

Bonnes pratiques agricoles

pour réduire la pollution de l'eau par les produits
de protection des plantes due au ruissellement
et à l'érosion



TOPPS
PROW&DIS

Les projets TOPPS ont débuté en 2005 par le projet de 3 ans financé par Life et l'ECPA visant à réduire les pertes de produits phytosanitaires (PPS) dans l'eau à partir de pollutions ponctuelles. TOPPS-eos (2010) évaluait les progrès techniques réalisés sur les pulvérisateurs et leur contribution au respect de l'environnement.

Le projet suivant, TOPPS-prowadis (2011 à 2014), se concentre sur la réduction des pollutions diffuses. TOPPS-prowadis est financé par l'ECPA, compte 14 partenaires et est mis en œuvre dans 7 pays de l'UE.

Les projets TOPPS établissent et recommandent de bonnes pratiques agricoles (BPA) en collaboration avec des partenaires et des experts européens. Une diffusion intensive par l'information, la formation et la démonstration est effectuée dans des pays européens afin de favoriser la sensibilisation des agriculteurs et des conseillers et de contribuer à assurer une meilleure protection de l'eau. TOPPS est l'acronyme de : Train Operators to Promote Practices & Sustainability (www.TOPPS-life.org)

Auteurs :

Comité technique :

Folkert Bauer (BASF), Jeremy Dyson (Syngenta), Guy Le Henaff (Irstea), Volker Laabs (BASF), David Lembrich (Bayer CropScience), Julie Maillet Mezeray (Arvalis), Benoît Réal (Arvalis), Manfred Roetttele (BetterDecisions)

Partenaires locaux :

Magdalena Bielask-Rosinska (Inst. Env. Protection), Aldo Ferrero (Univ. Turin), Klaus Gehring (Bavarian State Res. Centre LfL), Emilio Gonzalez Sanchez (Univ. de Cordoue, Ellen Pauwelyn (InAgro), Rolf Thorstrup Poulsen, Marian Damsgaard Thorsted (Danish Ag. Advisory Service)

Partenaires du projet :

- InAgro, Rumbek, (B)
- Bavarian State Res. Centre LfL, Freising, (D)
- Danish Ag. Advisory Service, Aarhus (DK)
- Université de Cordoue, Cordoue (E)
- IRSTEA (Cemagref), Lyon, (F)
- ARVALIS Institut du végétal, Boigneville, (F)
- Agroselvitier, Université de Turin, Turin (I)
- Institut pour la protection de l'environnement (IPE), Varsovie (P)

Comité de pilotage de TOPPS-Prowadis :

Philippe Costrop, Syngenta (Président) ; Evelyne Guesken, Basics ; Julie Maillet-Mezeray, Benoît Réal, Arvalis ; Inge Mestdag, Dow ; Ellen Pauwelyn, InAgro ; Alison Sapiets, Syngenta ; Paolo Balsari, Univ. Turin ; Folkert Bauer, BASF ; Greg Doruchowski, InHort ; Jeremy Dyson, Syngenta ; Guy Le Henaff, Irstea ; Lawrence King, Bayer CropScience ; Volker Laabs, BASF ; Holger Ophoff, Monsanto ; Poul Henning Petersen, DAAS ; Bjoern Roepke, Bayer CropScience ; Manfred Roetttele, BetterDecisions ; Stuart Rutherford, ECPA

Photographies :

Les photographies nous ont été fournies par nos partenaires du projet TOPPS prowadis, par l'USDA ainsi que par des experts



DISAFA
Università degli Studi di Torino
Via Leonardo da Vinci, 44
10095 Grugliasco (Torino), Italie



ARVALIS - Institut du végétal,
3 rue Joseph et Marie Hackin,
75116 Paris, France



Institute of Environmental Protection -
National Research Institute,
Krucza str. 5/11d, 00-548 Varsovie
Pologne



Inagro vzw
8800 Rumbek-Beite
Ieperse weg 87m, Belgique



Milieux Aquatiques, Écologie et Pollutions Équipe
Pollutions Diffuses
IRSTEA Lyon,
5 rue de la Doua, CS70077
69626 VILLEURBANNE Cedex, France



Université de Cordoue (UCO),
Campus Rabanales, Dpto de Ingeniería Rural -
UCO Ed. Leonardo Da Vinci - Area de
Mecanización, E- 14014 Cordoue, Espagne



Knowledge Centre for Agriculture
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N, Danemark



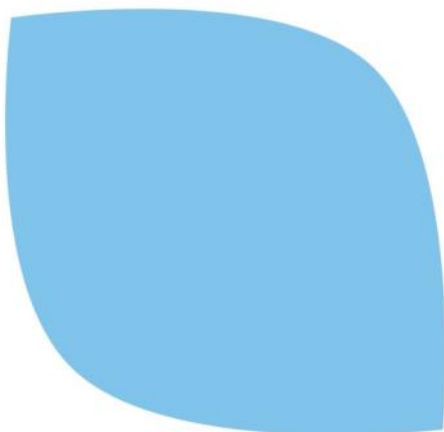
Centre de recherches agricoles du Land de Bavière (LfL)
Vöttinger Str. 38
D 85354 Freising-Weihenstephan, Allemagne

Sommaire

Avant-propos	7
Introduction	8
Sources de pollution de l'eau	8
Types de ruissellement/d'érosion	9
Facteurs influant sur le transfert de PPS par ruissellement	11
Potentiel de mouvement des substances actives des PPS	11
Principaux facteurs généraux déterminant le risque de transfert hydrique des PPS	12
Connexion aux eaux de surface	12
Caractéristiques du sol	12
Météorologie/conditions climatiques	12
Forme et longueur de la pente : facteurs aggravants	12
Couverture du sol	12
Méthode de diagnostic/d'audit	13
Diagnostic du bassin versant	13
Diagnostic de la parcelle	14
Logigramme / arbre de décision	15
D1 : Logigramme pour l'évaluation du risque de ruissellement par refus d'infiltration	16
Scénarios de ruissellement par refus d'infiltration (Logigramme 1)	17
D2 : Logigramme pour l'évaluation du risque de ruissellement par saturation	19
Scénarios de ruissellement par saturation (Logigramme 2)	20
D3 : Logigramme pour l'évaluation du risque de ruissellement par écoulement concentré	21
Scénarios de ruissellement par écoulement concentré (Logigramme 3)	22
Bonnes pratiques agricoles (BPA)	24
Processus d'élaboration des BPA	24
Plan de mise en œuvre	25

Sommaire

Vue d'ensemble des solutions et exemple de méthode d'élaboration des BPA	26
Vue d'ensemble des solutions	26
Exemple de méthode d'élaboration de bonnes pratiques agricoles	27
Boîte à outils des solutions	30
Gestion du sol	31
Pratiques culturales	39
Zones tampons végétalisées	45
Considérations générales	45
Choix et entretien des zones tampons	48
Structures de rétention et de dispersion	57
Utilisation correcte des PPS	63
Irrigation	66
Évaluation de l'efficacité des solutions proposées	68
Glossaire	72
Références	78



AVANT-PROPOS

La protection de l'eau figure en bonne place parmi les préoccupations du public dans le domaine de l'environnement, et elle apparaît comme l'un des éléments fondamentaux indispensables à toute forme de vie sur la planète.

