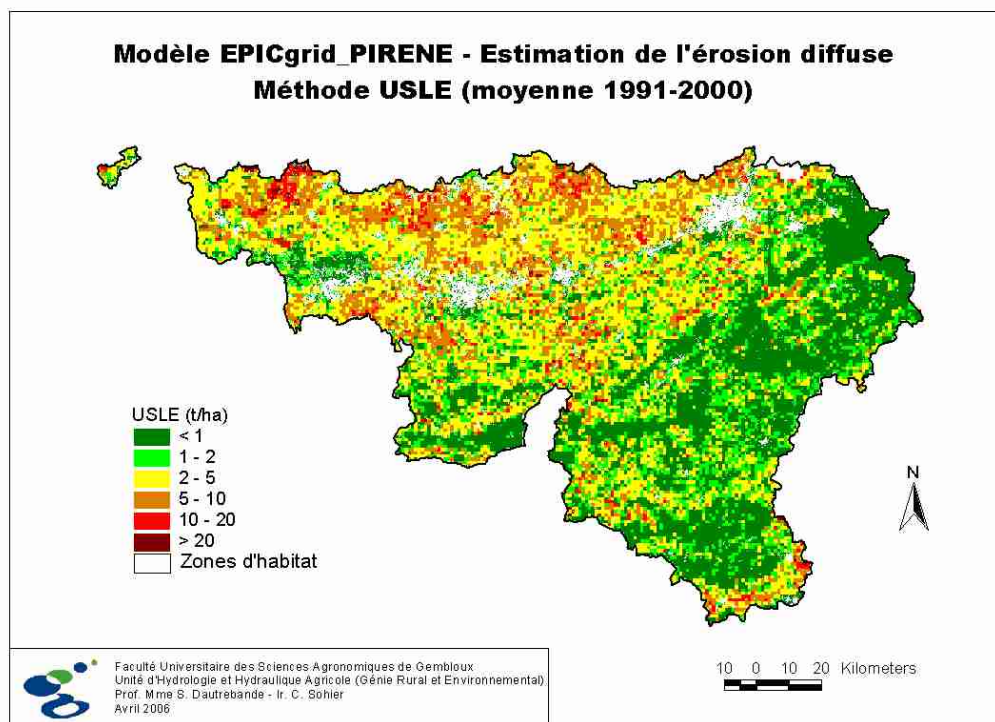
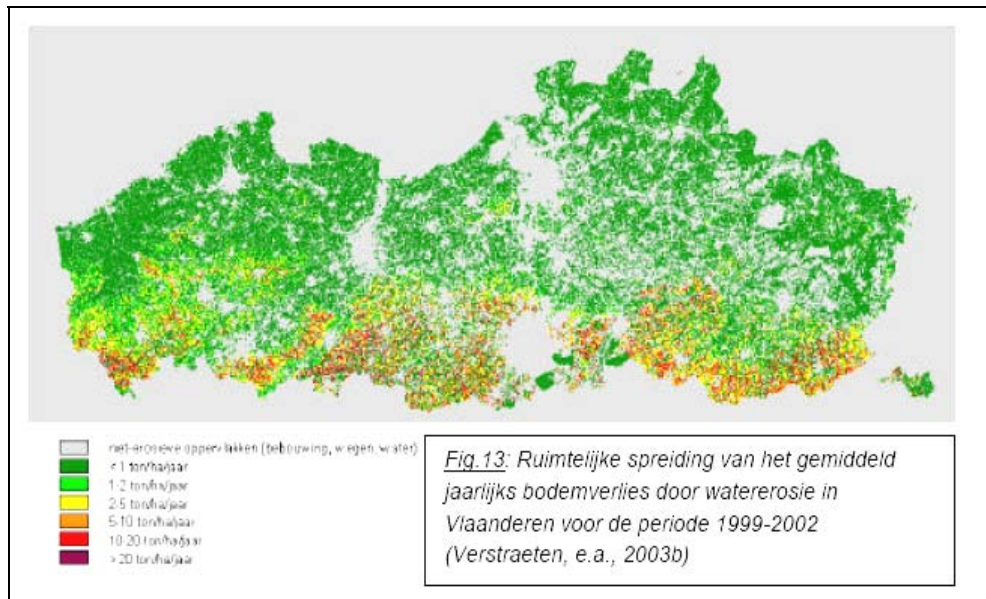


Figure 56 - Comparaison entre la répartition spatiale des classes de valeurs de pertes en sol estimées (a) pour la Région flamande, période 1999-2002 (*in* : Gillijns, K. et al., 2005) – et (b) pour la Région wallonne (modèle EPICgrid, 1991-2000).

4.3.5 Comparaisons avec des résultats de modèles européens

Plusieurs modélisations ont été mises en œuvre au niveau européen, dont les principales ont fait l'objet d'une comparaison par Van Rompaey A. en 2003. Il s'agit des modèles appelés :

- « USLE », (Van der Knijff, J.M. et al., 2000)
- « INRA », (Le Bissonnais, Y. et al., 2002)
- « PESERA », (Gobin, A. et Govers, G., 2003).

Bien que de fortes variantes soient apportées à chacun de ces modèles par rapport à l'approche Wischmeier et dérivées, les principes et fondements sont pour le moins similaires. En ce qui concerne le modèle PESERA, il présente de fortes similitudes avec l'approche EPICgrid pour la Région wallonne ; nous donnons un très bref extrait *texto* de la description qui en est faite⁸⁸, qui démontre les potentialités de PESERA, apparaissant a priori similaires à celles de EPICgrid.

Pour la Belgique, Van Rompaey, A. et al. (2003) ont comparé (Figure 57 : résultats SY) les résultats de pertes en sol estimées par chacun des trois modèles précités, en utilisant l'interface du modèle Water-Sedem (Van Rompaey, A. et al., 2001) pour passer des estimations de pertes en sol des modèles aux estimations de rendements en sédiments SY, ceci aux fins de comparaison et validation avec des observations de dépôts dans les retenues; ils concluent :

- que le modèle « USLE » de Van der Knijff, J.M. et al. (2000) sous-estime fortement les résultats,
- que le modèle « PESERA » surestime les résultats d'observation d'un facteur 2 en moyenne mais présente la meilleure corrélation (dispersion relativement réduite) parmi les trois modèles présentés,
- que le modèle « INRA » fournit une moyenne comparable aux observations mais avec un coefficient de corrélation relativement faible (dispersion élevée car valeurs soit fortement surestimées soit fortement sous-estimées).

Les résultats relatifs à ces trois modèles sont repris en Figure 58 ; les résultats EPICgrid sont mis en regard (codes et classes de couleurs respectives correspondantes). Bien que la comparaison visuelle soit peu aisée, sous réserve d'une comparaison quantitative, il apparaît que les résultats A_w par EPICgrid en termes se répartissent de façon intermédiaire entre les résultats « PESERA » et les résultats « INRA ».

4.3.6 Classement suivant l'OCDE

La présentation des résultats EPICgrid est effectuée en Figure 59, suivant le mode de classement demandé par l'OCDE⁸⁹.

⁸⁸ Extrait :

Le modèle PESERA est construit de telle façon, qu'il peut également fonctionner comme outil d'évaluation de scénarios de changements de climat ou d'occupation du sol tous s'appuyant sur des données journalières et sur le long terme. Les taux d'érosion (en $t \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$) ont été évalués en utilisant les enregistrements quotidiens des précipitations et des températures ... »

⁸⁹ Suivant Questionnaire communiqué aux pays membres de l'OCDE (« OECD AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL INDICATORS: SECOND QUESTIONNAIRE », basé sur Volume 4, COM/AGR/CA/ENV/EPOC (2003) 112) ; la Région wallonne, sollicitée en 2005, y a reporté notamment les valeurs des superficies concernées par classes de SY en l'occurrence issues de la simulation du modèle EPICgrid (confer Point 4).

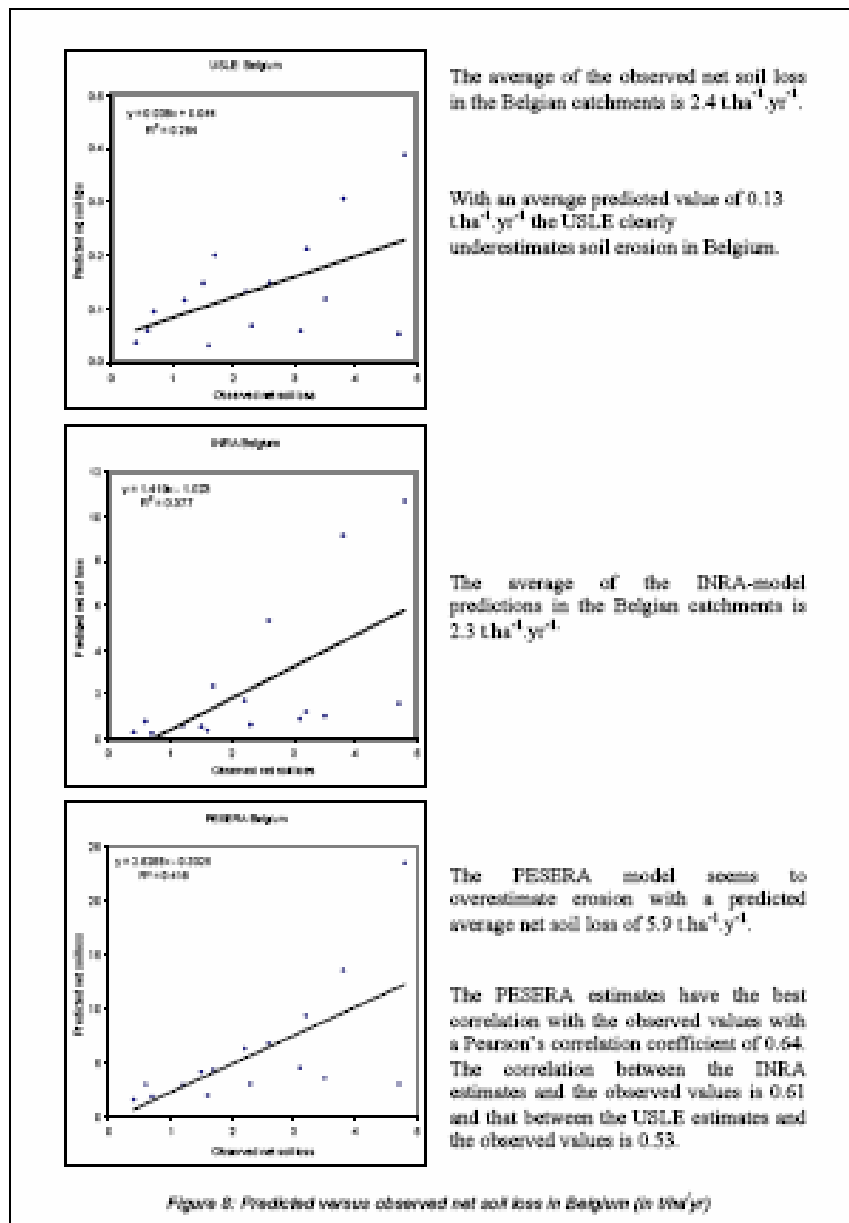


Figure 57 – Valeurs de rendements en sédiments SY : Comparaison entre valeurs observées et calculées (Graphique extrait de : Van Rompaey, A. et al. (2003)).

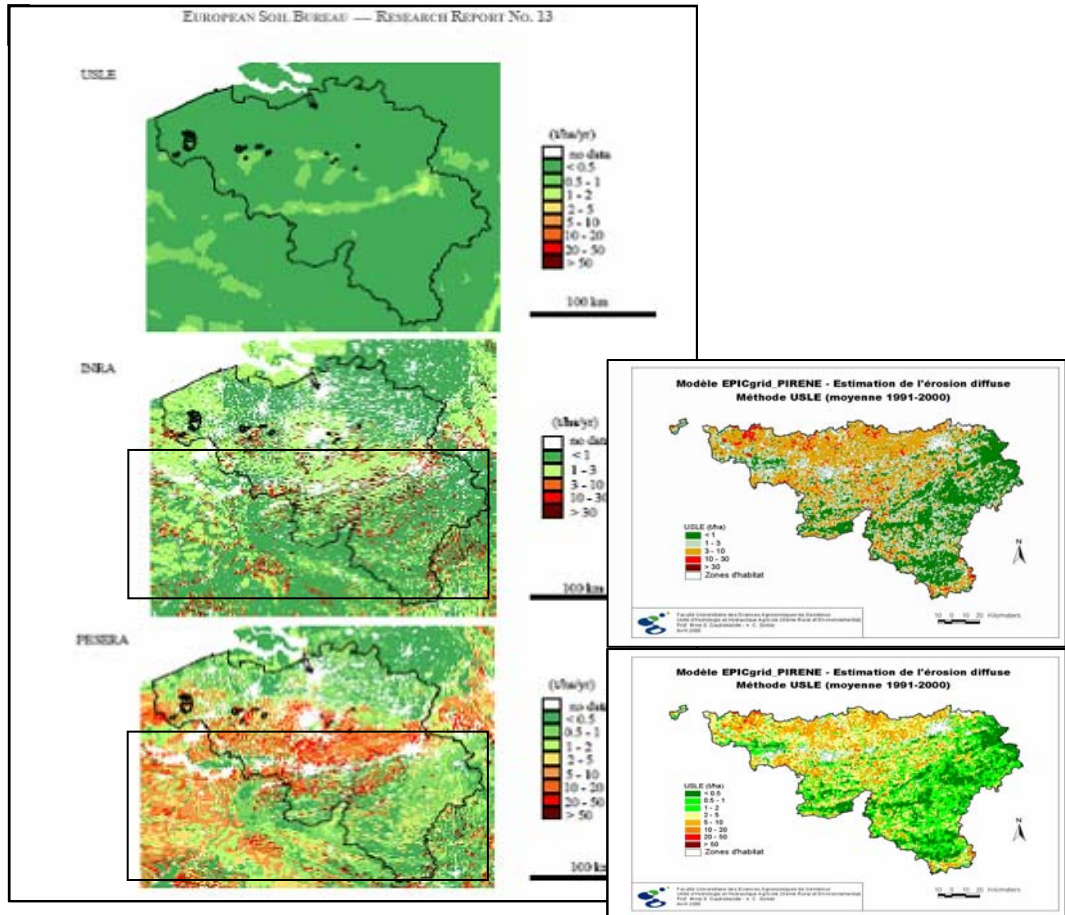


Figure 58 – Estimation de l'aléa perte en sol A_w par trois approches de modèles européens (à gauche) ; à droite, comparaisons EPICgrid (moyenne 1971-2000) avec les résultats du modèle « INRA » ou « PESERA » (1975-1995 pour ce dernier) » (***classes et codes de couleurs EPICgrid appropriés à chaque comparaison***). - Il apparaît que les résultats EPICgrid se situent entre ceux du modèle français INRA et du modèle du projet européen PESERA.

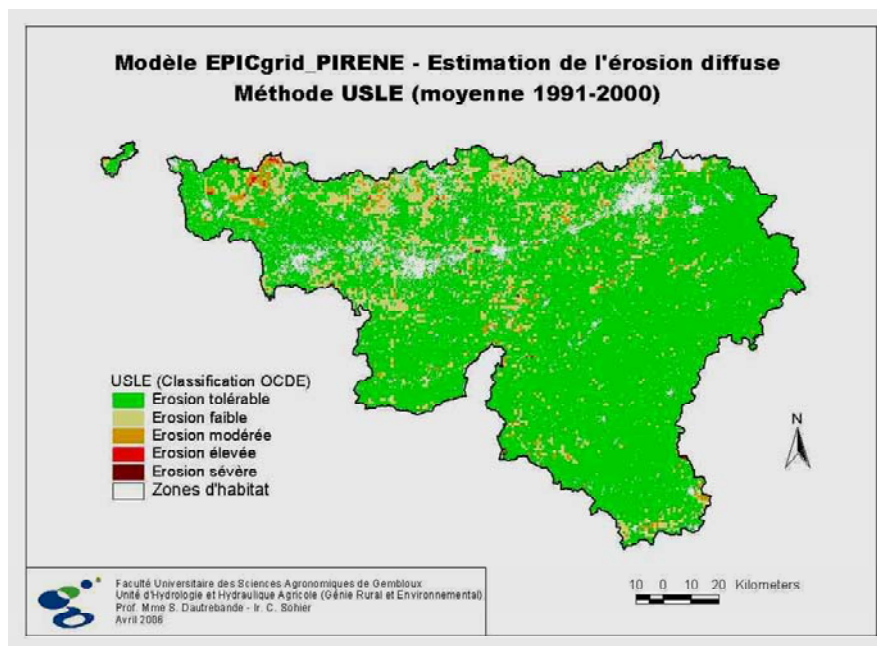


Figure 59 – Classification de l'indicateur A_w (aléa moyen par km^2) évalué par EPICgrid, conformément au classement OCDE (confer Point 3.2).

4.3.7 Le phosphore, les pesticides

Le phosphore

Des observations effectuées en Flandre sur 2 petits bassins sensibles à l'érosion (de 1 à 2 km² de superficie et fortement agricoles (80 % de superficie agricole)) ont montré des pertes en P (ruissellement plus particulaire) se montant respectivement à 1,3 kg/ha.an et 4,9 kg/ha.an (moyennes 1997- 1998) (Steegeen, A., et al, 2001). Citons encore les pertes vers les eaux de surface mesurées entre 1993 et 1997 pour 35 bassins versants de Norvège, Danemark, Suède, Finlande, Estonie, Lettonie et Lituanie, avec des valeurs très variables comprises entre 0,1 à 5 kg/an par ha de SAU (Vagstad, N., et al, 2005). Tous ces chiffres sont difficilement extrapolables à la Région wallonne, d'autant que les sols agricoles y seraient assez régulièrement plutôt déficitaires en cet élément nutritif (phosphore le plus labile).

Sous réserve de validation, les évaluations effectuées via le modèle mathématique hydrologique EPICgrid_PIRENE (Sohier, C., et Dautrebande, S., 2005) indiquent une perte de phosphore total d'origine agricole vers les eaux de surface relativement faible, par érosion diffuse et ruissellement superficiel, de l'ordre de 0,95 kg/ha.an pour la Région wallonne (~2 kg/ha.an de SAU) sur la période 1991 à 2000, soit au total 1600 t/an, chiffre valable également pour la période 2000.

Ces chiffres peuvent être comparés notamment :

- aux valeurs de pertes annuelles en P citées pour de petits bassins versants majoritairement agricoles en Région flamande, variant entre 1,8 et 39,7 kg par an et par ha de bassin versant, de valeur médiane de l'ordre de 4 à 5 kg/ha.an (*in* Gillijns, K. et al., 2005, citant les résultats de mesures et d'étude de Verstraeten et al. en cours de publication);
- aux valeurs statistiques des pertes reprises en Input pour les simulations du modèle Pégase dans les eaux de surface (telles au reprises dans le TBE 2005), de l'ordre de 600 à 800 t/an (soit environ 0,9kg/ha de SAU), valeurs similaires aux statistiques Vanderheyden, V. et Scokart, P. en 1997 et basées sur l'utilisation de coefficients de pertes issus d'études en Allemagne;
- aux ordres de grandeur des pertes vers les eaux de surface du phosphore d'origine industrielle ou domestique en Région wallonne (pertes en diminution ces dernières années) :
 - de 500-600 t/an pour l'origine industrielle,
 - pour l'origine domestique, au choix⁹⁰ (et en 2002 par exemple):
 - soit ~ 1.000 t/an (ou 0,6kg/ha.an) si l'on prend les valeurs proposées par Verbanck M. et al⁹¹ (103 l/hab.j., et 1.2g P/hab.j si la DCO = 100 g O₂/hab.j ou 1.8 g P/hab.j si la DCO = 150 g O₂/hab.j), statistiques reprises comme Inputs dans Pégase pour le TBE 2005 (Figure EAU 7-1),
 - soit 3.030 t/an (ou 1,9kg/ha.an de la Région wallonne) en 2002 si l'on prend la norme officielle⁹² de 180 l/hab.j. et 2,2g P /hab.j, statistiques de rejets

⁹⁰ Évaluations qu'il serait utile d'harmoniser donc.