L'ECPA considère que la protection de l'eau constitue un pilier essentiel de ses travaux et elle est très consciente de la nécessité de poursuivre sans relâche ses efforts pour promouvoir une bonne utilisation des pesticides dans le cadre d'une agriculture durable et productive. Nous nous fixons donc pour mission de travailler conjointement avec nos associations nationales et un large éventail de partenaires internationaux à la mise au point et à la diffusion des meilleures pratiques agricoles, de recommandations et de matériels de formation pour garantir que tous les aspects importants de la protection de l'eau sont pris en considération et qu'un large consensus se dégage concernant les mesures recommandées (désignées par le terme de « bonnes pratiques agricoles » (BPA).

Cette collaboration importante pour élaborer des outils de protection de l'eau et améliorer ceux déjà disponibles est en outre étroitement conforme aux objectifs énoncés dans la législation actuelle de l'UE, dont la Directive cadre sur l'eau (DCE) et la Directive sur l'utilisation durable des pesticides (DUDP). Nos travaux ont abouti aux projets TOPPS¹ multipartenaires lancés depuis 2005 dans de nombreux pays de l'UE et financés par l'ECPA, ainsi que par la Commission européenne pendant les trois premières années (Life).

Les projets TOPPS étaient initialement axés sur la réduction des pollutions ponctuelles telles que celles résultant du nettoyage ou de la vidange des pulvérisateurs, ou encore de déversements accidentels, et nous nous efforçons à présent depuis 2011 de nous concentrer sur réduction plus complexe des pollutions diffuses (ruissellement et dérive principalement), de manière à établir un vaste ensemble de BPA recommandées pour protéger l'eau. Ce nouveau volet des projets TOPPS a été baptisé TOPPS-prowadis². Nous espérons que les BPA qui en résultent permettront d'informer, de sensibiliser et de former les exploitants, les conseillers et toutes les personnes concernées, et ce de diverses manières : avec des sessions de formation, dans les champs et par le biais de démonstrations. L'ECPA est attachée à promouvoir la mise en œuvre de ces BPA.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à tous les partenaires et experts pour leurs grands efforts et contributions aux projets TOPPS, tant par le savoir-faire technique qu'ils ont apporté que par leur volonté de travailler ensemble pour parvenir à un consensus sur nos objectifs communs. J'espère par ailleurs de tout cœur que ces BPA aideront à susciter l'enthousiasme nécessaire pour les appliquer « sur le terrain » et contribueront à la sensibilisation et à la propagation des connaissances nécessaires à une utilisation durable des pesticides et à un haut degré de protection de l'eau.

Friedhelm Schmider

Directeur général
European Crop Protection Association
Bruxelles, Belgique



¹www.TOPPS-life.org ²TOPPS-prowadis - Protecting Water from Diffuse Sources (« protection de l'eau contre les sources de pollution diffuses »)

INTRODUCTION

Les différentes sources de pollution des eaux

On distingue deux voies principales de pollution des eaux de surface par les produits de protection des plantes (PPP):

Les pollutions ponctuelles

Les pollutions ponctuelles sont liées à la manipulation de PPP principalement dans les cours de ferme. Les principaux risques de pollution sont le remplissage du pulvérisateur, son nettoyage, et la gestion des effluents générés par le nettoyage et l'entretien des pulvérisateurs à la ferme.

Les pollutions diffuses

Parmi les principaux risques de pollution diffuse figurent le ruissellement et l'érosion par des fortes pluies (lors de l'application ou peu après), les réseaux de drainage des sols hydromorphes et à la dérive de pulvérisation (transfert de gouttelettes entraînées par le vent)

Les risques les plus élevés sont ceux liés aux pollutions ponctuelles, suivis par ceux dus au ruissellement et à l'érosion à partir des parcelles agricoles.

Il existe différentes possibilités pour réduire les pollutions, qu'elles soient d'origine ponctuelle ou diffuse.. La diminution des pollutions ponctuelle doit avoir lieu dans la cour de ferme, et porte directement sur l'attitude des opérateurs : il faut multiplier les précautions lors de la manipulation de PPP, améliorer les aménagements dans la cour de ferme et avoir un matériel en parfait état de façon à éviter les erreurs. Tous les risques importants de pollution peuvent être maîtrisés.

La pollution d'origine ponctuelle peut donc en grande partie être évitée.

La réduction des pollutions diffuses est spécifique au milieu et dépend également de facteurs non maîtrisables tels que les conditions climatiques et leurs interactions avec le type de sol et paysage. Elle est liée à la nature du bassin versant et des parcelles agricoles. Les solutions doivent souvent être mises en œuvre à l'échelle individuelle (agriculteur à l'échelle de la parcelle) et collective (groupe d'agriculteurs à l'échelle du bassin versant). **Les pollutions diffuses peuvent être réduites dans une grande mesure, mais des conditions climatiques extrêmes peuvent présenter, au moins dans certains cas, des risques non contrôlables par les acteurs de terrain.**

L'enjeu est de déterminer les solutions à mettre en œuvre pour des conditions climatiques moyennes. Les précipitations exceptionnelles (c'est à dire survenant en moyenne 1 fois tous les 50 ans) ne peuvent servir de base pour la recommandation et la mise en œuvre de bonnes pratiques agricoles (BPA).



Types de ruissellement/d'érosion

1) Ruissellement par refus d'infiltration dans le sol

L'intensité de la pluie peut être supérieure à la capacité d'infiltration de l'eau dans un sol. On parle dans ce cas de ruissellement par refus d'infiltration. La fonte des neiges sur un sol gelé constitue un cas particulier, le sol gelé est alors imperméable et empêche l'infiltration. Ceci peut causer à la fois ruissellement et érosion

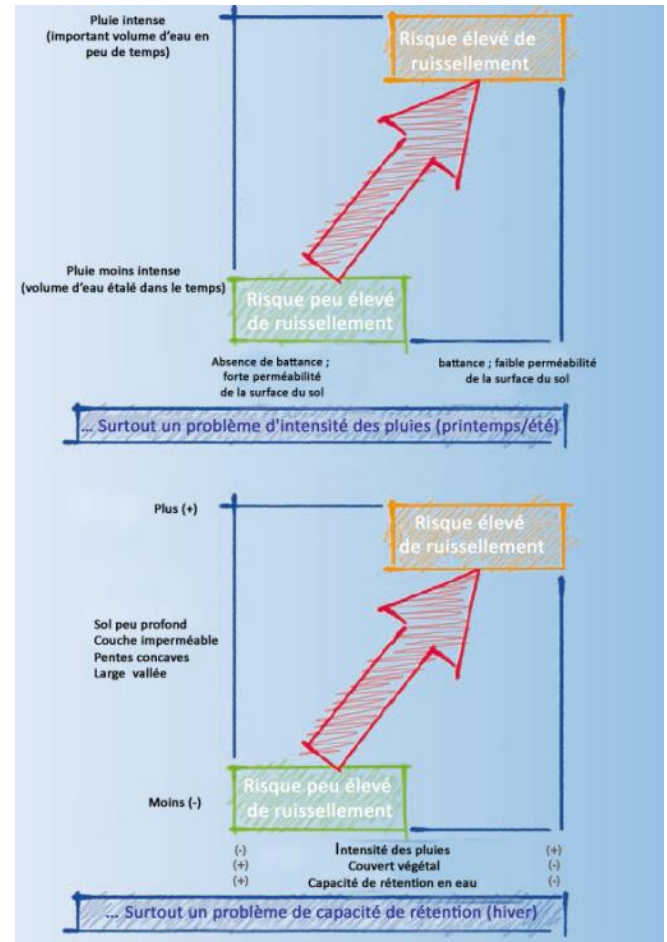
Graphique 1 - Lien entre l'infiltration et le risque de ruissellement

2) Ruissellement par saturation en eau du sol

Le ruissellement survient lorsque le sol est saturé d'eau : il y a accumulation d'eau sur un substrat imperméable et la parcelle déborde (« trop-plein »).

Le ruissellement par saturation est surtout un problème de faible capacité de rétention du sol en eau et se produit si le volume total des pluies est supérieur à la capacité de rétention

Graphique 2 - Lien entre la capacité de rétention en eau et le risque de ruissellement



a) Infiltration latérale/écoulement hypodermique

Si l'eau s'infiltre dans le sol d'une parcelle en pente et atteint une couche imperméable (roche ou argile, par exemple), l'eau s'écoule latéralement sur le substrat imperméable en suivant le sens de la pente (ou pendage du substrat géologique). Par rapport au ruissellement de surface, ces écoulements hypodermiques présentent un risque de transfert plus faible de PPP dans les eaux de surface en raison du mouvement relativement lent de l'eau au travers du sol, plus favorable à la dégradation et l'adsorption des substances actives (SA). Les écoulements hypodermiques peuvent souvent être observée par leur résurgence sur les berges des cours d'eau, voire directement sur les pentes de versant quand le substrat géologique affleure et provoque des mouillères.

b) Réseaux de drainage

Le drainage artificiel est un cas particulier d'écoulement hypodermique. Un réseau artificiel de drains élimine l'excès d'eau du sol et le transfère, par l'intermédiaire des collecteurs, vers les fossés ou cours d'eau proches de la parcelle (le ruissellement par saturation est par conséquent généralement faible dans les parcelles drainées). Des quantités significatives de PPP peuvent parfois être détectées dans l'eau issue des réseaux de drainage, en particulier lorsque les sols drainés sur lesquels les PPP sont appliqués présentent des fentes de retrait ou sont saturés en eau au moment de la pulvérisation.

3) Ruissellement par écoulement concentré

Le ruissellement concentré se produit lorsque l'eau s'accumule pour former de petits ruisseaux sous l'effet du relief et de la forme des parcelles (parcelle de grande taille, traces de roue dans le sens de la pente, etc.) ou au paysage (pente, talweg,). L'écoulement concentré est généralement facilement visible dans la mesure où il s'accompagne souvent d'érosion et constitue une forme sévère de ruissellement superficiel avec une plus grande intensité. L'érosion favorise le transfert de particules du sol avec l'eau de ruissellement, et plus particulièrement celui de substances liées au sol telles que les phosphates et certains PPP.

La présence de sédimentation du ruissellement érosif en bas de parcelle peut être un signe d'écoulement concentré. Les rigoles creusées par l'eau dans la parcelle constituent de bons indices avant-coureurs d'érosions futures. En règle générale, ces rigoles concentrent encore davantage l'eau dans de petites vallées (talweg) et peuvent donc aboutir à des formes de ruissellement plus sévères (ruissellement en talweg, ruissellement en ravine). La boîte à outils des solutions pratiques permet de sélectionner les solutions les plus efficaces en fonction de la gravité du problème.

FACTEURS INFLUANT SUR LE TRANSFERT DE PPP PAR RUISSELLEMENT

La procédure d'homologation des PPP dans les États membres de l'UE évalue la possibilité que les produits phytosanitaires puissent affecter les organismes aquatiques et la qualité de l'eau. Les risques associés aux applications de PPP sont évalués et peuvent conduire à un refus d'homologation ou à des restrictions d'utilisation imposées par la réglementation dont il sera fait mention sur l'étiquette du produit en question. Les restrictions obligatoires figurant sur l'étiquette des produits doivent être respectées et considérées comme des éléments essentiels de la stratégie visant à réduire la contamination des eaux de surface, qui inclut également l'adoption de BPA basées sur un diagnostic précis du bassin versant et de la parcelle agricole. Dans les situations où la vulnérabilité est importante et identifiées lors du diagnostic il peut s'avérer nécessaire de pratiquer la substitution de produit.

Potentiel de mouvement des substances actives des PPS

Tous les produits ne sont pas transférés de la même façon dans les eaux de ruissellement. Les substances faiblement adsorbées sont principalement transférées sous forme dissoute dans l'eau de ruissellement, alors que les autres, fortement adsorbées, sont surtout transférées avec les particules du sol érodé (ou matières en suspension). Les propriétés intrinsèques d'un PPP influent sur les modalités et sur l'ampleur de son transfert dans l'eau. Deux principaux types de propriétés caractérisent le comportement des substances actives dans le sol :

Persistance dans le sol

La persistance dépend du taux de dégradation du produit dans le sol et elle est habituellement exprimée en demi-vie (DT 50)

Elle indique le temps nécessaire en nombre de jours à la dégradation de 50 % de la substance active du PPP dans le sol. Les taux de dissipation dépendent de la teneur en matière organique, de la teneur en argile et du pH du sol ainsi que des conditions climatiques (température, humidité). Les substances plus persistantes dans le sol resteront présentes plus longtemps à une concentration relativement élevée dans la couche arable et seront donc plus facilement transportées vers eaux de surface par ruissellement.

Mobilité dans le sol

Le transport des pesticides par les eaux de ruissellement dépend de leurs caractéristiques et de leur distribution dans le sol, et en particulier de leur adsorption sur le sol. Les pesticides fortement adsorbés dans le sol ne peuvent rejoindre les eaux superficielles dans des proportions significatives que si le ruissellement transporte une quantité élevée de matières en suspension (sédiments et colloïdes). En revanche, les pesticides faiblement adsorbés sur les particules du sol ne peuvent produire des concentrations significatives dans les eaux de surface que par les eaux de ruissellement. Quels que soient les pesticides, la quantité susceptible de rejoindre les eaux de surface est cependant fonction de l'intensité du ruissellement et/ou de l'érosion du sol, surtout s'il existe des laps de temps faibles entre l'apparition de ces phénomènes et le moment où le PPP a été appliqué. Plus le délai entre l'application et les premières précipitations significatives (accompagnées d'un important ruissellement et/ou d'une forte érosion du sol) est long, moins le risque de transfert de PPP est élevé.