⁹¹ Verbanck M., Piron C. et Vanderborght J-P, 2003. Contributions des ménages à la charge polluante en Région Wallonne : synthèse des informations disponibles. Rapport d'étude suite à la demande de la PPGIE en date du 6 mars 2002. Programme PIRENE. ULB – Faculté des Sciences Appliquées – Traitement des Eaux et Pollution.

⁹² Arrêté royal du 23/01/1974, M.B. du 15/02/74.

comptabilisées dans les Rapports⁹³ relatifs aux Etats des Lieux des Bassins hydrographiques de la Région wallonne.

Suivant les chiffres considérés pour les rejets d'origine domestique, il apparaît que d'origine agricole est actuellement soit du même ordre de grandeur, soit largement inférieurs au total non agricole.

L'estimation (suivant EPICgrid) de l'évolution des pertes d'origine agricole diffuse vers les eaux de surface est reportée en Figure 60, pour la période comprise entre 1971 et 2000; bien qu'affectée par la variabilité pluviométrique (Figure 28), la décroissance de l'ordre de 10% à partir du début des années '80 est en correspondance avec la diminution des apports minéraux⁹⁴ (Figure 43) de l'ordre de 35 à 50 % suivant les régions agricoles.

En ce qui concerne la proportion du Phosphore dissous dans les eaux de ruissellement, l'estimation à partir du modèle EPICgrid est de 90 % pour un bassin versant comme la Berwinne fortement herbager, pour une perte moyenne en P total de 2 kg/ha.an (période 1991-2000); elle est de l'ordre de 70 % pour un bassin comme le Geer (grandes cultures majoritaires), avec une perte moyenne en P total de 0,25 kg/ha.an sur la même période, le Geer étant un bassin produisant peu de ruissellement superficiel (confer Point 2.3.2). Les résultats par bassin versant hydrographique sont reportés en Figure 61) ; en Figure 62, on a reporté spécifiquement l'évolution des pertes en phosphore associées aux sédiments (graphique extrait du TBE 2005).

Globalement, on constate que les évolutions des pertes domestiques et agricoles de ces dernières années sont de toute façon décroissantes ; en ce qui concerne les pertes d'origine domestique (prises en valeur relative), cette décroissance est en relation avec la diminution de la pression (lessives sans phosphates,...). Il en est de même pour les effets de la pression agricole dont la diminution (confer Point 4.2.2.3) se manifeste au niveau des pertes vers les eaux de surface (l'état), telles qu'évaluées par EPICgrid, par une certaine stabilisation sinon une diminution (Confer Figure 60) contrecarrée peut-être partiellement par l'augmentation de la pluviométrie (Figure 28).

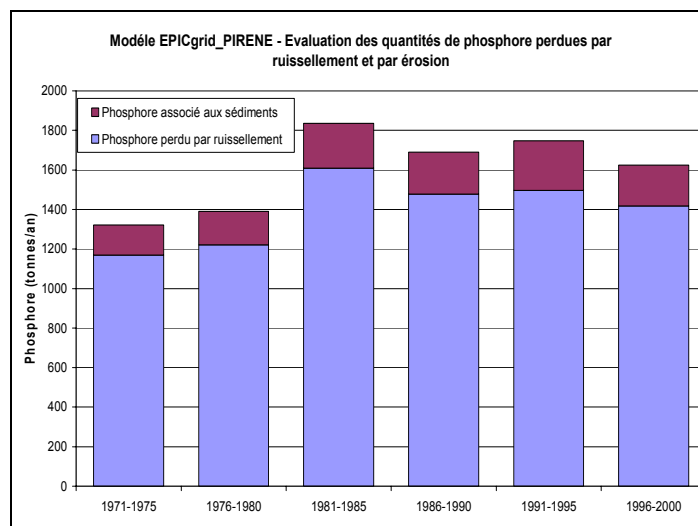


Figure 60 – Evolution du Phosphore total d'origine agricole diffuse vers les eaux de surface ; période 1971-2000 (simulations EPICgrid).

⁹³ Etats des lieux, suivant Directive 2000/60/ED du 22/12/00 (JO).

⁹⁴ En remarque, les apports phosphorés d'origine organique influencent également les pertes en Phosphore et leur répartition suivant les Régions agricoles ; ils sont inclus dans la simulation EPICgrid mais ne sont pas illustrés ici.

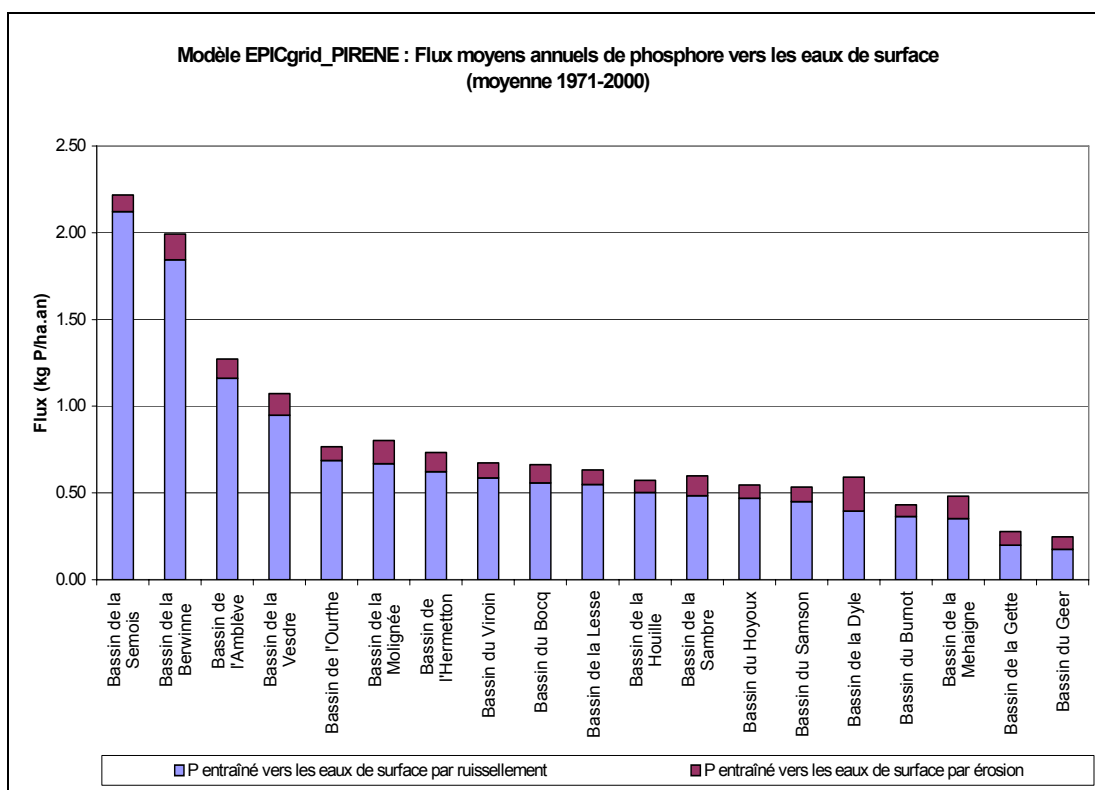


Figure 61 – Pertes moyennes annuelles de phosphore vers les eaux de surface (composantes ruissellement et sédiments transportés), en kg P /ha.an – Moyennes 1971-2000 ; Estimations EPICgrid (Projet PIRENE).

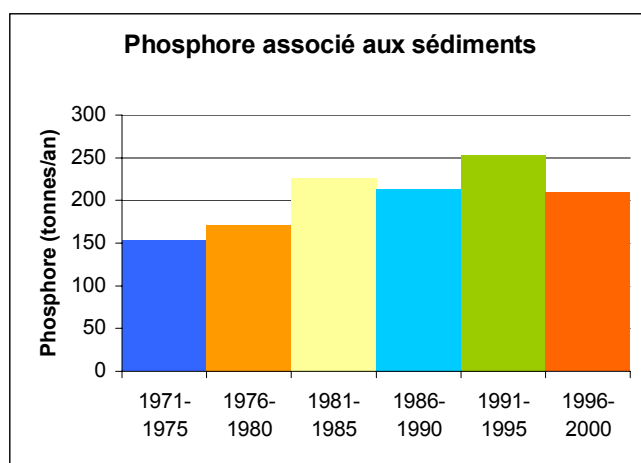


Figure 62 – Pertes en phosphore d'origine agricole associées aux sédiments, vers les eaux de surface (Graphe TBE 2005 ; source des données : simulations EPICgrid, (PIRENE *partim* HA-FUSAGX)).

Les pesticides

En ce qui concerne le système d'indicateurs POCER-PRIBEL, eu égard aux eaux de surface, l'indicateur pesticide par substance active est évalué suivant l'approche indiquée en Point 2.4.3, l'aléa étant PCOW = concentration moyenne annuelle en pesticide s'écoulant vers les eaux de surface.

En ce qui concerne le modèle EPICgrid, les flux et concentrations en pesticides dans les eaux de ruissellement sont évaluables via la modélisation hydrologique ; dans le cadre du projet PIRENE (Sohier, C. et Dautrebande, S., 2005), l'atrazine a fait l'objet d'une simulation pour le bassin de la Meuse et les années 1970 à 2000. Pour les deux années 1998-1999, les pertes moyennes annuelles simulées relatives aux eaux de ruissellement ont été de 0,25 g/ha pour le bassin du Geer (465 km² - cultures : 80 % de la superficie -, région limoneuse).

Pour seule comparaison disponible, une étude sur les concentrations en divers pesticides et biocides a été menée sur le Nil (32 km² - cultures : 75 % de la superficie -, région limoneuse, affluent de la Dyle, bassin de l'Escaut), par Beernaerts, S et al (2000) ; les prélèvements dans le Nil ont été effectués quotidiennement entre début mars et fin juin, pour les années 1998 et 1999. En ce qui concerne en particulier l'atrazine, le total relatif à chacune des deux années de mesure est de l'ordre de 0,6 à 0,7 gr/ha de bassin, total correspondant à la somme des pertes ponctuelles (pertes directes par vidange de cuve dans les égouts, etc.) et les pertes diffuses issues du ruissellement sur les terres ; les auteurs estiment la part de l'atrazine diffus agricole par rapport au total comme étant de l'ordre de 25%, soit 0,16 g/ha.

A titre illustratif, les résultats de la simulation EPICgrid du Projet PIRENE, relatifs à l'évolution de la concentration en atrazine d'origine agricole diffuse dans les eaux de ruissellement, sont reportés en Figure 63 pour le bassin du Geer à Kanne et quatre des trente années de simulation.

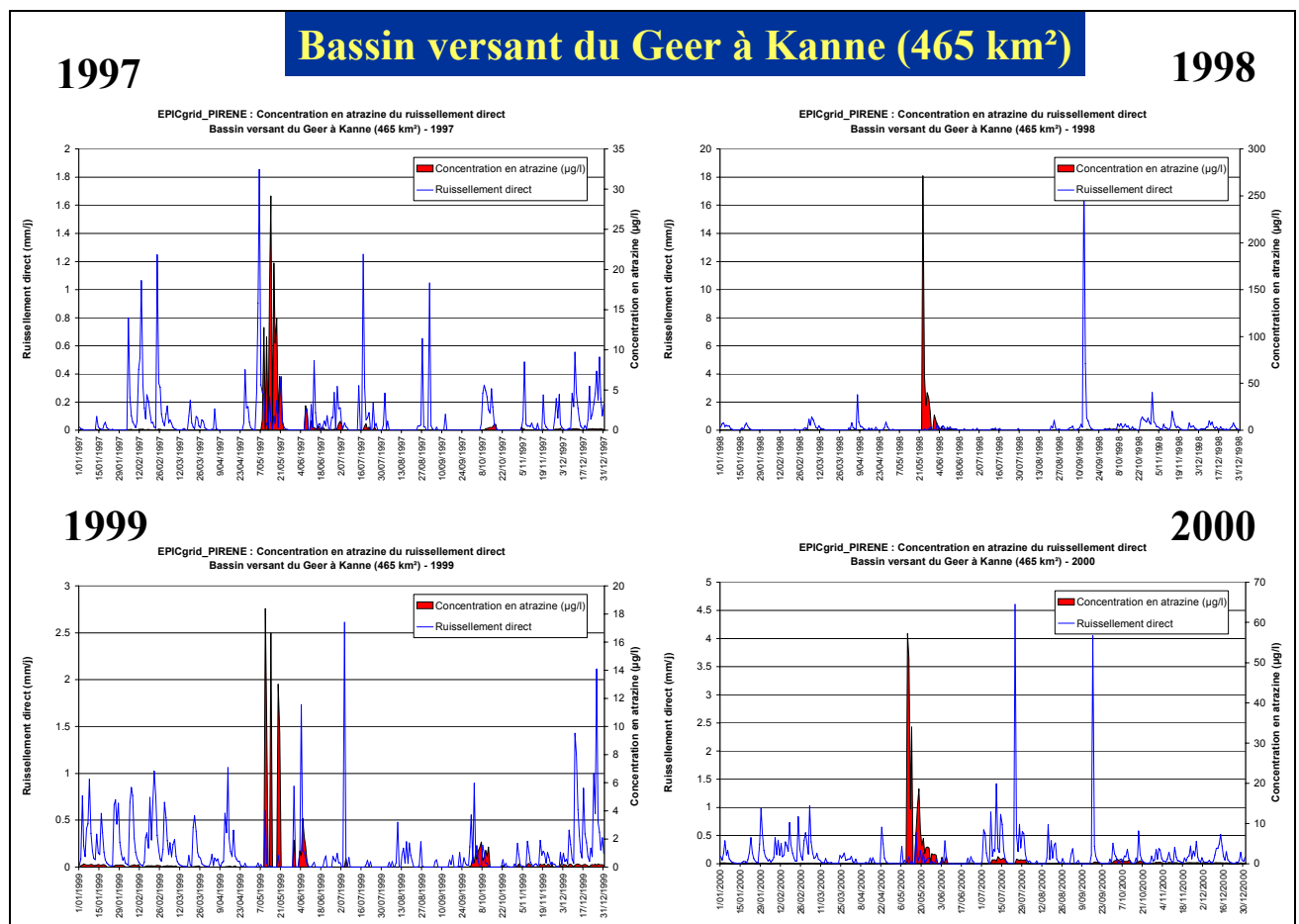


Figure 63 – Exemple de résultat de simulation EPICgrid : Concentration en atrazine des eaux de ruissellement, bassin du Geer.

4.4 Impact

Les indicateurs d'impact doivent permettre de traduire l'importance des dommages prévisibles ou existants, en relation avec des seuils et coûts⁹⁵ acceptables sur le plan socio-économique et environnemental.

Le Tableau 9 résume les différents indicateurs d'impact (risques de dommages On et Off) en conséquence des aléas (Etat) décrits précédemment, à savoir respectivement les taux d'érosion A_w et de rendement en sédiments SY , rapportés à leur(s) seuil(s) critiques(s) d'acceptabilité maximale et classés en conséquence. On considère généralement deux seuils critiques : un seuil de tolérance et un seuil « recommandé ».

Ces seuils critiques sont en principe à définir en fonction de critères de vulnérabilité, eux-mêmes liés à des enjeux (confer Figure 12) ; le Tableau 9 résume les propositions les plus fréquemment avancées.

Tableau 9 - DPSIR « Erosion hydrique accélérée » Evolution annuelle spatio-temporelle d'indicateurs d'Impact /km² ou /BHV ou /Zone sensible

IMPACT	SECTEUR	INDICATEURS	DONNÉES SOURCE
- Risque de dommages « On » parcelle : fertilité physique, physico-chimique et biologique du sol ; - (Risque de dommages « Off » Point Noir parcelle)	« On » (et « Off ») Parcelle agricole	Pertes en sol relative (classes et superficies concernées) : $A_w / A_{w,cr}$ $A_{w,cr}$ = paramètre de vulnérabilité	- seuils « critiques » souvent cités pour $A_{w,cr}$: 1, 5 et 10 t/ha.an ; parfois mis en relation avec l'épaisseur de sol meuble fertile (« Horizon A ») ou avec l'épaisseur de la zone racinaire des plantes.
- Risque de dommages « Off » aux eaux de surface	Eaux de surface	SY / SY_{cr} SY_{cr} = paramètre de vulnérabilité	- $SY_{cr} = A_{w,cr}/10 ? =$ Taux de sédiments (suspension + charriage de fond) (→ niveau de dommages acceptables) dans eaux de surface (et Bassins d'orage) ? - ou seuil à définir en fonction, par exemple : nombre de km cours d'eau/km ² ? - ou classes à définir en fonction du classement de la qualité attendue des cours d'eau eu égard aux apports totaux en sédiments (classes de vulnérabilité des eaux de surface sur base état chimique et écologique attendu) ⁹⁶ ? - ou en fonction des coûts de dragage et d'entretien ?....

⁹⁵ Les évaluations en termes de coûts sont rares; citons par exemple :

- Moore, W.B. and Miller. S.F. (1987) « Off-site economic impacts of soil erosion » in L.F. Elliott (ed.). STEEP - Conservation Concepts and Accomplishments. WSU Publications, p. 633-641.

- Robinson, D.A. et Blackman, J.D. (1990) « Sme costsand Consequences of Soil Erosion and Flooding around Brighton and Hove, Autumn 1987 » in « Soil Erosion on Agricultural Land » ED. Boardman, J., Foster, I.D.L. et Dearing, J.A. (1990) John Willey & Sons Ltd., pp 369-382.

- D. Pimenta, I C. Harvey, P.Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shprinz, L. Fitton, Blair R. (1995) " Environmental and economic csts of soil erosion and conservation benefits" Science, Vol.267, 1117- 1123.

⁹⁶ Classement SEQ-Eau pour ce qui concerne les matières en suspension (MES) totales et le Phosphore total, d'origine donc pas seulement agricole (confer les « Etats des lieux des Sous-bassins hydrographiques en Région wallonne » Observatoire des Eaux de Surface, DGRNE, MRW, 2005) : les MES et le Phosphore font partie du groupe des macropolluants. Il est à remarquer que le débit solide de fond (charriage de fond) n'est pas inclus dans cette caractérisation de l'état.

4.4.1 Indicateurs de dommages « On »

4.4.1.1 Les dommages à la parcelle (« On »)

Les types de dommages « à la parcelle agricole » peuvent être globalement regroupés comme suit :

- A court terme : dégâts aux cultures⁹⁷ (Exemple de la Photo en Figure 64) (semis, développement, rendements agricoles, dégâts par concentration de pesticides et par départ de fertilisants et produits phytosanitaires,...), travaux des champs accrus en conséquence, travail du sol rendu difficile (accumulation de boues, nécessité de combler des ravines éventuelles),...
- A long terme : perte de productivité agricole et déclin de la qualité du sol par la perte de ses qualités physique, chimique et biologique (Enjeux de fertilité⁷⁸ au sens agronomique et environnemental) :

La dégradation de la qualité (fertilité) physique du sol est liée notamment :

- à la modification de l'état de surface, déjà largement évoquée plus haut (destruction de la micro-porosité, solifluxion,...)
- à plus long terme, à la diminution de la couche de sol de surface, donnant progressivement accès aux couches sous-jacentes généralement plus compactes et moins drainantes.

La dégradation de la qualité (fertilité) chimique accroît la nécessité d'apports de fertilisants et phytosanitaires, non sans conséquences sur la problématique de pollution des eaux...

La dégradation de la qualité (fertilité) biologique du sol correspond à une perte de sa biodiversité (faune, flore, microbiologie) c'est-à-dire de la « vie du sol », avec les conséquences extrêmes de dégradation généralisée et de « désertification ».

4.4.1.2 Classement de vulnérabilité « On »

En ce qui concerne l'indicateur A_w de Pertes en sol, les valeurs maximales recommandées et tolérées (seuils critiques) de l'indicateur « Perte en sol A_w » souvent proposées sont respectivement 5 t/ha.an (\sim 0,4 mm de sol/an) et 10 t/ha/an (\sim 0,8 mm/an), parfois moins cependant (cité par Doorren, L. *et al.*, 2004) ; le classement est généralement effectué en termes de pourcentage de superficies concernées par classe de valeur « haute, moyenne, faible » plutôt que de donner des valeurs quantitatives somme toutes difficilement validables (exemple : OCDE, 2005 ; aux USA : Heimlich, 2003).

⁹⁷ En 1978, Bollinne, A et al. (1978) (*in* Bollinne, A. (1982)) ont estimé que l'ensemble des pertes moyennes annuelles en région limonaise – surtout dues à la culture de betterave et aux cultures maraîchères, moins des céréales de l'époque –froment, escourgeon, étaient de l'ordre de 3 à 5% de la valeur de la récolte, incluant dégâts aux cultures proprement dits (2 à 3 %), frais de réensemencement et baisses de rendement dus aux réensemencements tardifs (0,5 à 1%) et à la diminution de productivité de certaines catégories de sols (0,5 à 1%).

Etant donné la correspondance entre quantité et épaisseur érodée, la tendance est aussi de considérer des normes d'acceptabilité différentes en fonction des épaisseurs de sol meuble « disponibles » (*Horizon « A »* ou bien zone racinaire) ; il s'agit d'une option axée sur un concept de productivité. Un exemple est l'indicateur d'impact adopté par l'USDA⁹⁸ (*in* Heimlich, 2003) dans lequel la perte d'épaisseur relative de sol (*Horizon « A »*) est associée à un critère économique⁹⁹.

Une autre tendance est de considérer comme valeur seuil l'épaisseur de sol naturellement renouvelable (par opposition au processus d'érosion diffuse accélérée induit par les activités humaines) ; ce concept inclut, outre l'aspect productivité, un concept environnemental et de durabilité. Le seuil critique sera alors fonction, pour le moins, de la région écoclimatique (Force motrice « naturelle ») concernée.

Il s'ensuit cependant, dans un cas comme dans l'autre, que le paramètre « Epaisseur du sol » est utilisé pour définir les classes de vulnérabilité.

Les deux tendances devraient donc pouvoir être complémentaires ; une réflexion reste à mener à ce sujet. Dans cet esprit, et sans préjudice de l'utilité d'affiner le constat, il est intéressant de rappeler que, en Région wallonne, les régions agricoles sont globalement en correspondance avec les régions écoclimatiques (Confer Point 4.2.1, Forces motrices), elles-mêmes aussi en correspondance relative avec les épaisseurs de sol meuble.

4.4.2 Indicateurs de dommages « Off »

4.4.2.1 Dommages « Off »

Les principaux types de dommages « Off » en aval d'une parcelle, d'un parcellaire ou d'un petit bassin versant, peuvent être regroupés comme suit :

- Dommages dus aux coulées et eaux boueuses au niveau des habitats (Photo de la Figure 65) (habitations envahies par les eaux de ruissellement boueuses - avec un coût accru de la remise en état par rapport aux seules inondations - dommages psychosociaux consécutifs (stress, conflits), boues sur les voiries (et dégâts aux infrastructures, (Photos de la Figure 67) - et risques d'accident¹⁰⁰ associés,..., accroissement des inondations par ruissellement (collecteurs, cours d'eau voûtés) ou par débordement (cours d'eau à ciel ouvert) en raison des obstructions (Figure 68) et dépôts dans ces voies d'eau.
- Dommages dus aux flux et dépôts boueux sur des parcelle(s) agricoles elles-mêmes (plus ravinements éventuels), par concentration des eaux de ruissellement issues de la parcelle, du parcellaire ou du bassin versant amont (Photos de la Figure 3); dommages psychosociaux consécutifs (stress, conflits).
- Dommages aux eaux de surface dus à l'entraînement et aux dépôts dans les collecteurs cours d'eau, plans d'eau (étangs, lacs, réservoirs), avec toutes les conséquences liées au fait :

⁹⁸ USDA = U.S. Department of Agriculture.

⁹⁹ La « perte de productivité » par effet de l'érosion (Erosion productivity loss, EPL) prend en compte un facteur érosion, l'épaisseur de sol (horizon A), et un facteur économique. La formule est $EPL = \text{rent} / \text{années de vie}$, avec « années de vie » = épaisseur moyenne annuelle de sol perdu par érosion hydrique diffuse – évaluée à partir de A_w , par exemple -) divisée par l'épaisseur de l'« horizon A » et « rent » = rentabilité moyenne régionale de la terre par unité de surface. Le terme inclut aussi s'il y a lieu l'érosion éolienne.

¹⁰⁰ Ce problème a fait l'objet d'une question parlementaire ; il apparaît que la jurisprudence est partagée sur le sujet des responsabilités (agriculteur, conducteur,...) (confer « Plein Champs, 13 Janvier 2005).

- que les sédiments sont en partie transportés (charge solide en suspension – Photo de la Figure 69) vers des cours d'eau de plus en plus importants, jusqu'aux océans eux-mêmes;
- que ces sédiments transportés entraînent avec eux des substances fertilisantes, des pesticides et autres substances, avec impact sur le vivant des eaux de surface (en raison de processus d'eutrophisation, d'acidification, de pollution par des micropolluants, etc);
- que les dépôts et charriages de fond entraînent des nécessités de curage ou de dragage¹⁰¹ des cours d'eau, voies d'eau navigables (problèmes de navigabilité notamment), plans d'eau et réservoirs (lacs, étangs, bassins d'orage¹⁰²,...) ainsi que des problèmes de mise en décharge des boues qui en sont issues, plus ou moins contaminées par des substances d'origine tant agricole, qu'industrielle ou domestique.

4.4.2.2 Classement de vulnérabilité (« Off »)

Eaux de surface

Pour les eaux de surface, des valeurs-seuil acceptables $S_{y_{cr}}$ sont rarement évoquées, on trouve $S_{y_{cr}} = A_{w,cr}/10$, à considérer dès lors comme la valeur maximale acceptable en termes de quantité annuelle moyenne de sédiments (SY) parvenant aux eaux de surface (et aux Bassins d'orage).

Compte tenu du fait que les paramètres de matières en suspension sont repris dans le descriptif SEQ-Eau, il resterait à définir un critère relatif au charriage de fond (critère lié à l'importance des boues « de dragage » et aux coûts associés ? en relation avec la densité spatiale du réseau hydrographique ?), se rappelant que le partage des « responsabilités » en vue de l'application de mesures est à évaluer en tenant compte des apports en sédiments d'origine non agricole.

Points Noirs

Pour le cas des « Points Noirs », une synthèse cartographique des enquêtes réalisées ou en cours (Enquête Biolders Ch. Et al. (2003) (Tableau 1), enquête communale DGRNE en cours - confer Point 1.2 -, certains éléments de l'enquête « Zones inondables » du PCZI¹⁰³), inventaire des sites ayant fait l'objet d'études ou d'expertises) permettrait de valoriser l'information empirique d'identification des Points noirs vulnérables aux apports boueux par effet de ruissellement, en termes de type (« en aval de quoi ?») et répartition spatiale, sinon de fréquence et importance (des dommages).

¹⁰¹ IRGT- Institut Royal pour la Gestion durable des ressources naturelles et la promotion des Technologies propres (2005) "Gestion des boues : Etat des lieux, arriérés du passé et défis environnementaux" Notice N°2, 26 pages.

¹⁰² Une vérification sur 20 bassins d'orage dans la région limoneuse belge (pour des bassins versants de 7 à 5.000 ha) a montré que leur capacité de retenue annuelle a diminué de 3 à 28 % (Verstraeten et al., cité par Gillijns, K. et al. (2005)).

¹⁰³ Enquêtes menées sous la direction du Prof. Petit, ULg (*partim* du Projet du Gouvernement wallon pour la cartographie des zones d'inondation par débordement de cours d'eau (ULg-FUSAGx, 2005-2007)).



Figure 64 – Dégâts aux cultures (Photo UHAGx-FUSAGX).



Figure 65 – Dégâts d’eaux et de boue (Photo communiquée par G. Servotte, OWDR).



Figure 66 – Dépôts boueux sur voiries ((a) Photo S. Dautrebande, (b) Photo communiquée par G. Servotte, OWDR).



Figure 67 – Dégâts des eaux et des boues aux infrastructures (plus érosion de la berge du cours d'eau au point ayant servi d'exutoire aux flots boueux) (Photos S. Dautrebande).



Figure 68 – Fossé collecteur obstrué par les dépôts de boue (Photo S. Dautrebande).



Figure 69 - Eaux brunâtres en raison du débit solide en suspension dans le cours d'eau en phase de crue (Photo Emm. Gaspar).

4.4.2.3 Le phosphore, les pesticides

Le phosphore

L'intérêt pour la problématique de la contamination des eaux par le phosphore ne fait que croître^{104, 105, 106}. En ce qui concerne la Région wallonne, le phosphore total (y compris d'origine non agricole donc) est inclus dans la description du bon état des eaux de surface, via le mode de classification SEQ-Eau adopté par la Région wallonne⁹⁶ : en ce qui concerne le Phosphore en particulier, rappelons que pour la Région wallonne les évaluations EPICgrid de l'aléa de production en Phosphore d'origine agricole dans les eaux de ruissellement (Point 4.3.7) apparaissent comme étant du même ordre ces dernières années que la production en Phosphore d'origine non agricole apporté aux eaux de surface (TBE 2005), en raison notamment de la diminution sensible des apports domestiques.

Pour autant que le seuil P soit considéré comme critique (0,1 mg/l P_PO4 pour le risque d'eutrophisation¹⁰⁷) et que certaines masses d'eau de surface aient, en Région wallonne, atteint ou dépassé ce seuil en termes d'indice SEQ-Eau¹⁰⁸, alors la proportion des apports respectifs (agricoles, domestiques, industriels) par masse d'eau de surface reste à déterminer - sur base des résultats des modèles EPICgrid (Sohier, C. et Dautrebande, S., 2005) et PEGASE (Smits J. et al, 1997), par exemple - avant de prendre les mesures en conséquence.

Un exemple d'étude détaillée à ce sujet a été réalisé pour le cas particulier des lacs 'Eau d'Heure, dont notamment évaluation de la contribution agricole effectuée via EPICgrid (Sohier, C. et Dautrebande S., 2004) *partim*¹⁰⁹ : la contribution d'origine agricole s'y est avérée négligeable eu égard aux composantes domestiques et touristiques d'une part et à la pression agricole relativement faible dans les bassins versants afférents d'autre part.

¹⁰⁴ OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic Agreement on the Eutrophication Monitoring Programme (Reference Number: 2005-4) (Supersedes agreement 1995-5. Source: EUC 2005 Summary Record - EUC 05/13/1, Annex 6).

¹⁰⁵ Proposal for a new Cost : « Cost Action 689, Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwater » 164th CSO Meeting - 29-30 mars 2006.

¹⁰⁶ Par exemple : « Min. de la Communauté Flamande, Décret du 11 mai 1999 modifiant le décret du 23 Janvier 1991 relatif à la protection de l'environnement contre la pollution due aux engrais et modifiant le décret du 28 juin 1985 relatif à l'autorisation écologique. » OU « 25 mars 2004 - Arrêté du Gouvernement wallon portant programme de réduction progressive des émissions de SO₂, NO_x, COVphot et NH₃ (M.B. 20.08.2004) »

In « Etats des lieux des 15 sous-bassins hydrographiques en Région wallonne » DGRNE, Observatoire des Eaux de Surface (2005).

¹⁰⁸ Confer Figures et Tableaux relatifs à « L'évaluation de l'aptitude à la biologie des cours d'eau wallons pour l'altération « Matières phosphorées ; données 2002 » *in* Rapport sur les Etats des Lieux des Sous-bassins Hydrographiques en Région wallonne, Observatoire des Eaux de Surface, DGRNE, MRW, 2005. (www.environnement.wallonie.be).

¹⁰⁹ Etude IGRETEC (Intercommunale pour la Gestion et la Réalisation D'Etudes Techniques et Economiques) (2004) « Schéma directeur intégré pour la préservation de la qualité de l'eau et la valorisation écologique des lacs de l'Eau d'Heure dans le cadre du développement touristique et économique du site » Projet réalisé en collaboration avec les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (Unité de Recherche en Biologie des Organismes), le Groupe Interuniversitaire de Recherche en Ecologie Appliquée (GIREA – FUNDP), l'Université de Liège (Centre d'études et de Modélisation de l'Environnement et Laboratoire de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de prospection Géophysique) et la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx-Hydrologie & Hydraulique Agricole).

Les pesticides

Eu égard aux eaux de surface, en ce qui concerne le système d'indicateurs de risque POCER-PRIBEL promu au niveau fédéral, compte tenu de l'indicateur d'aléa PCOW, l'indicateur de risque l'indicateur de risque est $RI_{\text{aquatic organisms}} = PEC_{\text{aqua org}} / \text{minimum}(\text{norm}_{\text{aquatic organisms}})$, avec $PEC_{\text{aqua org}} = PCOW / (1 - BFI)$ (confer Point 2.4.3) et « $\text{minimum}(\text{norm}_{\text{aquatic organisms}})$ » : seuil minimum de concentration ou de dose (« endpoint ») pour trois groupes d'organisme aquatiques définis, établi sur base de critères d'exposition et de toxicité, tel qu'il corresponde à l'apparition d'un dommage potentiel pour lequel aucune action préventive n'est possible.

Comme indiqué précédemment, , le terme $PEC_{\text{aqua org}}$ peut en toute éventualité être alimenté par des résultats de simulation qui seraient issus de la modélisation hydrologique EPICgrid notamment, aussi bien en ce qui concerne les flux hydriques que ceux relatifs aux pesticides d'origine agricole diffuse (et dispersée).

Rappelons que les seuils doivent répondre aux exigences de la Directive-Cadre Eau (Dir. 2000/60/CE) pour les eaux de surface (critères chimiques et écologiques)⁴¹ et être définis pour chacune des matières actives relatives aux substances jugées pertinentes¹¹⁰ en l'occurrence par la Région wallonne (AGW du 29/06/2000 et AGW du 12/09/2002).

4.5 Réponses

« Les Réponses sont les réactions apportées par la société pour corriger l'état des compartiments environnementaux, ainsi que les progrès réalisés lors de la mise en place des politiques environnementales ou ayant un impact sur l'environnement » (confer Point 4, analyse DPSIR).

Les réactions se traduisent par des mesures¹¹¹ appropriées, prises de façon séquentielle ou en parallèle ; les outils instrumentaux pour la conception, de décision, de mise en œuvre et de suivi des progrès réalisés (efficacité des mesures) sont de nature très diverse. On distinguera essentiellement les réponses d'ordre :

- politique, de tout niveau (européen, régional, communal, ...),
- institutionnel : structures administrative ou autres de mise en œuvre, d'appui, de contrôle,...
- normatif et/ou réglementaire¹¹² : directives, règlements, normes,...
- éducationnel : sensibilisation, formation, information,
- technologique : outils de suivi et d'aide à la décision tels que réseaux d'observations, bases de données, SIG thématiques, modèles,...
- scientifique : études, expertises et recherches
- technique : les pratiques et aménagements à mettre en œuvre,
- financier : subsides, taxes, amendes, dédommagements par Fonds et assurances,...
- ...

¹¹⁰ Confer notamment Rapport d'étude de Rung, J. et al, 2003.

¹¹¹ Le mot « mesure » est pris au sens de « disposition, moyen ».

¹¹² Le caractère des mesures d'ordre réglementaire peut être obligatoire ou non obligatoire (application sur base volontaire).

Les décisions à prendre en termes de mesures d'ordre technique et/ou financier doivent être fonction en principe de l'importance des dommages et des enjeux en cause. En outre d'une manière générale, pour être efficaces, les solutions doivent être adaptées aux conditions régionales sinon locales, tant sur le plan écoclimatique que sur le plan socio-économique ; ceci est particulièrement vrai pour la problématique de l'érosion, ce qui constitue en bonne part la difficulté de la mise en œuvre de solutions appropriées : en effet, elles concernent certes l'agriculture mais aussi le cycle de l'eau (vulnérabilité des eaux de surface), le milieu (vulnérabilité intrinsèque des zones sensibles), et l'aménagement du territoire (vulnérabilité des Points Noirs).

Dans nos régions, en ce qui concerne l'érosion des terres agricoles, les pratiques et aménagements à envisager sont de nature agronomique et/ou de petite et moyenne hydraulique ; cependant les mesures techniques appropriées seront différentes suivant que l'on s'adresse à l'érosion proprement dite ou à la perte en sol. Dans le premier cas, les mesures seront préventives (ou correctives si le problème est présent) et auront en vue de minimiser l'aléa d'érosion (exemples : modification des pratiques agricoles ou de la circulation de l'eau sur le bassin versant, réorganisation du parcellaire, diminution de la sensibilité du sol à l'érosion, et jusqu'à même modification de la topographie,...); dans le second cas, elles sont destinées à prévenir ou à corriger les problèmes de type « Off » (aléas de coulées boueuses aux « Points noirs » ou vers les eaux de surface) et ne pourront être qu'un palliatif eu égard aux problèmes d'érosion des terres en amont (exemples : bandes enherbées pour parcelles sensibles à l'érosion diffuse, bassins de rétention et sédimentation,...).

En ce qui concerne les conséquences des mesures liées à l'érosion ou à la perte en terre sur les contaminants diffus nitrate, phosphore et pesticides, elles seront préventives ou palliatives au même titre.

Au lieu ou en plus de considérer la modification de l'aléa au niveau des zones sensibles, il est aussi possible de considérer (confer Figure 15 et Figure 16):

- une modification des enjeux (... accepter une diminution sensible de l'épaisseur fertile des sols, quitte à corriger par des apports de fertilisants et amendements),
- une modification de la vulnérabilité (... ne pas placer d'habitat aux Points noirs...),
- une modification de l'exposition (...ou protéger ces habitats par des aménagements appropriés),
- une action au niveau des dommages (exemple : indemnisation des agriculteurs et des sinistrés, compte tenu de la notion de catastrophe naturelle (pression climatique)).

En termes de Réponse DPSIR, il conviendra dans tous les cas d'identifier en correspondance des indicateurs d'avancement et des indicateurs d'efficacité.

4.5.1 Prévention et correction de l'érosion

4.5.1.1 La parcelle agricole

Limitation du ruissellement et de l'érosion diffus

Les mesures préventives ou correctives relatives à l'érosion diffuse des terres agricoles doivent agir sur l'aléa via les pressions liées aux activités humaines, en tenant compte de la pression climatique et des paramètres de sensibilité du milieu (érodibilité du sol et pentes des terres) ; leur efficacité pourra être évaluée via, par exemple, l'approche intégrée USLE/RUSLE. Des priorités pourraient ainsi être dégagées en faveur des zones les plus sensibles (le milieu) et les plus affectées par la pression climatique (les précipitations).