Les solutions visant à réduire les transferts de PPP par ruissellement permettent également de diminuer le transfert de nutriments clés tels que l'azote (dissous dans l'eau) et les phosphates (principalement liés aux particules du sol).

PRINCIPAUX FACTEURS DÉTERMINANT LE RISQUE DE TRANSFERT DES PPP PAR RUISSELLEMENT

La réalisation d'un diagnostic au niveau du bassin versant et de la parcelle agricole pour déterminer le risque de transfert s'avère indispensable pour sélectionner les solutions les plus adaptées (Bonnes Pratiques Agricoles) à la situation. Les facteurs énumérés ci-dessous doivent être identifiés.

Connexion aux eaux de surface

Plus la distance entre un champ traité et les eaux de surface est importante, plus les risques de transfert de PPP par ruissellement/érosion sont faibles. Mais la distance (en m) au cours d'eau n'est pas le seul facteur à prendre en compte : la vitesse des eaux de ruissellement allant du champ vers les eaux superficielles et les éventuelles voies d'écoulement concentré partant de la parcelle (routes ou talwegs, courts circuits par réseaux de drainage, par exemple) doivent également être prises en compte.

Caractéristiques du sol

Les propriétés du sol influencent l'infiltration de l'eau et l'adsorption/la dégradation des PPP. L'infiltration de l'eau dans le sol réduit/élimine le risque de ruissellement et d'érosion à la source. La présence de couches de sol imperméables dans le profil peut réduire la capacité d'infiltration du sol et aboutir à un ruissellement. L'allongement de la présence des PPP dans le sol en contact avec les micro-organismes accroît la biodégradation potentielle des PPP et réduit donc le risque de transfert. Le mouvement de l'eau est généralement nettement plus lent dans le sol qu'à sa surface.

Climat/conditions climatiques

Les conditions climatiques représentatives (précipitations) des lieux diagnostiqués doivent être analysées afin de proposer les solutions adéquates et d'en préparer la mise en œuvre.

Forme et longueur de la pente : facteurs aggravants

Les champs dont la pente est forte et longue sont plus exposés au ruissellement/à l'érosion. La taille des grandes parcelles peut devoir être divisée par des digues ou des zones tampons intra-parcellaires afin de réduire le risque d'accumulation d'eau (écoulement concentré) favorisant l'érosion. Des solutions pour accroître l'infiltration de l'eau dans le sol sont nécessaires pour réduire le ruissellement. Les solutions proposées doivent chercher à maintenir les eaux de ruissellement dans la parcelle (réduction du ruissellement à la source).

Couverture du sol

Le risque de ruissellement/d'érosion est plus faible lorsque le sol est couvert par de la végétation (pâturages, prairies). À un stade de développement précoce, les grandes cultures laissent le sol très exposé à la pluie. Les gouttes de pluie frappent le sol de plein fouet et provoquent donc un risque plus élevé de ruissellement et d'érosion. Deux facteurs principaux de la pluie doivent être pris en compte en fonction de la texture du sol :

- a. Les gouttes de pluie ont pour effet de compacter la surface du sol, surtout lorsque celui-ci est riche en limon, entraînant la formation d'une couche de terre moins perméable (battance). Ceci constitue un risque important de ruissellement et d'érosion.
- b. L'énergie des gouttes d'eau détruit les agrégats du sol et favorise le transfert hydrique des plus petites particules.

La couverture du sol peut atténuer l'effet des gouttes d'eau sur le sol, en particulier lorsque le feuillage des cultures ne peut couvrir totalement le sol. Des techniques de couverture de la surface du sol laissant, par exemple, des résidus d'une culture intermédiaire sur le sol ont démontré des effets défavorables au ruissellement. Elles protègent la surface du sol de l'impact direct des gouttes de pluie et ralentissent l'écoulement de l'eau, augmentant la capacité d'infiltration du sol. Une technique connue de longue date pour les vignobles escarpés, où la couverture permanente du sol ne peut être tolérée pour éviter toute compétition avec la vigne, consiste à couvrir le sol entre les rangs de vigne de paille ou d'autres matériaux organiques.

MÉTHODE DE DIAGNOSTIC/D'AUDIT

Un diagnostic approfondi est indispensable pour proposer des solutions spécifiques et adaptés. L'objectif est de comprendre le parcours de l'eau dans les parcelles agricoles et le bassin versant afin de déterminer le niveau des risques de ruissellement/d'érosion.

(Note : Cette méthode de diagnostic et d'audit est basée sur les travaux effectués en France par ARVALIS - Institut du végétal et par l'IRSTEA, et elle sera adaptée aux conditions locales par les partenaires du projet TOPPS prowadis. Des adaptations spécifiques seront abordées dans les documents opérationnels établis à l'échelle locale à l'intention des conseillers agricoles.)

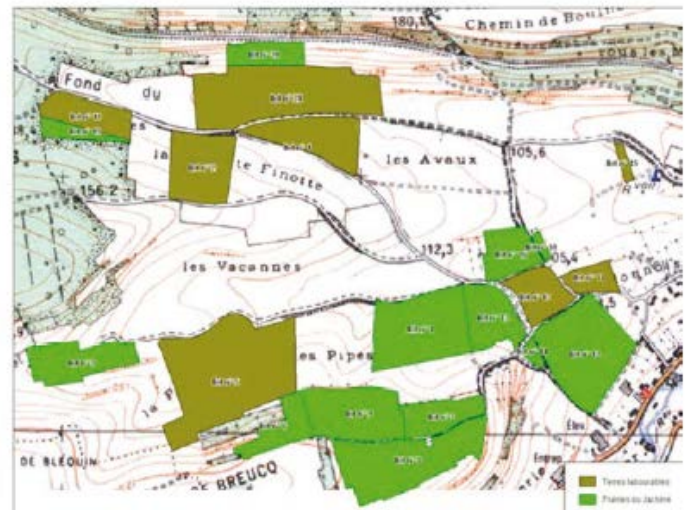


Diagnostic du bassin versant

Le diagnostic débute au niveau du bassin versant par la collecte de toutes les données disponibles (plans cadastraux, cartes géologiques, cartes pédologiques, cartes topographiques, cartes du réseau hydrographique, informations sur le climat et sur les usages et les pratiques agricoles). Plus les données disponibles seront nombreuses, plus les travaux de validation du diagnostic à effectuer dans les champs seront limités. Si certaines données font défaut, les informations devront être recueillies lors du diagnostic terrain.