Sans entrer dans le détail de la nature des mesures techniques, rappelons que le paramètre C de l'équation USLE décrit la qualité du couvert du sol (densité du couvert végétal, *mulching*, enfouissement de matières organiques, sous-semis, etc.) ainsi que les pratiques associées à l'itinéraire technique cultural. De ce fait, dans les situations sensibles, sont en cause la nature et la gestion des rotations culturales et des intercultures, les techniques de travail du sol (labour motteux ou, si approprié (confer Point 4.5.1.1), l'une ou l'autre des « techniques de culture simplifiées » (TCS), plutôt que - à proscrire - un travail affinant trop le sol de surface¹¹³), etc.

Sans vouloir généraliser cette modalité qui n'est certes pas la panacée, un exemple de l'effet du travail réduit du sol est illustré en Figure 70.



Figure 70 – Effet du type de travail du sol dans une culture de chicorée : bas de parcelles voisines (Photo S. Dautrebande).

Un autre exemple - qui serait encore largement à poursuivre en termes d'expérimentations¹¹⁴ - concerne l'effet des apports de matières organiques sur l'érodibilité du sol, en parcelles d'essai « Matières organiques » menées depuis trente années par le Département Productions végétales du CRAGx ; la Figure 71 montre quelques résultats relatifs à ce sujet (pour détails, confer Rapport final IRSIA 1993, Dautrebande, S.) (Programme arrêté par l'IRSIA ensuite).

¹¹³ Mise en boue rapide lors de pluies subséquentes, en raison de la destruction de la micro-porosité.

¹¹⁴ ...de préférence en sols sensibles et en y incluant aussi l'analyse du risque de lessivage du nitrate, et autres thèmes d'une approche intégrée.

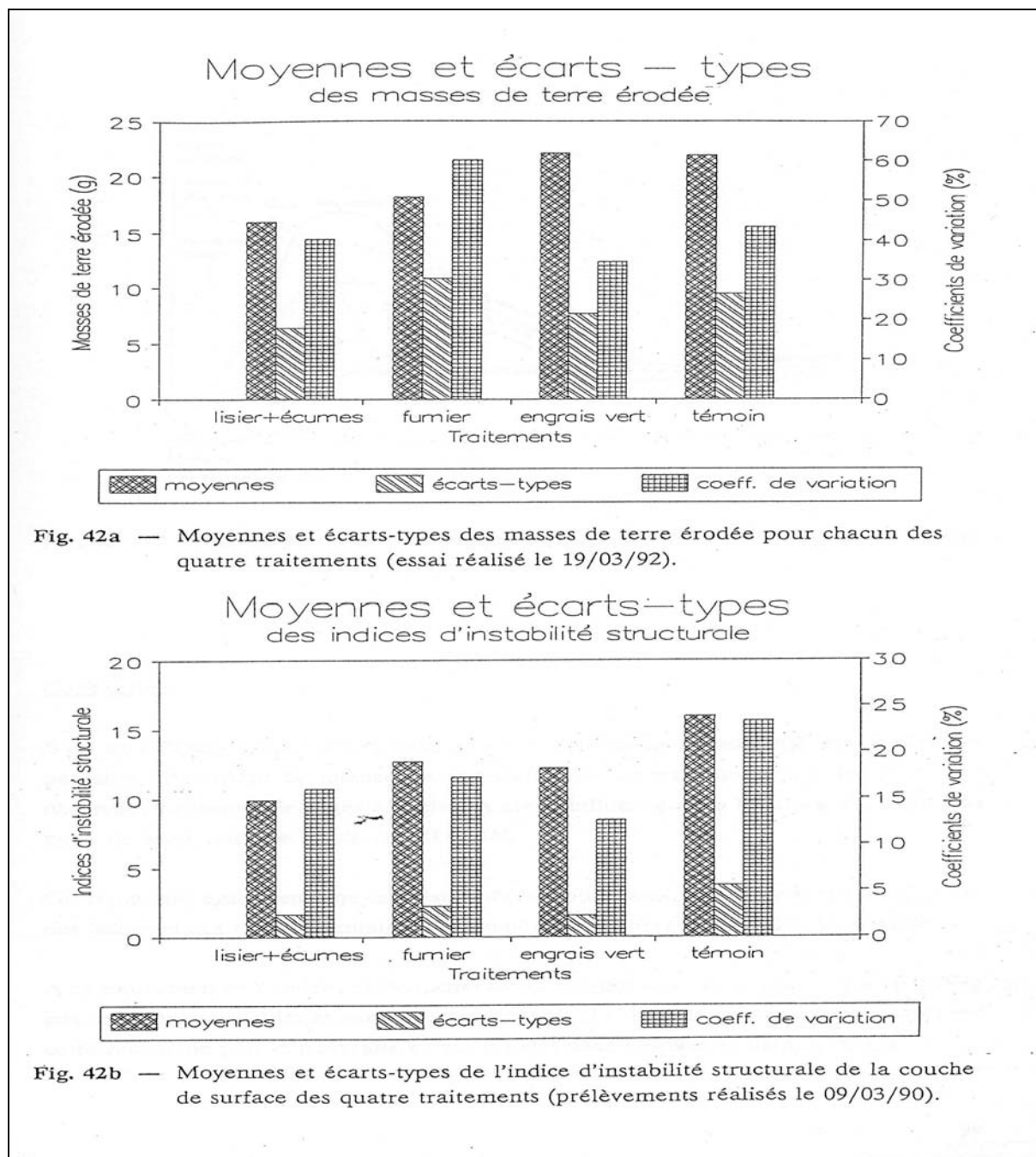


Figure 71 – Exemple d'expérimentation sur l'effet de l'apport de différents types de matières organiques sur l'érodibilité du sol (Dautrebande, S., Rapport IRSIA 1993, HA-FUSAGX ; collaboration Département de Productions végétales, CRAGx).

En ce qui concerne le paramètre L (longueur de pente de parcelles à risque érosif identiques), s'il apparaît difficile dans nos régions d'inverser la tendance à l'agrandissement des parcelles agricoles ; par contre, dans les situations à risque, les mesures visant à recommander l'alternance de cultures couvrantes et moins couvrantes suivant la pente (« bandes alternes ») ou à intercaler des fossés temporaires ou permanents de récolte des eaux pourraient sans doute trouver quelques possibilités d'application avec effet similaire.

Un cas particulier mais non négligeable est la mise en œuvre d'un drainage approprié pour certains sols engorgés de plateau, ceci afin de diminuer la production de ruissellement de surface en amont de versants à risque érosif.

Des mesures d'aménagement plus lourdes affectant les pentes et les longueurs de ruissellement (paramètre P_w dans USLE/RUSLE), telles que la mise en œuvre de fossés d'interception ou d'infiltration, barrières végétales, terrasses de rétention ou de dérivation, labours en courbes de niveau (suivant la modalité « sillons-réservoirs » ou sillons-chenaux »¹¹⁵), demandent une évaluation hydrologique et hydraulique préalable soignée ; sauf les fossés d'interception, ces mesures sont en général peu appropriées dans nos régions (paysages très – trop- vallonnés (ex. de la Figure 47 ou de la Figure 64), parcelles d'ampleurs insuffisantes, nécessité de planages rigoureux et coûteux).

Il est à remarquer que le « labour en courbes de niveaux » (*contour plowing*) est une technique plutôt abandonnée comme telle aux USA (qui l'ont cependant fortement promue dès le début du siècle passé), sauf en combinaison avec les terrasses (« *terrassing* ») de rétention ou de dérivation et/ou avec un système de bandes alternes (« *strip cropping* ») (confer Figure 72), ou avec une technique de « *ridged contouring* »¹¹⁶.



Figure 72 – « Contour and strip cropping » (Labour en courbes de niveaux conjuguées aux bandes alternes) (U.S. Department of Agriculture) : le futur de nos paysages... !?

¹¹⁵ En sols bien infiltrants, pour des pluies pas trop excessives et des pentes ni trop fortes ni trop irrégulières, les sillons orientés perpendiculairement à la pente constituent en principe des micro-réservoirs de rétention et infiltration (sillons d'infiltration). En sols quelconques, s'ils sont légèrement en oblique par rapport aux courbes de niveau, ils peuvent constituer des micro-canaux (sillons chenaux), les eaux étant à conduire alors vers un chenal ou fossé de récolte approprié. Dans les deux cas, existe cependant le risque d'accroissement du problème érosif lors de précipitations importantes (orages), du fait du débordement des sillons de capacité insuffisante ou profitant de « malfaçons » ou petits vallonnements locaux. Cette technique demande donc des conditions du milieu et de mise en œuvre rigoureuses, les rendant difficiles à appliquer correctement la plupart du temps.

¹¹⁶ "... During severe storms, contoured furrows may fill with water and overflow, causing a "cascading effect" that washes out the furrows below and actually increases rather than controls erosion. To prevent this, a technique known as "ridged contouring" is now employed. At periodic intervals down the hillside, the ridge between two furrows is made much higher than normal, thereby acting as a dam to cut off the cascading effect in mid-slope". Ashworth, William, and Charles E. Little. "contour plowing." *Encyclopedia of Environmental Studies*, New Edition. New York: Facts On File, Inc., 2001. Facts On File, Inc. *Science Online*. <www.fofweb.com>.

Lorsque des mesures antiérosives sont appliquées, des mesures *complémentaires* appropriées sont en général à recommander en vue de pallier aux pertes en sol diffuses susceptibles encore de survenir bien que de fréquence et importance diminuées, ceci en vue de protéger au mieux l'exutoire (exemple : installation de bandes enherbées en bas de parcelle, à placer contre le risque d'érosion *diffuse*, c.à.d. en aval de parcelles uniformes, sans vallon de concentration des flux et dont l'aléa est déjà ramené à une valeur de A_w inférieure à 10 t/ha.an).

Le Tableau 10 rassemble ainsi les principaux types de mesures techniques d'application « à la parcelle agricole » en vue de limiter l'érosion *diffuse*, lequel Tableau rappelle également que la prévention, la mise en œuvre et la gestion sont à porter au premier chef en termes de mesures d'ordre politique et administratif et demandent des outils d'évaluation et de suivi appropriés.

D'une façon générale, il convient de ne pas négliger d'examiner les effets adverses éventuels : par exemple, en ce qui concerne les techniques de cultures simplifiées (TCS)¹¹⁷, il est connu que leur efficacité peut être variable en fonction des conditions culturales et du milieu, et qu'en outre le choix de la modalité a des conséquences non négligeables sur l'organisation du travail à l'exploitation et sur la gestion des fertilisants et des pesticides (Weykmans S., 2006 ; Copin, A. et al., 1990,...) ; dès lors, ce type de mesure est à recommander de préférence sous une forme non obligatoire, outre l'information, l'expérimentation et la démonstration, à mener par ou avec les agriculteurs eux-mêmes pour un meilleur profit (exemples du projet GREENOTEC ou du projet MESAM, confer Point 1.2).

Il en est de même pour les mesures agrienvironnementales (MAE) qui, rappelons-le, n'ont pas été élaborées pour une problématique d'érosion, mais dont certaines peuvent démontrer leur utilité sous réserve d'application dans des situations appropriées ; ici aussi les recommandations et le suivi seront à privilégier (exemple du projet ALURE, confer Point 1.2).

Le ruissellement concentré

En cas d'irrégularités prononcées de la topographie de la parcelle susceptibles de concentrer les eaux de ruissellement, des aménagements spécifiques, dits d'hydraulique douce, devront pouvoir être recommandés (fossés de dérivation, chenaux enherbés, compactés, empierrés, etc.) ; ils doivent être placés de façon appropriée en fonction de la topographie locale, et entretenus comme tels.

Lorsque des flux parasites surviennent sur la parcelle incriminée en provenance de l'amont (voiries, habitats, autres parcelles,...), il y a lieu de se reporter à une approche « petit bassin versant » (évoqué au Point 4.5.1.2).

La problématique des ravines est à traiter spécifiquement (confer 4.3.1).

¹¹⁷ Suivant le type de sol, un travail du sol réduit peut accroître l'infiltrabilité (par le maintien de la continuité des pores) ou au contraire la diminuer (et donc ruissellement accru) ; cependant, dans les deux cas, l'effet pourra être favorable eu égard au risque érosif (érodibilité du sol moindre du fait d'un sol plus compact et cohésif en surface). La topographie a aussi son rôle à jouer : suivant le type de sol, et la qualité de son drainage naturel, un labour motteux pourra être préféré sur le plateau cultivé en vue de réduire l'apport de ruissellement vers le versant, et un travail réduit sera préféré sur le versant lui-même (résistance du sol aux effets de la vitesse érosive du ruissellement).

Tableau 10 - Types de mesures antiérosives à l'échelle de la parcelle agricole

PROBLÈME CONCERNÉ : PARCELLE OU PARCELLAIRE AGRICOLE À ALÉA ET RISQUE DE DOMMAGES PAR SEULE EROSION DIFFUSE (C.-À-D. SANS AXE(S) DE CONCENTRATION DES EAUX* ET SANS APPORT(S) DE FLUX EXTERNES (I)) : A_w ACTUEL OU POTENTIEL > 5 ET 10 T/HA.AN. - TYPES DE MESURES PRÉVENTIVES OU CORRECTIVES					
DPSIR : FORCES MOTRICES (DRIVING D)		DPSIR : PRESSIONS (PRESSURE P) ET SENSIBILITÉ DU MILIEU			
		Mesures d'ordre technique (agronomiques et d'hydraulique douce)			
Politiques de prévention et de gestion générales et spécifiques		Gestion des cultures et des itinéraires culturaux (paramètre C)	Travail du sol <u>adapté</u> (paramètre C)	Gestion du sol (paramètre K)	Géométrie de la parcelle (paramètre L ou paramètre P_w)
Politiques	Outils technologiques				
Politiques agricoles, sectorielles, socio-économiques et environnementales : Directives, réglementations, subventions, recommandations, contrôles, formation, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Classement et cartographie des zones sensibles : K^{118} et S^{119} - Classement et Cartographie des zones d'aléa potentielles → classement et cartographie des zones à risque¹²⁰ - Statistiques et cartographie des mesures appliquées - Evaluation de l'aléa A_w et de l'efficacité des mesures sur l'aléa¹²¹ - Evaluations économiques¹²² - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Maintien ou Mise en prairie, jachère ou boisement - Rotations culturales minimisant les périodes de sol nu ou peu couvert - Déchaumage tardif - Incorporation au sol de résidus de culture - Intercultures - Sous-semis (maïs) - Limitation de la monoculture pour les cultures de type sarclé - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Labour motteux - Techniques de travail du sol simplifiées « TCS » 	<ul style="list-style-type: none"> - Pratiques de bon maintien de la structure et du taux d'humus du sol (apport raisonné de M.O.¹²³, amendements structurants (chaulage),...) - Drainage de sols de plateaux ou de versants à mauvais drainage naturel - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - (Orientation de la plus grande longueur de la parcelle perpendiculairement à la pente) - Bandes alternes de cultures couvrantes et peu couvrantes suivant la pente - (Limitation de la longueur de terres de cultures à risque suivant la pente) - Fossés ou chenaux d'interception placés en travers de la pente, amenant vers un exutoire approprié les eaux de ruissellement - ((aménagement lourds de rétention ou de dérivation : banquettes ou terrasses de cultures en courbes de niveau)) -...
TYPES DE MESURES PALLIATIVES, COMPLÉMENTAIRES (II)					
Idem	Idem	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes enherbées en bas de parcelle sous conditions appropriées - ... 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> - Structures de rétention ou de dérivation appropriées en bas de parcelle
<p>(I) la Wallonie est un pays de vallons¹²⁴ : les parcelles soumises exclusivement à érosion diffuse ne sont pas les plus fréquentes dans les zones à risque de dommages conséquents; nombre de parcelles subissent des effets de concentration des flux qui limite parfois fortement l'efficacité des mesures telles que citées.</p> <p>(II) venant d'une parcelle amont, d'une voirie amont, etc.</p> <p>(...) : mesure soit peu aisément soit peu praticable dans les conditions socio-économique de la Région wallonne</p> <p>((...)) : en général impraticable dans les conditions socio-économiques et du milieu, en Région wallonne (cas particuliers toujours possibles...)</p>					

¹¹⁸ Confer Point 2.4.2.

¹¹⁹ Confer Point 2.4.2 et 1.2 (Prévu par le Projet ERRUISSOL (FUSAGx, pour la DGA-RW)) (Confer Point 1.2 et 3.2).

¹²⁰ Prévu par le Projet ERRUISSOL (confer Point 3.2).

¹²¹ Par EPICgrid_parcelle (FUSAGX), ou autre modèle.

¹²² Projet ADAGE (GIREA-UCL, pour la DGA-RW).

¹²³ Composts, boues de STEP, effluents d'élevage, ... (confer notamment : Culot M., 2005).

¹²⁴ Ce type de paysage, et de problématique similaire, se retrouve également du Nord et Nord-est de la France (Martin, P. et al, 1998).

4.5.1.2 Les axes de concentration des petits bassins versants

La Wallonie est un pays de vallons : s'il existe déjà plus de 18.000 km de cours d'eau (soit plus d'un km de cours d'eau par km² de superficie en moyenne), que dire alors des axes de talwegs (exemple en Figure 73 (a) et (b) ; aussi en Figure 74 et Figure 75) qui ramènent les eaux de ruissellement vers les cours d'eau, sans compter encore les micro-vallons dans les champs... et les 88.000 km de voiries créant un réseau artificiel de récolte, accélérant parfois, mais surtout croisant trop souvent indûment les axes naturels.

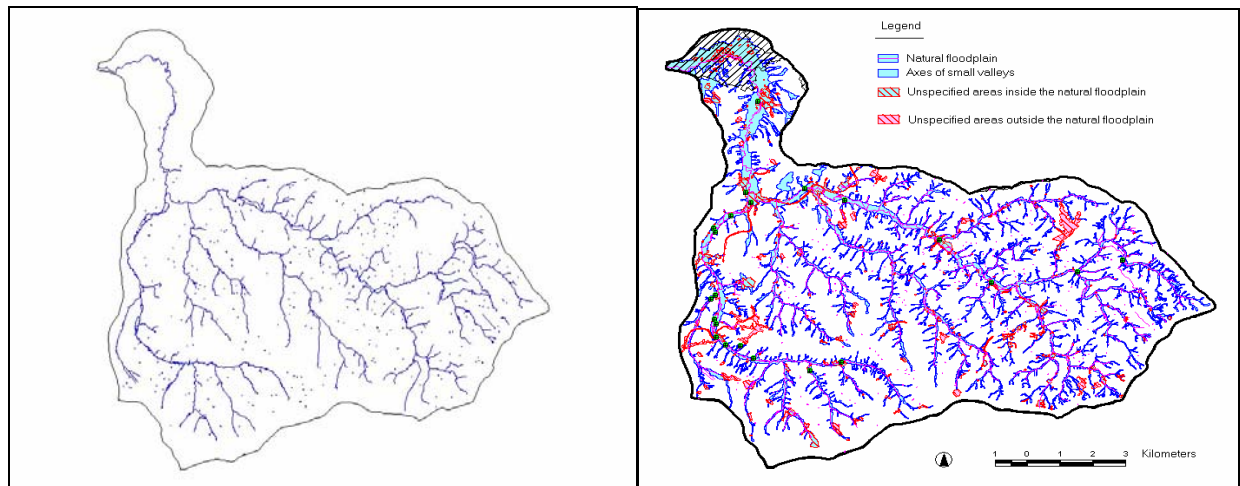


Figure 73 –Bassin de la Berwinne : (a) le réseau hydrographique, (b) ... additionné de ses principaux talwegs secs.

La résolution des problèmes associés aux ruissellements et coulées boueuses demande une approche « petit bassin versant » via un diagnostic d'ensemble préalable. Des méthodologies de diagnostic sur base des données du milieu (topographie et sols) ont été mises au point permettant la prédétermination des zones à risque (Dautrebande, S. (2003), Dautrebande, S et Colard, Fr. (2004), avec application-pilote (Dautrebande, S. et Smoos, A. (2004) ; plusieurs autres projets-pilotes sont en cours :

- Le Rieu des Barges et le Rieu de la Place de Taintigny (Tournai, Willemau), mené en collaboration par l'HA-FUSAGx et HACH-ULg, pour la Province de Hainaut ;
- le projet Interreg III « Trouille (BE) – Anneau (FR) » (Projet GIHM 2006-13, mené par l'HA-FUSAGx, pour le « Parc Naturel des Hauts-Pays », sous l'égide également de la DGRNE-RW).

Enfin est en cours également la généralisation à la Région wallonne de la méthodologie précitée de détermination des zones à risque d'érosion diffuse et celles de ruissellement concentré (Projet ERRUISSOL : « ERosion-RUISSellement-SOL », HA-FUSAGX pour la DGA-RW).

Un exemple de prédétermination des zones à risque est présenté en Figure 74; une validation terrain type est montrée en Figure 75.

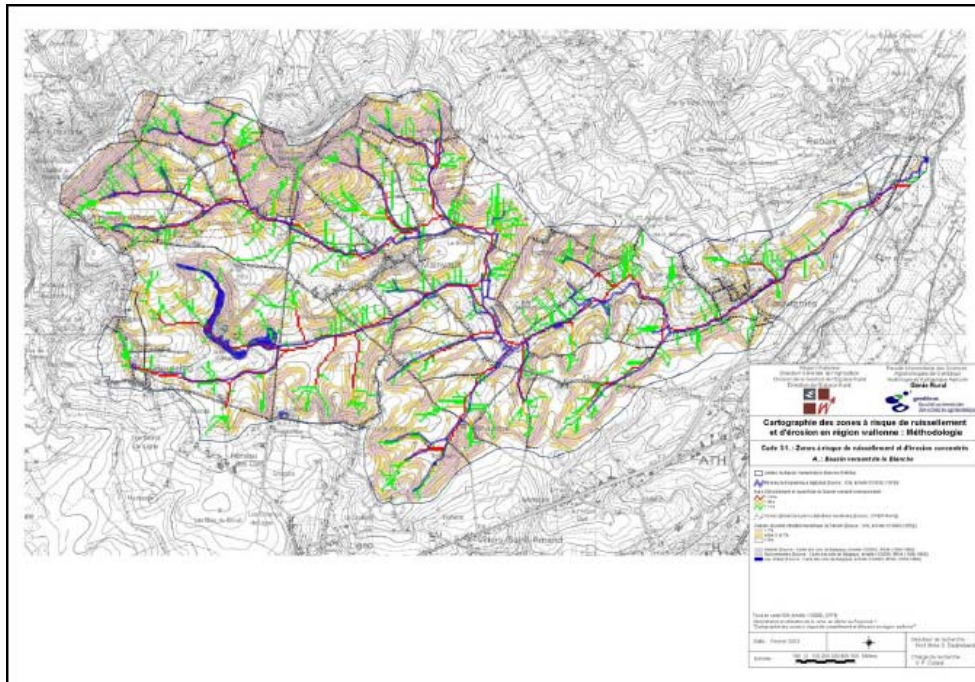


Figure 74 – (a) Cartographie des zones à risque de ruissellement concentré (axes naturels en rouge, orange et vert) - (b) cartographie des zones à risque de ruissellement diffus (occupation du sol 1995) (aussi version classement infiltrabilité) ; bassin versant de la Lasne (Brabant wallon) (Dautrebande, S et Colard, Fr., 2003 ; projet DGA_RW).



Figure 75 – Ligne rouge brisée : axe de concentration prédéterminé sur base cartographique (sols, topographie, bassin versant afférent) ; la visite de terrain confirme la sensibilité de la zone au ruissellement concentré et flux boueux (Photo Ir A. Wansart, UHAGx-FUSAGX, Projet Trouille-Anneau).

4.5.1.3 La question des bandes enherbées

Les bandes enherbées placées en bas de pente de parcelle ne constituent pas en soi une mesure contre l'érosion mais sont en fait une mesure de rétention de la perte en sol de cette parcelle (et de contaminants associés, bien que cette question soit encore discutée sur le plan scientifique¹²⁵, des études sur le sujet restant donc utiles¹²⁶). La rétention de sédiments n'est en outre efficace que moyennant des conditions et restrictions d'installation rigoureuses sur le plan de l'hydraulique douce : limitation préalable de l'érosion si celle-ci est importante (comme expliqué en exemple au Point 4.5.1.1), topographie uniforme de la parcelle, largeur de la bande enherbée suffisante, etc. ; ceci fait que bon nombre de bandes enherbées n'ont de toute façon aucun effet de protection contre les pertes en sol. Deux exemples de non efficacité de bande enherbée sont montrés en Figure 5 (a) et en Figure 76.

En ce qui concerne les bandes enherbées riveraines de cours d'eau, leur utilité de protection contre les apports directs de phytosanitaires et fertilisants peut être réelle de même que leur effet de protection antiérosive lors d'inondations par débordement de cours d'eau, pour autant que les vitesses de courant ne soient pas critiques pour ce type de « revêtement ».

De larges bandes enherbées (avec même légère contrepente) à la limite de parcelles agricoles situées en bordure de talus abrupt de voiries rurales, ou sur un plateau en amont de versant abrupt, peuvent protéger le talus ou le versant contre le développement de ravines régressives (écoulements et infiltration mieux répartis), ...ou contre leur réactivation, suite à l'occupation du sol sur le replat (Photo de la Figure 77).



Figure 76 – Traces sur la bande enherbée de la traversée du flux boueux ; à remarquer également les traces des sillons détruits, ceux-ci étant cependant perpendiculaires à la pente (Orage Mai 2006) (Photo S. Weykmans, Projet GREENOTEC) (la flèche indique la direction des écoulements).

¹²⁵ Notamment en ce qui concerne le devenir du contaminant retenu (lessivage ou dénitrification de l'azote, devenir des résidus pesticides,...).

¹²⁶ Par exemple, en cours : « COUVERT » – Etude de l'effet des dates de destruction et d'enfouissement des couvertures d'hiver en monoculture de maïs sur le ruissellement, l'érosion et le transfert de phosphore (Unité de Génie rural – GERU-UCL; pour la DGA-RW) ou aussi : Etude sur l'influence des caractéristiques végétales des bandes enherbées sur la rétention du phosphore présent dans les eaux de ruissellement (GERU-UCL, pour le FRIA).

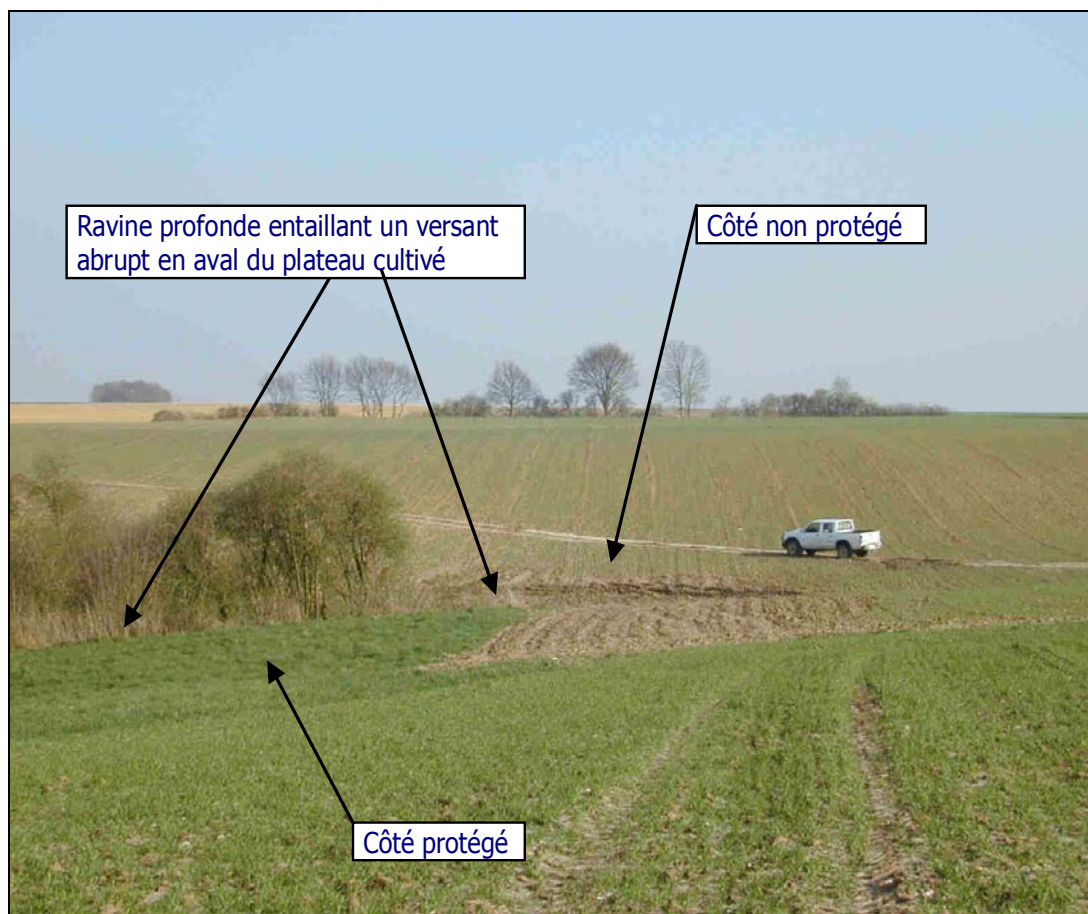


Figure 77 – Ravine ancienne profonde (plusieurs mètres) entaillant un versant en aval de plateau : risque de (ré)activation de l'érosion régressive (développement progressif de la ravine vers l'amont) (Photo S. Dautrebande).

Ces remarques ne mettent pas en cause les autres fonctionnalités de la bande enherbée et ne concernent pas la mesure technique « chenal enherbé¹²⁷ » qui est destinée à mieux conduire l'eau à défaut de pouvoir la retenir, (dimensionnement du chenal comme voie d'écoulement, au contraire de la bande enherbée dimensionnée comme structure de rétention - Confer Guides techniques).

4.5.1.4 Quelques références spécifiques

Une littérature générale et technique récente et abondante existe. Quelques références sont indiquées ici à simple titre d'exemple :

- Plans d'action coulées boueuses : Merle, J.P., *et al.* (2001).
- Pour la matière organique et l'érosion : Crescimanno, G. *et al.* 2004.
- Générales sur le sujet : Heimlich, 2003 ; Jones *et al.*, 2004 ; Francaviglia Ed., 2003.
- Guides et approches techniques (quelques exemples de formes et objectifs divers) :
 - Miss. EQIP Program Manual FY, 2001;
 - Heirman, J.P. Ed., AMINAL , 2001;

¹²⁷ Chenal à base élargie, enherbé ou tassé, ou parfois empierré ; peut également être du type noue (fossé enherbé large et peu profond servant partiellement de rétention (afflux faible) et partiellement de chenal d'écoulement (afflux importants d'eaux) – notamment le long de voiries).

- Plaquette « Erosion, inondations, turbidité » Chambre d'Agriculture de l'Eure et de la Seine Maritime et par l'Areas, Région Haute Normandie, *circa* 2002;
- Dautrebande S. (2003), Guide méthodologique, (<http://www.fsagx.ac.be/ha/>);
- Livret Agriculture N° 12 « Lutter contre l'érosion des terres » (2006)², DGA-Région Wallonne avec la collaboration de l'UCL et de la FUSAGx;
- Exposés techniques (ex. Thirion M., DGA-RW, Courtrai 2006).

4.5.2 Indicateurs de réponse

On se rappellera que la lutte contre l'érosion concerne en priorité les mesures axées sur l'origine de l'érosion avec en éventuel complément de mesures axées sur les effets ; la mise en œuvre de ces seules dernières n'est qu'un palliatif.

Des indicateurs d'avancement et d'efficacité souhaitables sont synthétisés au Tableau 11 en regard des types et objets des mesures ayant trait directement ou indirectement à l'érosion en Région wallonne ; l'énumération plus détaillée est reportée au Tableau 12. Les indicateurs existants ou possibles sont analysés ci-dessous.

Rappelant que parmi les Mesures AgriEnvironnementales (MAE) actuellement proposées, seule une partie est à mettre au bénéfice de la problématique de l'érosion ou des pertes en terre ; distinction est donc faite à ce sujet suivant la sélection ci-dessous sur base des données du Projet SIGEC (DGA-RW), dont commentaires spécifiques inscrits dans la légende de chacune des Figures :

- En Figure 78 : nombre de Mesures MAE « Prairies naturelles » et « Couverture hivernale du sol » (2002 à 2005) : mesures globalement favorables à la réduction de l'érosion des terres.
- En Figure 79 : nombre de Mesures/km² de MAE « Tournières » et « Bandes de prairies extensives » (2002 à 2005) : mesures pouvant être favorables à la réduction des pertes en terre vers les cours d'eau, si bien conçues en termes d'hydraulique douce.
- Pour mémoire, en Figure 80 : nombre de Mesures/km² de MAE « Haies et bandes boisées » (2002 à 2005) ; mesures servent majoritairement des régions prairiales déjà protégées de ce fait contre l'érosion ou installées suivant des modalités non conformes aux modalités antiérosives ou de mitigation des pertes en terre.

En ce qui concerne enfin la Mesure envisagée au niveau de l'écoconditionnalité, mesure antiérosive proprement dite (d'ailleurs la première réellement à ce titre¹²⁸) qui vise à interdire les cultures du type sarclé sur les pentes supérieures à 10% (ce qui représente environ 10 % de la SAU)¹²⁹, on constatera qu'elle correspond bien à un début de modulation en fonction du milieu. Cependant, son efficacité antiérosive sera annulée dans tous les cas où la dérogation prévue serait appliquée : en effet, celle-ci lève l'interdiction d'implanter des cultures sarclées si la parcelle est équipée de bandes enherbées ou si une prairie est située en aval ; il se fait que ces dernières dispositions ne sont que des mesures palliatives destinées à limiter la perte en sol et non à limiter l'érosion, on remplacerait donc une mesure préventive par une mesure palliative...

¹²⁸ Outre le cas particulier des bandes riveraines de cours d'eau en vue de la prévention de l'érosion du lit majeur induite par les flux de débordement de cours d'eau.

¹²⁹ Projet ERRUISSOL, en cours.

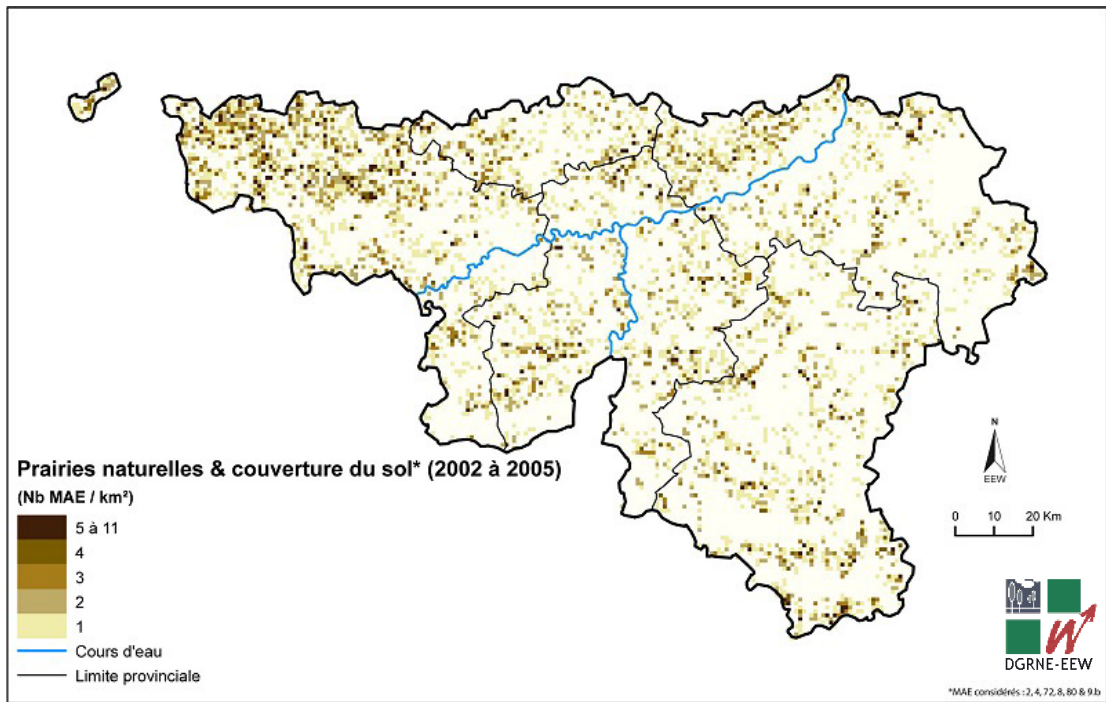


Figure 78 - Nombre de Mesures MAE « Prairies naturelles » et « Couverture hivernale du sol » en Région wallonne (2002 à 2005) (Source des données : Projet SIGEC (DGA-RW)). Bien que non conçues pour la problématique érosion, globalement sur le plan spatial et temporel, elles agissent favorablement comme mesure antiérosive ; on constatera avec intérêt qu'elles apparaissent grosso modo comme localisées de façon quelque plus densifiée dans les zones les plus sensibles.