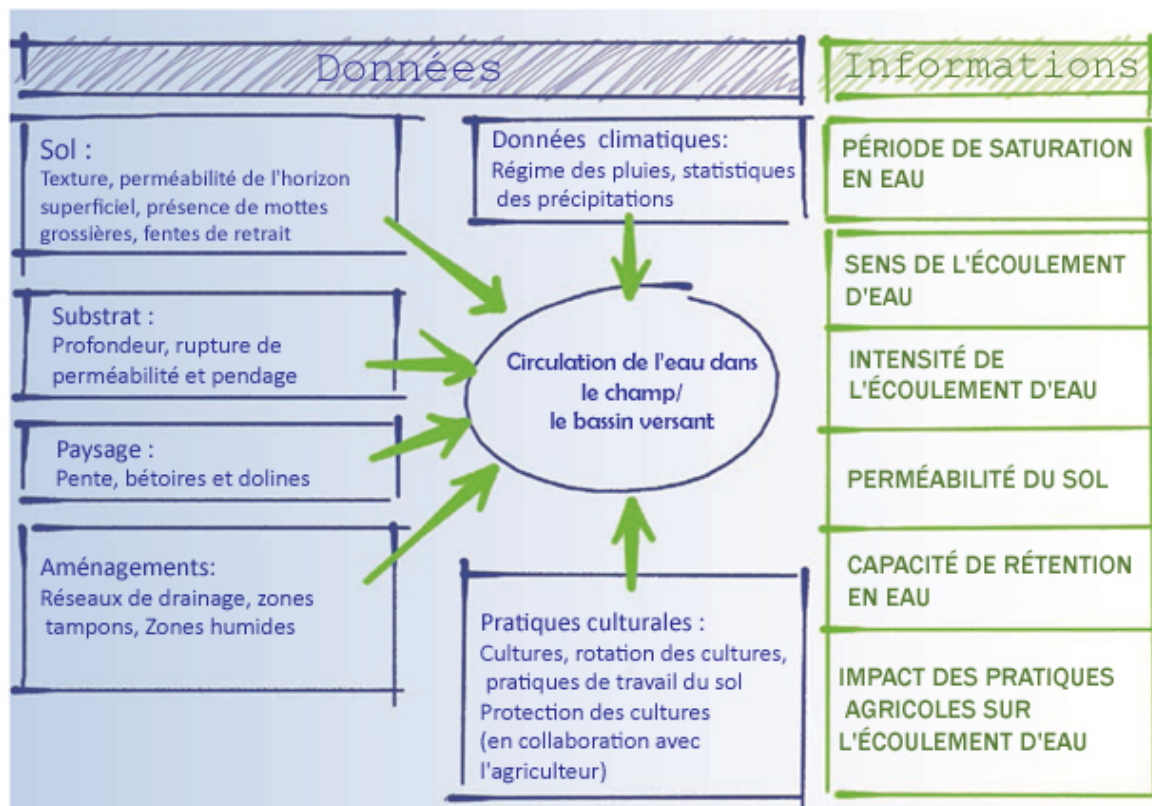
Exemple de carte d'un bassin versant : France

- Plan et dimension des parcelles
- Réseau hydrographique
- Usage agricole (vert : prairie permanente)
- Topographie



Diagnostic parcellaire

Le diagnostic au champ est nécessaire pour vérifier les données disponibles, pour les compléter et pour notamment identifier la perméabilité du sol en vue de proposer de bonnes pratiques agricoles. Une visite du champ est indispensable, car le paysage et les propriétés du sol peuvent connaître des variations sur de courtes distances que les informations cartographiées ne font souvent pas apparaître. Le graphique 3 offre une description sommaire des principales étapes du diagnostic au champ.



Graphique 3 - Données de terrain nécessaires pour disposer des informations nécessaires pour diagnostiquer le niveau de risque ruissellement
(Source : ARVALS - Institut du végétal)

Logigrammes / arbre de décision

Des logigrammes et des arbres décisionnels ont été mis au point pour aider à la réalisation du diagnostic et faciliter une bonne évaluation des risques. Ces outils devraient aider à déterminer le niveau des risques de ruissellement dans une parcelle agricole. Deux grands logigrammes ont ainsi été établis.

Un logigramme sur l'écoulement concentré a par ailleurs été établi, en plus de ceux relatifs au ruissellement par refus d'infiltration et par saturation en eau du sol (graphiques 4 et 5). Si des traces d'écoulement concentré peuvent être observées sur la parcelle, il est indispensable de mettre en œuvre des solutions, car le risque de ruissellement est alors élevé. Les logigrammes visent à faciliter le travail de diagnostic sur le terrain.

L'utilisation du logigramme se déroule en plusieurs étapes successives pour déterminer le niveau des risques de ruissellement : très faible (vert), faible (gris), moyen (orange) ou élevé (rouge).

Des scénarios sont présentés pour les différentes situations correspondant aux niveaux de risque établis. Dans ce document, les scénarios sont décrits dans leurs grandes lignes et ils peuvent donc devoir être adaptés aux situations locales (pratiques agricoles, conditions climatiques et autres facteurs). En fonction de la situation locale, le conseiller agricole proposera des solutions pour limiter les risques tirées de la BOÎTE À OUTILS DES SOLUTIONS PRATIQUES (voir le chapitre III), de manière à atteindre les différents objectifs de réduction des transferts de PPP.

Il est recommandé de toujours utiliser conjointement les deux tableaux de bord sur le terrain, étant donné que les deux types de ruissellement peuvent en principe être observés conjointement. Le ruissellement par refus d'infiltration se produit généralement lorsque des pluies intenses ont lieu au printemps et au début de l'été alors que le couvert végétal est souvent encore clairsemé. Le ruissellement par saturation du sol est principalement observé après de longues périodes de pluie et lorsque l'évapotranspiration est limitée, généralement durant l'hiver. Dans ce cas, les sols finissent par être saturés en eau, ce qui en Europe se produit principalement depuis la fin de l'automne jusqu'au début du printemps.

GRAPHIQUE 4 : DIAGNOSTIC DU RUISSELLEMENT ET DE L'ÉROSION PAR REFUS D'INFILTRATION (D1)

Le logigramme se divise en deux branches d'un arbre de décision selon la situation décrite dans la première colonne. Pour le cas particulier du ruissellement sur un sol gelé, voir les commentaires figurant dans la description du scénario. (Référence : Les logigrammes sont basés sur les arbres de décision d'ARVALIS – Institut du végétal, les conseils de Syngenta et les contributions des partenaires des projets TOPPS).

Proximité des eaux de surface	Perméabilité de la surface du sol		Niveau de pente		Catégorie et scénario de risque
Parcelle adjacente à un cours d'eau	FAIBLE		FORT (>5 %)		I 17
			MOYEN (2-5 %)		I 16
			FAIBLE (<2 %)		I 15
	MOYENNE		FORT (>5 %)		I 14
			MOYEN (2-5 %)		I 13
			FAIBLE (<2 %)		I 12
	ÉLEVÉE		FORT (>5 %)		I 13
			MOYEN (2-5 %)		I 12
			FAIBLE (<2 %)		I 11
Parcelle éloignée des cours d'eau	Transfert du ruissellement vers l'aval de la parcelle	OUI	Le ruissellement rejoint-t-il un cours d'eau	OUI	T 3
			?	NON	T 2
		NON		T 1	

RISQUE ÉLEVÉ

RISQUE MOYEN

RISQUE FAIBLE

RISQUE TRÈS FAIBLE

Exemple : Pour l'utilisation du logigramme D1 - Refus d'infiltration

Le logigramme présente une première dichotomie dans la première colonne :

- a) Parcelle adjacente à un cours d'eau
- b) Parcelle éloignée des cours d'eau

Chaque colonne correspond à une étape du diagnostic qui permet de définir un niveau de risque et au type de scénario à suivre pour avoir accès aux solutions à mettre en œuvre (en allant de gauche à droite). La dernière colonne à droite indique un niveau de risque (couleur) et un numéro de scénario. T signifie transfert et I signifie refus d'infiltration. Les scénarios ainsi numérotés sont décrits séparément.

SCÉNARIOS DE RUISSELLEMENT PAR LIMITATION (OU REFUS) D'INFILTRATION (D1)

Parcelle adjacente à un cours d'eau

I 7

Réduire au maximum les risques importants de ruissellement et d'érosion en mettant en œuvre toutes les mesures intra-parcellaires adaptées, les zones tampons en bordure de parcelle et les solutions paysagères (zones tampons, structures de rétention) adaptées. Combiner toutes les solutions proposées pour obtenir une efficacité maximale. Sol gelé : si la perméabilité de la surface du sol est faible ou moyenne, l'augmentation du risque de ruissellement est plus faible. Des techniques destinées à accroître la capacité d'infiltration de la surface du sol sont à mettre en œuvre.

I 4 / I 6

Réduire au maximum les risques de ruissellement et d'érosion en mettant en œuvre toutes les solutions intra-parcellaires, les zones tampons en bordure de parcelle et les mesures paysagères (zones tampons, structures de rétention) adaptées. Combiner les solutions proposées pour obtenir une efficacité maximale.

I 3 / I 5

Réduire le ruissellement à la source en mettant en œuvre toutes les solutions intra-parcellaires adaptées. Recourir à des zones tampons (intra-parcellaires ou en bordure de parcelle) ou à des mesures paysagères adaptées (zones tampons dans les thalwegs, structures de rétention), en particulier dans les parcelles en cultures de printemps, ou lorsque les solutions intra-parcellaires ne sont pas possibles.

Sol gelé : Dans chacune de ces trois situations (I1, I2, I3) le risque doit être jugé comme élevé. Le sol gelé doit être considéré comme un obstacle majeur à l'infiltration, notamment lors de la fonte des neiges. Réduisez la longueur de la pente (culture en bandes, zones tampons/haies intra-parcellaires). Suivre les recommandations de base pour la prévention du ruissellement et la mise en œuvre des zones tampons

I 2

Réduire le ruissellement à la source à l'aide de mesures intra-parcellaires adaptées. Si ce n'est pas possible, envisager de créer des zones tampons (en bordure de parcelle ou intra-parcellaires).

I 1 / T 1*

Maintenir les bonnes pratiques agricoles sur la parcelle susceptibles de réduire au maximum le ruissellement et l'érosion

* Description de D1 + D2

Parcelle éloignée des cours d'eau

T 2*

Maintenir les bonnes pratiques agricoles sur la parcelle afin de réduire au maximum le ruissellement et l'érosion. Si le ruissellement est important, le gérer à la source (au sein de la parcelle) pour éviter le transfert de ruissellement vers la parcelle située en aval. Si le transfert du ruissellement vers la parcelle située en aval n'est pas acceptable, agir comme si la parcelle était adjacente au cours d'eau dans le logigramme.

T 3*

Réduire le ruissellement à la source à l'aide de mesures intra-parcellaires et/ou de zones tampons en bordure de parcelle **OU** favoriser l'infiltration de l'eau dans la parcelle située en aval en mettant en œuvre des zones tampons, des structures de rétention/infiltration), en concertation avec les agriculteurs du bassin versant. Si le ruissellement est important, le réduire à la source pour en éviter le transfert vers la parcelle située en aval. Sol gelé : créer des zones tampons (haies, terrains boisés) et/ou des zones humides en travers de la pente ou le long des cours d'eau.

* Description de D1 + D2

GRAPHIQUE 5 : LOGIGRAMME POUR L'ÉVALUATION DU RISQUE DE RUISSELLEMENT PAR SATURATION

Proximité des eaux de surface	Equipement parcellaire	Position topographique	Perméabilité du sous-sol			CRE*	Catégorie et scénario de risque		
Parcelle adjacente à un cours d'eau	Pas de réseau de drainage	Bas de pente (concave)/Fond de vallée (voir scénario A)	Semelle de labour + rupture de perméabilité			TOUTES CRE	S 4		
			Semelle de labour OU rupture de perméabilité			<120 MM	S 4		
						>120 MM	S3		
			Absence de semelle de labour et rupture de perméabilité			<120 MM	S3		
		>120 MM				S 2			
		En amont/ Pente continue	Semelle de labour + rupture de perméabilité			TOUTES CRE	S 4		
			Semelle de labour OU rupture de perméabilité			<120 MM	S3		
						>120 MM	S 2		
			Absence de semelle de labour et rupture de perméabilité			<120 MM	S 2		
		>120 MM				S1			
	Présence d'un réseau de drainage	Toutes positions			Semelle de labour + rupture de perméabilité			TOUTES CRE	SD3
					Semelle de labour OU rupture de perméabilité			<120 MM	SD3
								>120 MM	SD2
					Absence de semelle de labour et de rupture de perméabilité			<120 MM	SD2
	>120 MM	SD1							
Parcelle éloignée des cours d'eau	Pas de drainage artificiel	Transfert du ruissellement vers une parcelle aval ?	OUI	Le ruissellement atteint-il le cours d'eau ?	OUI	T 3			
					NON	T 2			
			NON			T 1			

*CRE = Capacité de rétention en eau

Exemple : Pour l'utilisation du logigramme D2 - Ruissellement par saturation

Le logigramme présente une première dichotomie dans la première colonne :

- Parcelle adjacente à un cours d’eau
- Parcelle éloignée des cours d’eau

Chaque colonne correspond à une étape du diagnostic qui permet de définir un niveau de risque et au type de scénario à suivre pour avoir accès aux solutions à mettre en œuvre (en allant de gauche à droite). La dernière colonne à droite indique un niveau de risque (couleur) et un numéro de scénario. T signifie transfert et S excès de saturation. Les scénarios ainsi numérotés sont décrits séparément.

SCÉNARIOS DE RUISSELLEMENT PAR SATURATION (D2)

S 1 / SD 1*

Maintenir les bonnes pratiques agricoles sur la parcelle afin de réduire au maximum le ruissellement et l'érosion.