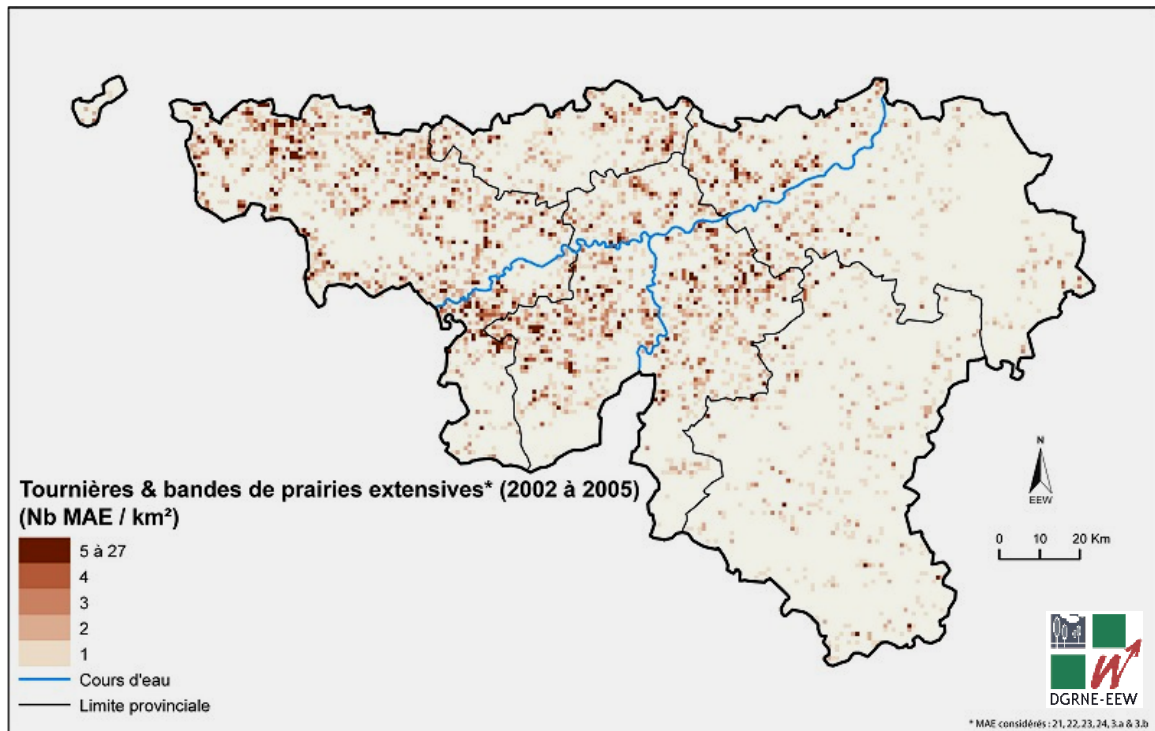


Figure 79 – Nombre de Mesures/km² de MAE « Tournières » et « Bandes de prairies extensives » en Région wallonne (2002 à 2005) (Source des données : Projet SIGEC (DGA-RW)) ; il s'agit de mesures de type palliatif (non antiérosives¹³⁰ donc). Localisées de façon plus densifiée dans les zones de grande culture, globalement leur efficacité (palliative) réelle reste à démontrer car elles appellent encore souvent un meilleur respect des conditions d'hydraulique douce exigées pour mitiger les pertes en terre vers l'aval.

¹³⁰ sauf le cas de champs en bordure de voiries en déblais ou de cours d'eau ou en tant que protection pour les manœuvres des machines agricoles en bordure de champs dec (cbien que non conçues en fonction de la problématique érosion qui demande pour être efficace une mise en œuvre adaptée au milieu et au problème localisé.

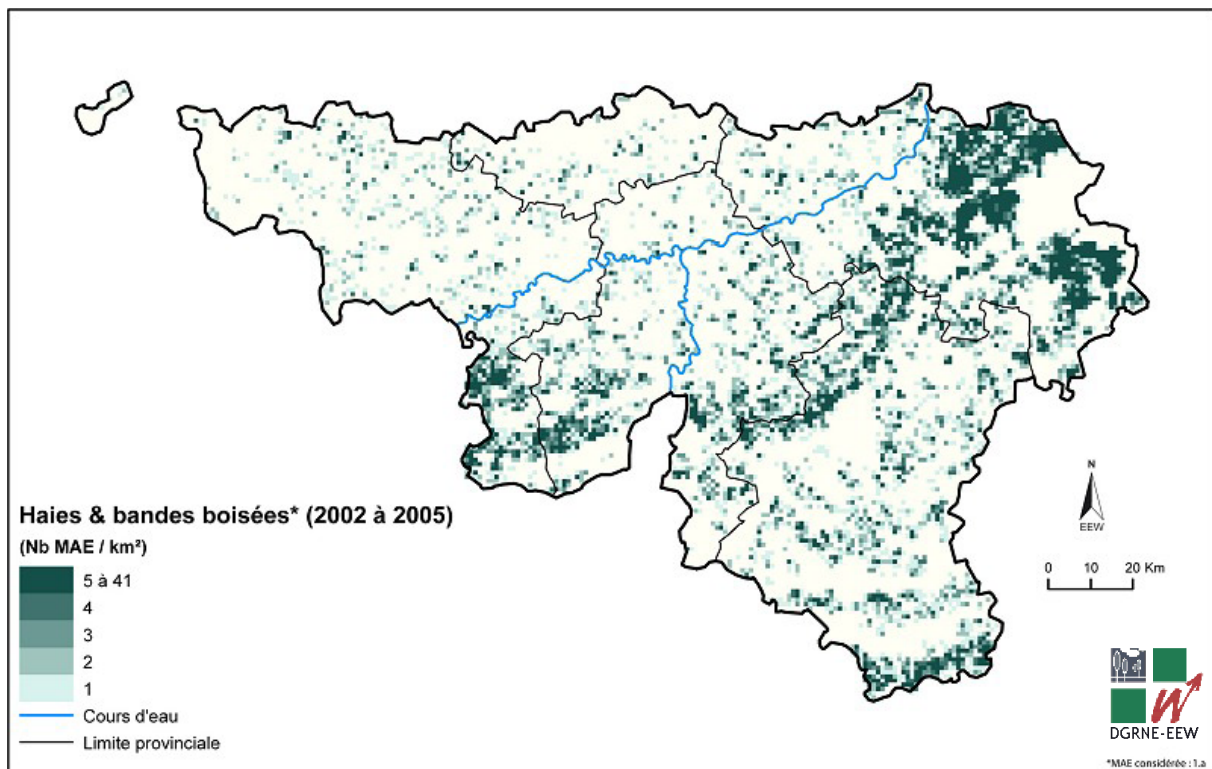


Figure 80 - Nombre de Mesures/km² de MAE « Haies et bandes boisées » en Région wallonne (2002 à 2005) (Source des données : Projet SIGEC (DGA-RW)). Ces mesures MAE ne sont pas à confondre avec les systèmes fossés-talus-haies antiérosifs ou palliatifs suivant les modalités d'hydraulique douce liées à leur installation. Pour preuve en quelque sorte, on constate que ces MAE sont majoritairement installées dans des zones prairiales déjà protégées comme telles...

4.5.3 Une avancée en vue au niveau européen

Une Directive-cadre pour la protection des sols est en préparation au niveau européen, dont ci-dessous un résumé des mesures relatives à l'érosion, compte tenu du fait que « ...d'après les estimations¹³¹, 115 millions d'hectares, soit 12% environ de la superficie totale des terres en Europe sont soumis à l'érosion par l'eau et 42 millions d'hectares subissent l'érosion éolienne (AEE, 1995). ... » :

- Recensement des zones exposées à un risque d'érosion et de diminution des teneurs en matières organiques (mise en évidence des risques sur base d'éléments communs aux différents pays) dans un délai de 5 ans à compter de la date de transposition de la directive + révision de la liste des zones à risques au moins tous les 10 ans.
- Établissement de programmes nationaux de mesures (fixation d'objectifs de réduction des risques, mesures appropriées pour atteindre ces objectifs, calendrier de mise en œuvre de ces mesures, estimation des fonds publics ou privés nécessaires pour les financer) dans un délai de 7 ans à compter de la date de transposition de la directive.
- Dans les zones à risques recensées, des mesures devraient être prises pour empêcher de nouvelles dégradations des sols par une réduction des risques et une remise en état des sols afin d'en préserver les fonctions.

¹³¹ Stratégie thématique en faveur de la protection des sols, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions (2006), Commission des Communautés Européennes.

Le projet de directive met également en évidence le fait que outre « *les mesures déjà mises en œuvre dans le cadre national et communautaire (l'écoconditionnalité et le développement rural au titre de la PAC, les codes de bonnes pratiques agricoles et les programmes d'action adoptés en vertu de la directive sur les nitrates, les futures mesures adoptées au titre des plans de gestion de district hydrographique pour la directive-cadre sur l'eau, les plans de gestion des risques d'inondation, les programmes forestiers nationaux ainsi que les pratiques sylvicoles durables et les mesures de prévention des incendies de forêt), il ne sera possible d'atteindre les objectifs de la présente stratégie qu'en intégrant davantage la protection des sols dans les autres politiques et qu'il convient de poursuivre les efforts d'intégration dans le domaine de l'agriculture (écoconditionnalité, développement rural), de la prévention de la pollution et de la gestion des boues d'épuration* ». Dans ce contexte, la prochaine étape envisagée est par ailleurs « *Le réexamen de la directive sur les boues d'épuration en 2007 comme annoncé également dans la stratégie thématique pour la prévention et le recyclage des déchets, afin de garantir que le meilleur profit est tiré de la réintroduction des nutriments tout en limitant davantage les rejets de substances dangereuses dans les sols* ». Rappelons que les boues d'épuration sont chargées de matières organiques et à cet égard considérées comme un fertilisant, dont il convient dès lors d'évaluer non seulement les effets à priori positifs sur la protection des sols contre l'érosion, mais aussi, dans le cadre d'une approche intégrée, d'examiner les aspects négatifs (contamination) afin de dresser in fine un bilan socio-économique et environnemental...

<p align="center">TABLEAU 11 - DPSIR « EROSION HYDRIQUE ACCÉLÉRÉE »</p> <p align="center">RÉPONSES ET INDICATEURS DE RÉPONSE (A EXPRIMER PAR KM² OU BHV OU PAR ZONE SENSIBLE)</p> <p align="center">- RÉSUMÉ DE LA « SITUATION 2006 » EN RÉGION WALLONNE -</p>			
TYPE ET OBJET DE LA MESURE	INDICATEUR D'AVANCEMENT	INDICATEURS D'EFFICACITÉ	SOURCES DE L'INFORMATION
MESURES ANTIÉROSIVES			
- DGA – Jachères 1 ^{ère} PAC (réglementaire et obligatoire), intercultures MAE (réglementaire et volontaire) - DGRNE – DGA : CIPAN PGDA (réglementaire (I) et volontaire (II))	Evolution du taux de superficie en jachères à couvert dense, intercultures MAE, taux de superficies en CIPAN (III) <u>appliquées aux parcelles à risque</u>	- Statistique des dommages perçus par les agriculteurs - Evaluations et Statistiques $A_w / A_w, cr$ liée à chaque mesure respectivement	- Enquêtes agriculteurs - Zones et parcelles à risque (en cours de définition par ERRUISSOL) - Indicateurs d'avancement : statistiques générales existantes mais non spécifiques aux parcelles ou zones à risque - Indicateurs d'efficacité : en attente des indicateurs spécifiques d'avancement- - Modèles, base de données, statistiques.
DGA- Ecoconditionnalité (2 ^{ème} PAC) : Sous-semis maïs et céréales (réglementaire et volontaire)	Evolution du taux de superficie		
DGA - Ecoconditionnalité interdiction de cultures sarclées si pentes > 10% (réglementaire et obligatoire sauf dérogation bande enherbée ou prairie)	Taux SAU de superficies dont la pente est > 10% <u>SANS</u> cultures sarclées (non comprises les dérogations donc)		
DGA - Ecoconditionnalité : interdiction du labour hivernal	Taux SAU de superficies concernées		
DGA - Ecoconditionnalité : Maintien des prairies permanentes (réglementaire et partiellement obligatoire)	Taux de prairies permanentes		
DGA - Ecoconditionnalité : bonnes conditions agricoles environnementales (BCAE) (IV) complémentaires (réglementaire et volontaire), plans agro-environnementaux	Taux SAU - avec labour motteux ou TCS (techniques simplifiées du travail du sol) (V) - rotations culturales appropriées - bandes de cultures alternes appropriées - enfouissement des résidus de la culture, mulching		
DGA : Ecoconditionnalité : Bandes enherbées riveraines (réglementaire et volontaire)	Taux de couvert prairial riverain (bandes enherbées et prairies) en zone inondable par débordement de cours d'eau		
Avant-projet d'arrêté de subventionnement d'aménagements de limitation de l'érosion et du ruissellement (VI)	Nombre d'aménagements		
MESURES CONTRE LES PERTES EN SOLS (VII)			
Bandes enherbées MAE	Evolution du taux de bandes enherbées installées dans des conditions appropriées pour la rétention de flux boueux		
- Certaines mesures du Plan PLUIES (confer Détails en Tableau ultérieur) - Certaines MAE (confer Détails en Tableau ultérieur) - Ecoconditionnalité, 2 ^{ème} réforme PAC - Avant-projet d'arrêté de subventionnement d'aménagement de limitation de l'érosion et du ruissellement (VI')	Nombre de zones exposées ayant reçu des aménagements de protection	-Statistique des dommages « Points noirs » -Statistique de l'évolution dépôts boueux dans les eaux de surface - Evolution rendements en sédiments SY/SY_{cr}	- Enquêtes communales et provinces - Statistiques Dragage des boues des Eaux de surface - Statistique des aménagements ad hoc (pour l'évaluation globale de SY)
<p>(I) réglementaire : réglementation comportant des mesures techniques d'application obligatoire ou non</p> <p>(II) volontaire = d'application non obligatoire, généralement subsidié</p> <p>(III) impératif de fertilisation raisonnée pour le risque de lessivage en azote, si enfouissement</p> <p>(IV) confer détails par exemple : http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/article.php?id_article=84</p> <p>(V) nécessité d'une approche raisonnée sinon expérimentale : confer réserves exprimées au Point 4.5.1.1</p> <p>(VI et VI') : « Avant-projet d'arrêté visant à permettre aux communes, aux provinces et aux waterings d'obtenir une intervention régionale à concurrence de 60 % pour des ouvrages et aménagements qui limiteraient l'érosion des sols et retiendraient les eaux dues au ruissellement. » Communiqué du G.W, 13/07/06.</p> <p>(VII) mesures éventuellement antiérosives si protection de parcelles agricoles aval</p>			

TABLEAU 12 - REPONSES « EROSION HYDRIQUE » – SITUATION 2006 RÉGION WALLONNE

Acteur visé	Acteur d'origine	Mesure	Instruments										Objectif	Indicateurs d'avancement
			R	T	E	P	I	V	O					
MAE														
Agriculteurs	DGA- MRW : - Division des Aides à l'agriculture (IG2), Direction du Secteur Végétal (D23) - Division de la Gestion de l'espace rural	Mesures agri-environnementales (MAE)* du PDR (Fonds Feoga) : - Arrêté GW du 20/07/05 modifiant l'arrêté du 28/10/04 (Moniteur belge du 29/12/04) relatif à l'octroi de subventions agri-environnementales. (Moniteur belge du 26/08/05). - Programme de Développement Rural 2000-2006 ; décision n° C(2004)2930 (modification de la décision C(2000) 2725. * confer « Les subventions agri-environnementales instaurées par l'AGW du 28 octobre 2004 ; Vade-mecum » 43 pages, MRW, DGA, février 2005 *(A&R9) «interculture » du Plan PLUIES).	R		E						V		<u>Couverture du sol</u> - couverture hivernale du sol (« intercultures ») - Maintien des prairies permanentes - Sous-semis maïs et céréales - Bords de cours d'eau enherbés	Indicateurs d'avancement : Evolution du nombre et montant des subventions - Proportion d'exploitations - Nombre de mesures/ type de mesures - Proportion de superficies des différentes catégories
Agriculteurs	DGA	Recommandations agrienvironnementales									V		Bonnes conditions agricoles environnementales (BCAE) (travail du sol, etc.)	
DIRECTIVE-CADRE EAU														
GW	EU	« Directive-Cadre Eau » : Directive 2000/60/ED du 22/12/00 (JO)	R				P						Objectifs de qualité des eaux de surface (sédiments, nutriments P et NO3, pesticides)	
Rw	GW	(Moniteur belge du 23/09/2004 : err. 1/03/2005) : Décret relatif au Livre II du Code de l'Environnement constituant le Code de l'Eau) + Annexe de l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 mars 2005 relatif au livre II du code de l'Environnement, contenant le code de l'eau ; CODE DE L'EAU COORDONNE : Livre II- EAU ; PARTIE DECRETALE	R				P						Mise en œuvre de la DCE : Version coordonnée des dispositions décretales et réglementaires	
RW	MRW	Plans de gestion par bassin					P						Etat des lieux et plans de gestion par bassin hydrographique : Qualité des eaux de surface (P, phyto , nitrate)	
PLAN PLUIES														

RW	Coordination GTI (Groupe transversal Inondations) créé par le GW	Plan PIUIES (Plan de Lutte contre les Inondations et leurs Effets sur les Sinistrés - (décisions du GW du 9 Janvier 2003 – Contrat d'Avenir)				P					Plans de Gestion intégrée Fiches d'action : notamment, pour l'objet du présent fascicule : Diminuer et ralentir le ruissellement : Fiche d'action (notamment : A&R 5 DGA : bassin de retenue ; Fiche d'action A&R 8) DGA : Bonnes pratiques agricoles : TCS, rotations culturales ; A&R 4 DGA – Création de zones à inonder sur des terres agricoles et forestières et de zones de rétention des eaux, en particulier sur les têtes de bassins ; A&R 5 DGA – Construction de bassins de retenue pour l'agriculture ; etc...	Nombre de structures, superficies concernées,... (Confer Etat des lieux par le GTI, Plan PLUIES par Fiche d'action)
Communes, provinces et wateringues	GW	Avant-projet d'arrêté de subventionnement partiel des aménagements pour la limitation de l'érosion et du ruissellement (G.W. du 13/07/06)				E					Intervention régionale à concurrence de 60 % pour des ouvrages et aménagements qui limiteraient l'érosion des sols et retiendraient les eaux dues au ruissellement. L'objectif est de maintenir la valeur agronomique des terres et limiter les dégâts aux biens situés en aval. Cette subvention est majorable de maximum 20 % pour des plantations. »	Nombre d'aménagements ad hoc
PGDA												
Agriculteurs	MRW - DGRNE, Div. Protection des Sols (DPS)	PGDA : Arrêté du GW "Démarche Qualité" 10/10/2002 (Moniteur Belge, 23 juin 2004).	R	T		P			V	O	- Mise en œuvre des CIPAN (cultures intercalaires à titre de « piège à nitrates » - Etat des lieux excédents N organique/ norme) : (y compris compost, boues d'épuration,...) - Capacités d'épandage (Géo-Agri), - base TALISOL (OWD)	- Suivis et Evolution statistiques LS - Suivis MO des sols (Requasud ,...)
2^{ÈME} RÉFORME PAC												
GW, MRW, DGA : notamment DPA, Direction de l'Analyse Economique agricole	EU	Réforme de la PAC 08/09/05 : Règlement (CE) n° 1782/2003 du Conseil EU de l'Agriculture du 26/6/03 : partim Conditionnalité-environnement: Règlement (CE) 1782/2003 du Conseil du 29 septembre 2003	R							O	Obligation d'écoconditionnalité pour révision MAE	
Agriculteurs	DGA-RW Division des aides	Ecoconditionnalité, en application de la 2 ^{ème} Réforme PAC ; règlement (CE) n° 1782/2003 du Conseil.	R							O	* Sur parcelles à risque dont pente > 10% : - interdiction de labour, interdiction	

											de culture des plantes sarclées et assimilées sur pente > 10%, sauf si bande enherbée ou prairie en aval (!) - Interdiction de brûlage des pailles, chaumes et autres résidus de récolte. * Maintien des pâturages permanents.	
STRUCTURES D'APPUI (CONSEILS TECHNIQUES, ANALYSES,..), DE SENSIBILISATION												
Agriculteurs ; pouvoirs publics, particuliers concernés	- DGA : Direction de l'espace rural et Services de proximité - Experts désignés par DGA pour avis techniques Programme agri-environnemental - FWA, CRAW, Univ., HEC, CTA , IRBAB, CTA, asbl Greenotec, Contrats-Rivières, ...	Structures d'encadrement, Livrets d'information, Fiches techniques, revues, journaux agricoles, opérations de démonstration.							I			Encadrement et information technique pour la bonne application des mesures
Domaine administratif et public ; media	DGA, DGRNE, MET, Contrats rivières, Univ-HEC- CTA, ..., Aquawal ; EEW-TBE (IGEAT-CEDD (ULB) Cellule Etat de l'environnement wallon ; Inter-environnement Wallonie,...	Structures d'information, de sensibilisation, de concertation							I			Information, sensibilisation, sites Internet, ..., pour information agri-environnementale, hydro-agricole notamment, urbanisme.
Agriculteurs	MRW – Direction du développement et de la Vulgarisation	Comité Régional Phyto : Guide de bonne pratique phytosanitaire (2004)							I			Conseil de gestion pour la limitation des rejets de produits phytosanitaires en eaux de surface
STRUCTURES DE DÉDOMMAGEMENT												
Agriculteurs, pouvoirs locaux, particuliers.	GW ou Compagnies d'Assurances	Fonds des Calamités naturelles, Fonds d'assurances, Fonds de dédommagement aux agriculteurs							E			Dédommagements financiers Nombre annuels
RECHERCHE, TECHNOLOGIES, ANALYSES, SYNTHÈSES												
CRA-W, Universités, HEC, Agra-Ost, CETA, Labos d'analyse, ...	- GW- MRW : DGA et DGRNE ; SSTC, Fédéral , FRIA, EU,...	Par exemple [C - 004/27167] F. 2004 — 3094 - 29 AVRIL 2004. — Arrêté du GW fixant les conditions d'octroi des subsides à la recherche scientifique et technique à finalité agricole						T			I	- Recherche fondamentale et appliquée - Champs et parcelles expérimentaux - Modèles et bases de données - Laboratoires d'analyse des sols
R Instrument réglementaire T Instrument technologique E Instrument financier P Instrument de planification I Instrument informationnel V Instrument volontaire (qui n'est pas d'application obligatoire) O Instrument obligatoire (qui est d'application obligatoire)												

5 Conclusions et Recommandations

Le problème de l'érosion hydrique accélérée des sols agricoles en Région wallonne a attiré l'attention des praticiens et des scientifiques dès les années cinquante; toutefois ce n'est que depuis la fin des années nonante qu'il a commencé à être réellement pris en considération. D'emblée, il convient de remarquer cependant que les causes ne relèvent pas du seul fait de la pression agricole mais aussi de la pression climatique, et dans certains cas de la pression due à « l'urbanisation », notamment en ce qui concerne les coulées boueuses les plus dommageables.

En raison de l'urbanisation également, il faut compter aussi avec une augmentation de la vulnérabilité des zones naturellement exposées, du fait du développement de l'habitat, généralement peu adapté par ailleurs à subir au moindre mal les effets des aléas climatiques.

En ce qui concerne l'origine agricole du problème de l'érosion hydrique diffuse des sols, on peut mettre en exergue trois termes de pression parmi les plus déterminants, appelant à priori des mesures appropriées en correspondance avec le climat et la sensibilité du milieu naturel (vulnérabilité intrinsèque liée au sol et à la topographie) :

- La couverture du sol : en raison de politiques agricoles, commerciales et des exigences et besoins sociétaux, l'occupation agricole du sol a évolué vers une diversification orientée en particulier vers des cultures moins couvrantes notamment en périodes de précipitations intenses orageuses (printemps, été), et donc protégeant moins le sol contre l'impact des gouttes de pluie et les effets d'arrachement et de transport de particules par le ruissellement.
- Le travail du sol : notamment lors de la préparation du lit de semence, celui-ci a évolué vers une exigence d'ameublissement superficiel excessif (reprenons encore ici la phrase parfaitement d'actualité - citée en 2.2. - de Sine L. (Génie Rural, Fusagx) dès 1971: « ... *Dans le domaine de la mécanisation, ces dernières années (sic) sont caractérisées par l'apparition de machines très puissantes permettant de préparer des lits de germination très fins et très homogènes. Il en résulte un ameublissement très énergique des terres de surface..... Le ruissellement en nappe évolue souvent très rapidement en érosion linéaire... dégénéralant plus ou moins rapidement en griffes et ravines... ».*
- L'agrandissement des parcelles (il convient de considérer ce terme comme celui induit par la succession de cultures de même risque érosif sur un versant sans rupture appropriée d'hydraulique douce) : ceci conduit à des longueurs de ruissellement accrues et à une diminution du réseau de surface ramifié de collecte maîtrisée des eaux de ruissellement.

Hors origine « in situ », l'apport d'eaux de ruissellement parasites en provenance de l'amont (voiries, parcelles agricoles, habitats) vers des terres agricoles en aval est un facteur d'accroissement des aléas d'érosion et de flux boueux.

D'une manière générale, les mesures techniques en vue de minimiser l'aléa d'érosion relèvent d'une approche agronomique mais aussi d'hydraulique *dite* douce ; il importe cependant de faire la distinction entre les mesures antiérosives et les mesures contre les pertes en sol, ces dernières n'étant en somme que des palliatifs. A titre d'exemple, la mesure envisagée au niveau de l'écoconditionnalité et qui vise à interdire les cultures de type sarclé sur les pentes de plus de 10 % est une mesure antiérosive appropriée ; cependant la dérogation prévue à cette interdiction en cas de présence de bandes enherbées ou de prairie en aval de la parcelle remplacerait en fait cette mesure antiérosive par une mesure contre les pertes en sol, qui elle, n'est que palliative puisqu'elle ne corrige pas l'érosion de la parcelle amont. Il s'ensuit que la mesure « bande enherbée ou prairie » devrait être associée à l'interdiction, plutôt que la remplacer.

Il est clair par ailleurs que des efforts conséquents sont en cours actuellement en Région wallonne, tant de la part des autorités concernées que des agriculteurs, que ce soit en termes de réflexion ou de recherche des modalités les plus appropriées, dans un domaine qui reste complexe car lié à des activités humaines en relation forte avec le milieu de façon non ponctuelle (le petit bassin versant), et certes le climat.

En ce qui concerne les flux boueux, en complément aux mesures en vue de limiter l'aléa d'érosion diffuse, la limitation ou la protection de l'habitat au droit de « Points noirs » est nécessaire (limitation de la vulnérabilité ou de l'exposition), ces zones étant par nature exposées à des risques de dommages lors d'évènements pluvieux exceptionnels. Dans ce cas d'ailleurs, la solution du problème relève le plus souvent d'un diagnostic et d'une approche « Petit bassin versant » et est liée à la problématique de la circulation des eaux de ruissellement.

Recommandations

Au niveau de politiques globales, ou plus spécifiques et relatives à des mesures de prévention de l'érosion hydrique, de correction et, à défaut ou en complément, au niveau des mesures palliatives, les recommandations ci-dessous peuvent être avancées, portant sur les pressions relatives à l'aléa érosion ou l'aléa « coulées boueuses », sur les zones sensibles, sur les zones exposées ou sur la vulnérabilité, sur les dommages eux-mêmes ; signalons que pour certaines de ces recommandations, les actions ou la tendance à les promouvoir sont déjà nettement engagées dans le sens préconisé.

Au niveau des politiques

- L'agriculteur n'est pas plus responsable que tout un chacun de l'évolution des économies et des exigences et besoins sociétaux, qui conduisent à la disparition de l'agriculture « de taille moyenne » et à la diversification vers des cultures globalement plus à risque¹³² sur le plan de l'érosion des terres; il y a donc lieu de déterminer les moyens d'aide¹³³ à l'agriculture, à quelque niveau que ce soit, qui permettent de protéger durablement les sols en tant que tels sans avoir à pénaliser la rentabilité de l'exploitation. Dans cette perspective, il serait également approprié de promouvoir l'appui financier et technique à la recherche et à la mise en œuvre appropriée de mesures préventives plutôt que palliatives.

¹³² Sous réserve d'une analyse spécifique, il est possible que les besoins sociétaux et politiques (Forces motrices) favorisant le développement de la production de biomasse énergétique soient des éléments positifs pour ce qui concerne la diminution du problème d'érosion, compte tenu de la nature des spéculations envisagées (types de cultures en jeu, boisements).

¹³³ Par exemple, droit préférentiel aux primes pour des systèmes de culture moins érosifs,...

- La Wallonie est un pays de vallons, aucune région écoclimatique n'échappe à ce constat en ce qui concerne la problématique de ruissellement des eaux; il s'ensuit que les politiques liées à la Conservation des Sols et des Eaux passent nécessairement par la promotion d'une approche globale (non sectorielle) de gestion et d'aménagement de l'espace autant rural qu'urbanisé :
 - tenant compte de l'unité fonctionnelle qu'est le petit bassin versant et son linéaire de circulation des eaux de ruissellement hors cours d'eau (naturel et artificialisé, voiries comprises),
 - tenant compte de la sensibilité du milieu naturel (sol et topographie) eu égard à la problématique considérée.
- Compte tenu de cette nécessaire perspective « petit bassin versant », il importe de faire redescendre les politiques au niveau des pouvoirs locaux via des dispositions intégrant la concertation et la communication avec les agriculteurs et autres « partenaires » du petit bassin versant, compte tenu de la « responsabilité » collective habituellement rencontrée dans cette problématique.
- Par ailleurs, il importe de promouvoir l'expertise scientifique et administrative et les spécificités propres à la Région wallonne au niveau des cénacles européens de discussion sur ces questions.

Au niveau des politiques de mesures :

- Définir un ou des critères de bon état des eaux de surface (fonction de leur vulnérabilité - elle-même liée aux enjeux en cause) quant aux sédiments relatifs au charriage de fond en particulier (le phosphore, les matières en suspension et les pesticides étant déjà inclus - ou en voie de l'être - dans des indices ou critères appropriés).
- Définir des mesures en tenant compte dans chaque cas de l'importance relative des provenances (agricole, non agricole) par bassin versant hydrographique ; cette considération est également valable pour le phosphore et pour les pesticides.
- Soutenir les mesures antiérosives proprement dites en priorité avant celles (palliatives) relatives aux pertes en terre, et utiliser en correspondance, outre les indicateurs d'avancement, des indicateurs d'efficacité, en identifiant séparément les mesures contre l'érosion (aléa « On »), les mesures contre les pertes en terre, et les mesures contre inondations par ruissellement et coulées boueuses liées aux événements climatiques exceptionnels (dans ce dernier cas, avec un objectif de mitigation des dommages par réduction de l'aléa « Off » et/ou de la vulnérabilité des « Points noirs »).

Au niveau des mesures

- Axer les priorités sur les zones sensibles à l'érosion et sur les mesures les plus significatives, accentuer en particulier la réflexion relative à la gestion des successions culturales :
 - Sur le plan spatial : cultures alternes et fossés inter parcellaires le long des versants, bandes enherbées le long des talus de voiries enherbés eux-mêmes (également utile pour la limitation des pesticides¹³⁴), voiries elles-mêmes, etc.
 - Sur le plan temporel (rotations et itinéraires techniques minimisant les périodes de sol nu, sous-semis et autres pour cultures peu couvrantes en période printemps-été, etc.).

¹³⁴ Confer « Guide de bonne pratique phytosanitaire; partie générale » Comité Régional PHYTO (2004) et à l'initiative de la Direction du Développement et de la Vulgarisation-RW, 77 pages.

- Établir, annuellement au mieux, la répartition spatiale des cultures sarclées d'une part, non sarclées d'autre part (confer Indicateurs de pression, Point 4.2.2.1,) (sur base par exemple d'une imagerie satellitaire diachronique incluant la période « fin juillet-début août »; la « moyenne résolution », peu coûteuse, pourrait déjà suffire).
- Favoriser en principe l'enfouissement de résidus organiques, sous la réserve de résultats d'expérimentations scientifiques ayant évalué, en sols sensibles et conditions écoclimatiques propres à la Région wallonne, les conséquences significatives positives mais aussi négatives.
- Dans un objectif de cohérence, développer des plans de lutte contre le ruissellement, l'érosion et les pertes en sol sur base de l'unité fonctionnelle qu'est le petit bassin versant, incluant des mesures de Conservation des Eaux et des Sols et, s'il y a lieu, de Défense et Restauration des Sols (mesures CES/DRS), et notamment :
 - Initier la mise en œuvre de ces plans d'action sur des bassins versants représentatifs « expérimentaux », compte tenu des interactions complexes en jeu, afin d'identifier et répertorier des axes de solutions intégrées les plus appropriés sur les plans socio-économique et environnemental propres à la Région wallonne (*en cours par exemple : divers projets de schémas-directeurs « bassins versants » à titre pilote (confer Point 1.2) ; aussi : avant-projet accepté de décret du GW « Aménagements et ouvrages de limitation de l'érosion et du ruissellement » avec subsides aux communes, Provinces, Wateringues, ...*).
 - Approfondir la question des bandes enherbées en relation avec le milieu naturel (sol, topographie) dans une perspective d'approche préventive (limites de plateaux, bordures de talus).
- Engager une réflexion sur la gestion intégrée de la circulation maîtrisée de l'eau hors cours d'eau à ciel ouvert dans les petits bassins versants (« drainage » de plateaux, chenaux enherbés et autres noues, axes de concentration des eaux de ruissellement, talwegs, voiries, fossés, cours d'eau voutés ou à tracés modifiés,...).
- Eu égard aux Zones exposées vulnérables « Off » (Points Noirs), en relation avec la problématique des événements climatiques exceptionnels, à conjuguer aussi avec la problématique des inondations par ruissellement et en complément aux mesures antiérosives proprement dites, favoriser quand nécessaire l'application de mesures palliatives plus lourdes de protection de l'aval (retenues collinaires sur les talwegs, bassins de sédimentation, bassins d'orage proprement dits à l'aval de zones urbanisées si celles-ci sont situées dans le petit bassin versant afférent au Point Noir, etc.), ces mesures entraînant nécessairement des règles de gestion et d'entretien appropriées.
- Promouvoir l'information rapprochée auprès des agriculteurs et des pouvoirs locaux, ainsi que la concertation constructive (*exemples : confer Point 1.2*).

Au niveau des outils d'aide à la décision

- Promouvoir et poursuivre au niveau wallon le développement d'outils technologiques concurrentiels d'aide à la décision, appropriés aux besoins des États des Lieux et des Indicateurs à fournir sur ces questions au niveau européen.
- En fonction des politiques agricoles et autres susceptibles d'influencer le milieu naturel sur le plan ruissellement-érosion, appliquer les modèles appropriés (intégrés, « bioéconomiques » et autres) en termes de scénarios notamment prévisionnels, en vue d'en évaluer les conséquences économiques et environnementales.
- Poursuivre l'utilisation et l'amélioration de modèle(s) approprié(s), permettant en l'occurrence les estimations annuelles des indicateurs de pertes en sol et de rendements en sédiments d'origine agricole et autres ainsi que des contaminants associés, en y intégrant de façon continue les connaissances nouvelles, améliorées et actualisées en

matière de données et processus, de statistiques de l'évolution de l'occupation du sol et des apports agricoles, de la statistique des mesures antiérosives, etc., ceci en vue de contribuer notamment à un suivi de l'état des lieux « Sols » répondant aux objectifs et desiderata de la Région wallonne et européens (*exemples : confer Point 1.2*).

- Développer une réflexion en vue d'utiliser de façon concertée les outils d'aide à la décision en relation avec les indicateurs, tels que (*confer Point 1.2*) :
 - le modèle EPICgrid, en l'occurrence pour le phosphore et les sédiments d'origine agricole vers les eaux de surface - à l'échelle parcelle, région ou sous-bassins hydrographiques suivant les nécessités - pour la simulation de scénarios (y compris l'analyse des effets des changements climatiques), en relation avec les objectifs des Directives et autres, et en relation avec le modèle MOÏRA_PIRENE,
 - le modèle PEGASE, en l'occurrence pour le phosphore et les sédiments d'origine agricole vers les eaux de surface, en relation avec le modèle MOÏRA_PIRENE,
 - le système POCER-PRIBEL (fédéral), pour les indicateurs de risque pesticides,
 - le projet ADAGE, pour les aspects bioéconomiques,
 - le projet ERRUISSOL, pour le SIG zones à risque,
 - les bases de données SIGEC (suivi du parcellaire agricole) et autres (REQUASUD, TALISOL, etc.),
 - ...?
- Promouvoir l'utilisation des cartographies relatives aux risque érosif et de ruissellement concentré (*confer Point 4.5.2*) (*cartographies en cours –ainsi que des applications, confer Point 1.2*).

Au niveau de la recherche, promouvoir notamment :

- La démarche expérimentale en concertation avec les agriculteurs.
- Le développement de la recherche appliquée sur des questions prioritaires en relation avec l'érosion des terres agricoles (en tant que problème différent de la compaction des terres), à cibler spécifiquement sur les sols sensibles (*voir exemples de Projets en cours au Point 1.2*) :
 - Systèmes de culture intégrés, incluant la question du mode de travail du sol (facteur C de Wischmeier) ;
 - Effets du travail du sol sur la structure de surface (facteur érodibilité du sol K) ;
 - Méthodes de préparation des semences ou des plants permettant un travail du sol moins agressif ;
 - Méthodes de couverture du sol des sols en périodes d'érosivité des pluies élevée (pression climatique R): sous-semis (facteur cultural C), rotations et alternances des cultures (facteurs C et LS), etc. ;
 - Effets positifs (érodibilité, infiltrabilité) mais aussi négatifs (lessivage par ruissellement, difficulté de la maîtrise du processus de minéralisation des nitrates,...) de modes d'enfouissement de types divers de résidus organiques (facteur C et K), effet d'amendements calciques (facteur K);
 - Etudes intégrées sur l'évolution des propriétés chimiques et physico-chimiques (M.O. et autres), physiques (états de surface, distribution de la porosité, ...), mécaniques (limites de liquidité et autres,...) et biologiques des sols de surface, sous l'effet des précipitations et des eaux de ruissellement.
- L'étude de la formation des ravines, afin de dégager si possible des critères généraux de situations à risque (ravines de talus et autres types), en zones sensibles.

- L'étude du fonctionnement hydraulique hors cours d'eau des réseaux naturels et artificialisés de récolte des eaux de ruissellement ainsi que des processus liés aux flux de sédiments en quantité et qualité (dépôts, charriage, suspension).
- L'étude statistique de la fréquence d'occurrence des précipitations d'intensité forte notamment en relation avec la succession des jours secs antérieurs.
- ...

6 Références

Ce point reprend les références citées dans le texte; une documentation complémentaire a été consultée ou analysée.

Auzet, A.V., Le Bissonais, Y., Souchère, V., sous presse « Soil Erosion in France » In Bordman J. and Poesen J. (Eds), Soil Erosion in Europe. Wilhey., 24 pages.

Beernaerts, S., Gérard, M., Pussemier, L., Debongnie, P., Copin, A., Barthelemy, J.P. (2000) « Préviation de la pollution des eaux par les produits phytosanitaires en Belgique et remédiation par traitements sur charbons actifs » Rapport final de Recherche ; Collaboration CERVA et FUSAGX, pour la DG VI « Recherche et Développement, Min. des Classes Moyennes ; (confer également : <http://www.phytofar.be/>).

Beernaert S., Debongnie, Ph., Gerard, M., Barthelemy, J.P., Copin, A., Guns, M., Pussemier, L. (2005) : "Evaluation of crop-protection-product-losses into surface waters with the SEPTWA system" Intern. J. Anal. Chem. Vol. 85, No. 1, 15 January 2005, pp 41-50.

Bernier, J., Parent, E. et Boreux, J.-J. (2000). « Statistique pour l'environnement. Traitement bayésien de l'incertitude » Editions TEC & DOC, p. 14-15.

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.

Bock, L., Hebberecht, Ch., Hanotiaux, G., Mathieu, L. (1987) « Campagne de sensibilisation et de lutte contre l'érosion des sols – premiers résultats de l'enquête 1987 » FUSAGX, Unité de Sciences du Sol, 39 p.