S 2 / SD 2*

Réduire le ruissellement à la source en mettant en œuvre des mesures intra-parcellaires adaptées. Si ce n'est pas possible, envisagez de créer des zones tampons (en bordure de parcelle ou intra-parcellaires).

S 3 / SD 3*

Réduire le ruissellement à la source en mettant en œuvre toutes les mesures intra-parcellaires adaptées. Mettre par ailleurs en œuvre des zones tampons (intra-parcellaires ou en bordure de parcelle) ou des mesures paysagères adéquates (zones tampons dans le thalweg, structures de rétention), lorsque des mesures intra-parcellaires ne seraient pas suffisantes.

S 4

Réduire au minimum les risques de ruissellement et d'érosion en mettant en œuvre toutes les mesures intra-parcellaires, les zones tampons en bordure de parcelle et les mesures paysagères (zones tampons, structures de rétention) qui sont possibles. Combiner les solutions proposées pour obtenir une efficacité maximale.

* Scénarios SD : s'il existe un risque de transfert par réseau de drainage, évitez d'appliquer des PPP mobiles durant la période de fonctionnement du drainage (de la fin de l'automne au début du printemps) et sur les sols avec des fentes de retrait (printemps / été). Si possible, retenir les eaux de drainage au moyen de structures de rétention (zones humides, bassins).

GRAPHIQUE 6 : DIAGNOSTIC DE RUISSELLEMENT CONCENTRÉ ET D'ÉROSION (D3)

		Catégorie et scénario de risque		
Le ruissellement n'est pas produit dans la parcelle diagnostiquée	Le ruissellement provient d'une zone située en amont dans le bassin versant	C1		
Le ruissellement est produit dans la parcelle diagnostiquée	Le ruissellement se concentre dans les passages des roues	C 2		
	Le ruissellement se concentre dans un angle du champ	C 3		
	Le ruissellement se concentre dans une zone d'accès au champ	C 4		
	Le ruissellement est modérément concentré en rigoles	Absence de sol hydromorphe	C 5	
		Sol hydromorphe	C 6	
	Le ruissellement est modérément concentré en talweg	Absence de sol hydromorphe	C 7	
		Sol hydromorphe	C 8	
	Ruissellement fortement concentré	Pas de ravine dans le talweg		C 9
		Ravines dans le talweg	Forte infiltration du sol dans la zone tampon	C10
			Faible infiltration du sol dans la zone tampon	C11

Le logigramme pour le ruissellement par écoulement concentré ne donne pas différents niveaux de risque. Si un écoulement concentré peut être diagnostiqué dans la parcelle, le risque de ruissellement est élevé et des solutions adaptées doivent être mises en œuvre.

L'évaluation à l'aide du logigramme commence par déterminer si le ruissellement observé trouve ou non son origine dans la parcelle sur lequel porte l'audit, avant de

procéder à sa classification en fonction de la forme de l'écoulement concentré observé.

Les observations relatives aux solutions existantes et à leur efficacité amènent à formuler des propositions pour ce type d'écoulement.

Le ruissellement concentré est souvent associé à l'érosion, qui constitue l'un des problèmes cruciaux de l'agriculture au niveau mondial.

RUISELLEMENT PAR ÉCOULEMENT CONCENTRÉ (D 3) : SOLUTIONS POUR LIMITER LES RISQUES

La présence d'écoulements concentrés dans le champ révèle un risque élevé de transfert de pesticides. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre les solutions appropriées. On peut notamment citer la réduction du travail du sol, le travail du sol suivant les courbes de niveau, la culture en bandes, la création de zones tampons dans les thalwegs ou sous forme de haies et de terrains boisés, la construction de fascines, ainsi que l'aménagement de fossés végétalisés et de zones humides artificielles/de bassins.

Il est aussi nécessaire d'adapter les solutions selon le type de ruissellement observé.

C 1

Tenter de prévenir et réduire le ruissellement concentré à la source en amont dans le bassin versant. Réaliser un audit du risque de ruissellement dans la parcelle où le ruissellement trouve son origine. Mettre en place des zones tampons et des structures de rétention pour intercepter tout éventuel ruissellement concentré en aval.

C 2

Aménager les passages de roue perpendiculairement au sens de la pente. Pratiquer le double semis dans les tournières. Agrandir les tournières.

C 3

En sol non hydromorphe : créer des zones tampons végétalisées à l'angle du champ. **En sol hydromorphe** : mettre en place des digues en bordure de parcelle et construire des bassins de rétention.

C 4

Réduire le compactage du sol et mettre en place des zones tampons dans les zones d'accès au champ pour améliorer la capacité d'infiltration du sol.

C 5

Mettre en place une zone tampon en bordure de parcelle ou, implanter des structures de rétention (fascines, haies/bocages), réduire la taille de la parcelle à l'aide d'une zone tampon intra-parcellaire..

C 6

Aménager une zone tampon en bordure de parcelle (prairie humide) et/ou une zone humide de grande dimension. Réduire la taille de la parcelle au moyen d'une zone tampon intra-parcellaire.

C 7

Pratiquer le double semis, créer ou agrandir une zone tampon végétalisée dans le thalweg (en bas du champ), ou un fossé végétalisé. Construire des structures de rétention (bassin de rétention et zone humide). Réduire la longueur de la pente en amont, à l'endroit où le ruissellement concentré trouve sa source, en pratiquant une culture en bandes et en créant une zone tampon intra-parcellaire.

C 8

Augmenter la capacité d'infiltration du sol grâce à la réduction du travail du sol (voire le non labour) et ralentir l'écoulement de l'eau. Mettre en place dans le talweg des zones tampons, des structures de rétention et des prairies humides.

C 9

Comblir les rigoles, créer ou agrandissez des zones tampons végétalisées déjà installées, pratiquer le double semis, construire des structures de rétention telles que des fascines et des zones tampons à base de haies. Réduire la longueur de la parcelle au moyen de zones tampons intra-parcellaires. Procéder à un diagnostic des champs en amont et y appliquer le cas échéant les mêmes solutions. Revoir les pratiques culturales et envisager une autre utilisation des parcelles à problèmes.

C 10

Comblir les ravines, créer ou agrandissez des zones tampons dans le thalweg, mettre en place des fossés végétalisés ou des bassins de rétention et d'infiltration. Réduire la longueur du champ au moyen de zones tampons intra-parcellaires. Procéder à un diagnostic des zones d'amont où pourront être mises en œuvre les solutions proposées.