Bollinne, A. et Rosseau, P. (1978) « L'érodibilité des sols de Moyenne et Haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte de sol ». Société géographique de Liège. Bulletin n°14.

Bollinne, A., Laurant, A., Rosseau, P., Pauwels, J.M., Gabriels, D., Aelterman, J. (1980) « Provisional rainerosivity map of Belgium » Workshop on Assessment of erosion in USA and Europe, Ghent, 1978, Ed. de Boodt et Gabriels (John Wiley & Sons Edition) 111-120

Bollinne, A. (1982) « Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique » Ph. Thesis, ULg , 356 pages.

Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2000, 2003, 2004, 2005) « Tableau de bord de l'environnement wallon 2000 » Ed. MRW – DGRNE.

Cerdan, O., Souchère, V., Lecomte, V., Le Bissonais, Y. (2002c) « Incorporating soil surface crusting processes in a expert- based runoff model : STREAM » Catena, 46, 189-205

Copin, A. et Deleu, R. (1978) « Erosion et dispersion des produits phytosanitaires dans l'environnement » Pédologie, XXVIII, p. 205-213.

Copin, A., Deleu, R., Roisin, Ch. et Salembier, J.F. (1990). « Influence of Tillage on herbicide persistence. » In : Proceedings : International 3rd Workshop on Study and Prediction of Pesticides Behaviour in Soils, Plants and Aquatic Systems, Mai 30 – June 1, 1990, GSF, Munich, Ed. M. Mansour, 125-135.

Culot, M. (2005) « Filières de valorisation agricole des matières organiques » Rapport d'étude, Juin 2005, FUSAGx

Dagnelies, J. et Dautrebande, S. (2003) "Use of remote sensing imagery for ecohydrological applications" Rapport final FUSAGx, 75 pages; for European Space Agency (ESA) & Belgian federal Science Policy Office (Belspo); PRODEX Convention – Project AO-ID 505 (ENVISAT Prodex 6).

Dautrebande, S., Ledieu, J., Marcolini, V. (1993) « Rapport final d'activité 1989-1992 » Conventions IRSIA 5332 A et 5466 A, 155 pages.

Dautrebande, S., Mokadem, A.I. et Laime, S., (1994). « Projet pilote de CARactérisation HYdrologique CARHY - Rapport final » Unité d'Hydraulique Agricole, FUSAGx, 164p. et annexes. Co-financé par les Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles (SSTC) et le Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports, Service d'Études Hydrologiques (SETHY), 200 pages.

Dautrebande, S. et Colard, Fr. (2003) « Méthodologie de détermination et cartographie des zones à risque d'érosion diffuse et des zones à risque de ruissellement concentré » Rapport UHAGx-FUSAGX, pour la DGA-RW., 40 pages.

Dautrebande, S. (2003) « Guide méthodologique pour le choix d'aménagements appropriés en matière de conservation des eaux et des sols » Fascicule UHAGx-FUSAG pour la DGA-RW, 50 pages.

Dautrebande, S., Cordonnier, H., Thirion, M. et Biolders, Ch. (2006) « Lutter contre l'érosion des terres » Livret de l'Agriculture n° 12, 41 pages.

Dautrebande S. et Mokadem, A. (2006) « Erosion hydrique et ruissellement : le projet ERRUISSOL » in « Etudes et Documents » (Ed. DGATLP-RW) ; « Aménagements et Urbanisme » n°7 : « Les risques majeurs en Région wallonne : Prévenir en aménageant ».

Declercq, F. et Poesen J. (1992) « Evaluation of two models to calculate the soil erodibility factor K » Pédologie, XLII-2, 149-169, Gand 1992.

Delvaux, J. et Galoux A. (1962) « Les territoires écologiques du Sud-est de la Belgique » Travaux hors-série, Bruxelles ; ULB, Centre d'Ecologie Générale, 2 vol., 311 p.

Demarée, G. (1985) « Intensity-Duration-Frequency Relationship of Point Precipitation at Uccle. Reference Period 1934-1983 » IRM Publications, Série A, N° 116, 52 pages.

Desmet, P.J.J. et Govers, G. (1996) « A GIS procedure for the automated calculation of the USLE-LS factor on topographically complex and units » J. of Soil and water Conservation 51 (5) : 427-433.

Dissmeyer, G.E. et Foster, G.R. (1979) « Estimating the cover-management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions" J. of Soil and water Conservation, 235-240.

EEA (2005) « Agriculture and environment in EU-15 – the IRENA indicator report » n° 6/2005, 128 pages.

Erhard, M., Böken, H. et Glante, Fr. (2003) « The assessment of the actual soil erosion risk in Germany, based on Corine land Cover and Statistical Data from the Main Representative survey of Land use » pages 253-263, *in* Francaviglia Ed. "Agricultural impacts on Soil Erosion and Soil biodiversity : developing Indicators for Policy Analysis" Proc. OECD Expert Meeting, Rome, 2003.

European Communities (2003) « Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) ; Guidance document n°5, Analysis of Pressure and Impacts » Working group 2.1 – IMPRESS

EU Directorate – General Env., Soil Thematic Strategy (2004) : Technical Working group on soil erosion; Task Group 2 on « Nature and extent of soil erosion in Europe » ; Final Report, EU Directorate –General Env., Soil Thematic Strategy

Foster, G.R. et Wischmeier, W.H. (1974) « Evaluating irregular slopes for soil loss prediction" Transactions of the ASAE, pp 305 – 309.

Foster, G.R., Toy, T.E., Renard, K.G. (2003) « Comparison of the USLE, RUSLE1.06c, and RUSLE2 for application to highly disturbed lands » Proc. 1st Interagency Conf. on Research in the Watersheds, K.G. Renard, S. McElroy, W. Gburek, E. Canfield, and R.L. Scott (eds.), Oct. 27-30, Benson, AZ, pp. 154-160

Gillijns, K., Govers, G., Poesen, J., Mathijs, E., Bielders, Ch. (2005) « Erosion des sols en Belgique : Etat de la question » Cahier N° 10 de l'IRGT (Institut royal pour la Gestion durable des ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres, ASBL), 73 pages.

Guerritse R.G. and Vriesema R. (1984) « Phosphate distribution in animal slurries » J.agric. Sci., Camb., 102, 159-161.

Glossary of soil science terms, SSSA (1998)

Glossary of risk analysis terms. Society for risk Analysis. <http://sra.org/glossary.htm>
EEA glossary of environmental terms

Gobin A., Govers G., Kirby M.J., Le Bissonais Y., Kosmas C., Puigdefabregas J. Van Lynden G., Jones R.J.A. (1999) « PESERA Project Technical Annex » Contract N° QLKS-CT-1999-01323, EC. Agricultural Resources and Environmental Indicators, 2003

Gobin, A. et Govers, G. (2003) « Pan European Soil Erosion Risk Assessment » – 3th Annual Report – EU 5th Framework Programme, project N° QLK5-CT-1999-01323. 144 pp.

Heimlich, R. (2003) « Agriculture Handbook No. (AH722) » Publication USDA, Economic Research Service.

IRGT (Institut Royal pour la Gestion durable des ressources naturelles et la promotion des Technologies propres), (2005) "Gestion des boues : Etat des lieux, arriérés du passé et défis environnementaux" Notice N°2, 26 pages.

INS, Statistiques annuelles. Recensements agricoles et horticoles du 15 mai.

Karambiri, H., Hamma, Y., Touré, M. (2004) « Cours sur la problématique de l'érosion » par le Groupe EIER/ETSHER, Institut Supérieur Inter-Etats de formation et de recherche dans les domaines de l'Eau, l'Energie, l'Environnement et les Infrastructures, 01 BP 594 Ouagadougou. BURKINA FASO, avec le soutien de l'AUF (consulté le 13/10/05).

Lamalle C., Petit F., Koch G., Hurgon C. et Pissart A., 1989. « Les transports en suspension et en solution dans la Burdinale, affluent principal de la Méhaigne. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 25 : 39-52

Lane, L.J. et Nearing, M.A. (eds) (1989) « Water erosion Prediction Project : hillslope profile model documentation » NSERL report N°2, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.; cite par Summer W. et Walling D.E. (2002) " Modelling erosion sediment transport and sediment yield" Contribution IHP-V Projects 2.1 and 6.2., Techn. Doc. In Hydrology, N°60, Unesco, Paris, 264 pages. (site web pour le modèle WEPP : <http://topsoil.nserl.purdue.edu/weppmain/wepp/htm>)

Laurant, A., et Bollinne, A. (1978) « Caractérisation des pluies en Belgique du point de vue de leur intensité et de leur érosivité » Pédologie, XXVIII, 2, p. 214-232, Gand 1978, p 214-232.

Lebailly, Ph., Barthelemy, P.-A. et Burny Ph. (1995) *In* « Etat de l'environnement wallon, 2. Agriculture » Ministère de la Région Wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, 98p.

Le Bissonais, Y., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J. (2002) « Erosion hydrique des sols en France » Rapport IFEN, 108 pages.

Letpens, L., Van Orshoven, J., van Wesemael, B., Perrin, D., Roelandt, C. (2004) « The inventory-based approach for prediction of SOC change following land use change » Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 8 (2), 141-1546.

Maidment, D.R. Ed. In Chief (1992) « Handbook of Hydrology » McGraw – Hill, Inc.

Maraïte, H., Steurbaut, W. et Debongnie, P. (2004) « Development of awareness tools for a sustainable use of pesticides » Final Report CP/33, Programme SPSD II, Belgian Science Policy, 105 pages

Martin, Ph., Papy, Fr., Souchère, V., Capillon, A. (1998) « Maîtrise du ruissellement et modélisation des pratiques de production » Cahiers Agriculture, 7 : 111-9.

McHugh, M. (2003) « Soil erosion in UK : assessing the impacts and developing indicators » OECD Expert Meeting on Soil erosion and Soil Biodiversity Indicators, 9 pages.

Meyer, L. D. et Wischmeier, W. H. (1969) « Mathematical simulation of the process of soil erosion by water », TRANSACTIONS of the ASAE 12:754-762.

Oberlin, G. et Oancea, V., 1993. « Les solutions apportées par l'Hydrologie » Dossier, La Recherche 257, Vol. 24, p. 1039-1041

Onclincx, F., Tanghe, M., Galoux, A. et Weissen, F. (1987) « La carte des territoires écologiques de la Wallonie » n°111/1-2, p. 51-59

Pauwels, J.M., Aelterman J., Gabriels D., Bollinne A., Bollinne, A et Rosseau, P (1980) « Soil Erodibility Map of Belgium » Workshop on Assessment of erosion in USA and Europe, Ghent, 1978, Ed. de Boodt et Gabriels (John Wiley & Sons Edition), 193-202.

Pissard, A., Van Bol, V., Garcet, J.D.P., Harc, P. et Pussemier, L. (2005) « Calcul d'indicateurs de risque liés à l'utilisation de produits phytosanitaires. Etude préliminaire : détermination du niveau d'utilisation de pesticides en Région Wallonne. » Rapport final ; CERVA/CODA/VAR, Tervuren

Poesen, J. (1993) « Gully typology and Gully control measures in the European loess belt » Farm Land Erosion : In Temperate Plains Environment and Hills. S. Wicherek Ed., ©Elsevier Publ. B.V., 221 – 239.

Poesen, J., Vandaele, K., Wesemael, B. (1993) « Gully erosion : importance and model implications » NATO ASI Series, Vol. 155. Modelling Soil Erosion by water. ED. by Jhon Boardman and David Favis – Mortlock © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998. 285-311.

Pussemier L. et Steurbaut W. (2004) « Instruments de mesure de l'utilisation de produits phytosanitaires dans un contexte de développement durable » Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2004 8 (3). 177-185

Rawls, W.J. et Brakensiek, D.L. (1989) « Estimation of soil water retention and hydraulic properties » in MOREL-SEYTOUX H.J. (ed.), 1989. Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling, Theory and Practice, Kuwer Academic Publishers, p. 275-300.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weessies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (eds) (1997) « Predicting soil erosion by water : a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) » USDA Dept of Agr., Agr. Handbook 703, 99 pages. (site web : <http://www.sedlab.olemiss.edu/rusle>)

Ribaudo, M. O., Horan, R. D., Smith, M. E. (1999) « Economics of Quality Protection from Nonpoint Sources : Theory and Practice » Agricultural Economic Report n° (AER782). <http://www.ers.usda.gov/publications/aer782/>, 120 p..

Rose, C.W., Williams, J.R. , Sander, G.C. et Barry, D.A. (1983) « A mathematical model of soil erosion and deposition processes : I. Theory for a plane land element" Soil SCI. SOC. AM., J., 47, pp 991 – 995

Rung, J., Copin A., Culot, M. et Tricot, B., (2003). Adaptation et mise en application de la banque de données SIGMA Pro sur les pesticides par actualisation des informations et élargissement aux pesticides à usage non agricole. Rapport final. Ministère de la Région wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Division de l'Eau, Direction des Eaux de Surface. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Unité de Chimie analytique et Phytopharmacie & Laboratoire d'Ecologie microbienne. 134 p. et annexes.

Ruthy, A. (1961) « Prédétermination des débits de crue- Application au Ruisseau de Dison » Rapport interne, Service Technique Provincial, 26 pages.

Sine L. et Agneessens, J.P., 1978. « Étude des débits solides et du phénomène de migration dans une rivière drainant un bassin agricole. Pédologie 27-2 : 183-191.

Smits, J., Everbecq, E., Deliège, J.F., Descy, J.P., Wollast, R., Vanderborght, J.P. (1997) « Pégase, une modélisation et un outil de simulation prévisionnelle pour la gestion de la qualité des eaux de surface. Tribune de l'Eau 588(4), 73-82.

Sohier, C., Colard, F. et Dautrebande, S. (2004) « Projet-Pilote de démonstration. Simulations EPIC-maille et BioIndicateurs Azote et Erosion diffuse : Application à l'Exploitation agricole et aux Zones Vulnérables ». Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole. 29p. et annexes.

Sohier, C. et Dautrebande S., (2004) partim Etude pour IGRETEC (Intercommunale pour la Gestion et la Réalisation D'Etudes Techniques et Economiques) « Schéma directeur intégré pour la préservation de la qualité de l'eau et la valorisation écologique des lacs de l'Eau d'Heure dans le cadre du développement touristique et économique du site » in Rapport Final. Collaboration Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (Unité de Recherche en Biologie des Organismes), Groupe Interuniversitaire de Recherche en Ecologie Appliquée (GIREA – FUNDP), Université de Liège (Centre d'études et de Modélisation de l'Environnement et Laboratoire de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de prospection Géophysique), Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx-Hydrologie & Hydraulique Agricole), 262 p.

Sohier, C. et Dautrebande, S. (2005) « EPICgrid : Modélisation hydrologique des sols et des sous-bassins hydrographiques de la Meuse et de l'Escaut en relation avec les pratiques agricoles » Rapport final du Projet PIRENE du GW (2001-2004), 80 p.

Steege, A., Govers, G., Takken, I., Nachtergaele, J., Poesen, J., Merckx, R. (2001) « Factors controlling sediment and phosphorus export from two belgian agricultural catchments » J. Environ. Qual. 30 : 1249-1258

« TBE » : confer les références « Cellule Etat de l'Environnement Wallon : Tableau de bord de l'environnement wallon » Ed. MRW – DGRNE.

Thirion, M. (2006) « Outils wallons en matière de lutte contre l'érosion des terres agricoles » Exposé DGA-MRW, Courtrai, le 10 mars 2006.

U.S. Environmental Protection Agency (1995) « Mining Source Book » Region 10, 1200 Sixth Avenue, Seattle, WA 98101 ; <http://www.bf.refer.org/toure/pageweb/accueil.htm>.

Vagenende, B., Claey's, S., Van Bol, V., Pussemier, L., Debongnie, P., Steurbaut, W (2005,) « PRIBEL : a Pesticide Risk assessment Indicator for BELgium » – in Annexe 2 de l'Arrêté royal du 22 février 2005 relatif au premier programme de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides (M.B. 11.03.2005) (* Department of Crop Protection Chemistry, Ghent University ; ° CODA-CERVA, Tervuren)

Vagstad, N., Andersen, H.E., Iital, A., Jansons, V., Kyllmar, K., Rekolainen, S., Tumas, R., Deelstra, J. (2005) « Phosphorus losses in agricultural catchments in the Nordic and Baltic region », pages 35-40, in « Tools for assessing phosphorus loss from nordic agriculture » Heckrath G. et al, Eds, TemaNord 2005 : 583

Vanderheyden, V. et Scokart, P. (1997) « Quantification pour les eaux de surface de wallonie, des apports en nutriments issus de l'activité agricole » Rapport; I.S.0.- I.R.C., Tervuren, Min. Classes moy. et Agriculture; 81 pages.

Van der Knijff, J.M., Jones R.J.A., Montanarella, L. (2000). « Soil Erosion risk assesment in Europe » EUR 19H EN, 44 pp, Office for Officila Publ. of the EU Communities, Luxembourg. (*cité par Van Rompaey, A. et al., 2003*)

Van Rompeay, A., Verstraeten, G., Govers G., Van Oost,G., Poesen, J. (2001). « Modeling mean annual sediment yield using a distributed approach ». Earth Surface Processes and Landforms 26: 1221-1236 (*cité par Van Rompay, A. et al., 2003*)

Van Rompaey, A., Bazzoffi P., Dostal T., Verstraeten , Jordan G., Lenhart Th., Govers G., Montanarella L. (2003) « Modelling off-farm consequences of soil erosion in various landscapes in Europe with a spatially distributed approach » pp 239-252, In : Francaviglia r. (Ed.) Agricultural impacts on soil erossion and soil biodiversity : developing Indicators for Policy Analysis. Proc. from an OCDE Expert meeting – Rome, Italy, March 2003, 654 pages.

Van Rompaey, A.J.J., Vieillefont, V., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Verstraeten, G., Bazzoffi, P., Dostal, Th., Krasa, J., de Vente, J., Poesen, J. (2003) « Validation of soil erosion estimates at European scale » European Soil Bureau Research report N°13, EUR 20nnn EN, 26 pages. Office for Official Publ. of the EU Comm., Luxembourg.

van Wesemael, Lettens S., Roelandt C., Van Orshoven J. (2004) « Changes in soil carbon stocks from 1960 to 2000 in the main Belgian cropland areas » Biotechnol. Agron.Soc. Environ. 2004 8 (2) 133-139.

Weykmans S. (2006) « Rapport GREENOTEC 2004-2006 » Projet GREENOTEC pour la DGA-RW, sous presse.

Wilkins, D., Liu, H. et Williams, J. (1996) « Effect of residue management on predicted soil loss » *in* Columbia Basin Agricultural Research Annual Report Spec. Rpt. 961, pp 48-51.

Williams, J.R., (1975) « Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor » p. 244-252. In : « Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources” Proceedings of the sediment-yield workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972. ARS-S-40.

Williams, J.R. et Berndt, H.D. (1976) « Determining the universal soil loss equation’s length-slope factor for watersheds » In « Soil Erosion : Prediction and Control”. Special publication n°21. Soil Conserv. Soc. Amer., pp. 217-225

Williams, J.R. and Berndt, H.D. (1977) « Sediment yield Prediction Based on Watershed Hydrology » Transactions of the ASAE, pp 1100- 1104.

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.

Wischmeier, W.H. et Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall-erosion losses from croplands east of the rocky mountains. USDA Agr. Res. Serv. Handbook 282, 47p.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) « Predicting rainfall erosion losses – a guide for conservation planning » U.S.D.A., Agricultural Handbook 537, 58 pages.