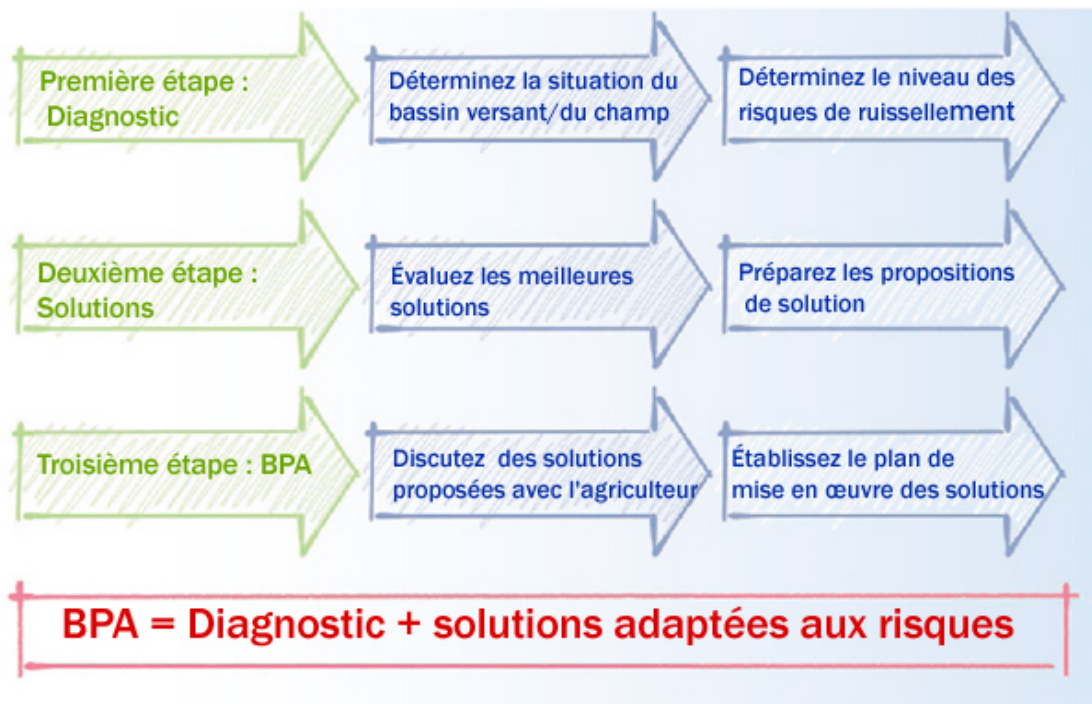
C 11

Comblir les ravines, créer ou agrandissez la zone tampon dans le thalweg (prairies humides), aménager une zone humide ou un bassin de rétention. Implanter des fascines pour disperser l'eau et ralentir l'écoulement de l'eau.

BONNES PRATIQUES AGRICOLES (BPA)

La réduction du ruissellement est complexe et il est difficile de généraliser les recommandations, car de nombreux facteurs déterminants doivent être pris en compte. Nous proposons donc une démarche faisant appel à une participation active du conseiller local en vue d'optimiser la batterie de mesures nécessaire à mettre en œuvre pour limiter le ruissellement.

Processus d'élaboration des BPA



Vue d'ensemble du plan de mise en œuvre des solutions

Si le diagnostic/l'audit est réalisé, le risque de ruissellement dans le bassin versant et dans les champs peut être cartographié. Les solutions sélectionnées doivent être adaptées au contexte agricole particulier du bassin versant (principales productions, types de pratiques). Les solutions proposées doivent être discutées avec les agriculteurs à l'échelle du bassin versant mais aussi à l'échelle de chaque parcelle. Les possibilités de financement des solutions exigeant des investissements spécifiques doivent être étudiées.

Les propositions de solutions peuvent être plus compréhensibles et plus faciles à adopter par les agriculteurs si elles indiquent sur des cartes quelle en seront la nature (bandes tampons, structures de rétention, mesures agronomiques déjà pratiquées, modes de circulation de l'eau dans le bassin versant et les parcelles). A la fin de la concertation, un plan concret établi d'un commun accord entre l'agriculteur et le conseiller devrait dresser la liste des mesures à mettre en œuvre (graphiques 7 et 8)



Exemple : Carte du bassin versant de Fontaine du Theil, en Bretagne, France. (Source : IRSTEA)



Exemples de solutions mises en œuvre

- Bande tampon rivulaire
- Zones enherbées et boisées
- Zones humides visant à retenir l'eau dans le bassin versant
- Bandes filtrantes intra-parcellaires pour prévenir le ruissellement à la source
- Brise-vents pour atténuer l'érosion éolienne

- Flèches bleues : sens d'écoulement de l'eau dans le bassin versant
- Bleu : cours d'eau/mares et étangs de petite dimension
- Vert : prairies permanentes existantes
- Parcellaire, topographie
- Rouge : zones tampons dont la mise en place est proposée

VUE D'ENSEMBLE DES SOLUTIONS ET EXEMPLE D'ÉLABORATION DE BONNES PRATIQUES AGRICOLES

Vue d'ensemble des solutions

Gestion du sol	• Réduire l'intensité du travail du sol • Aménager les passages de roue • Préparer un lit de semences grossier • Mettre en place des digues intra-parcellaires	• Décompacter la surface du sol • Décompacter le sol en profondeur • Procéder au travail du sol suivant les courbes de niveau • Augmenter le taux de matières organiques des sols
Pratiques culturales	• Changer la rotation des cultures • Pratiquer la culture en bandes • Agrandir les tournières	• Semer des cultures intermédiaires (couverture du sol) • Assurer la couverture du sol en inter-culture avec les résidus végétaux du précédent • Semer des couverts permanents en culture pérenne comme la vigne ou le houblon • Procéder au double semis
Zones tampons végétalisées	• Planter des zones tampons intra-parcellaires • Créer des zones tampons dans le thalweg • Planter des zones tampons rivulaires • Planter des zones tampons en bordure de parcelle	• Aménager les aires d'accès aux parcelles • Mettre en place des haies • Créer/entretenir des terrains boisés
Structures de rétention	• Installer des digues en bordure de parcelle • Établir des digues végétalisées	• Installer des zones humides artificielles/ des bassins de rétention • Installer des fascines
Utilisation adaptée des pesticides et des engrais	• Adapter la période d'application • Optimiser les périodes d'application	• Adapter le choix du produit et de sa dose
Irrigation optimisée	• Adapter la technique d'irrigation	• Optimiser les tours d'eau et les quantités d'eau apportées

Exemple de méthode d'élaboration de bonnes pratiques agricoles

L'efficacité des mesures ne peut être estimée de manière globale et elle dépend dans une large mesure de la situation spécifique de chaque bassin versant et de chacune des parcelles. Par principe, l'eau doit être retenue à la source autant que faire se peut dans la parcelle, et ce postulat détermine le choix et la hiérarchie des solutions.

Une stratégie d'amélioration cohérente doit proposer les solutions en fonction des risques identifiés durant le diagnostic. Dans les situations caractérisées par un risque faible, le recours à un petit nombre de solution peut suffire, alors que si le risque est élevé toutes les solutions disponibles devront probablement être mises en œuvre. Les solutions proposées agissent en synergie quand elles sont appliquées sur l'ensemble du bassin versant (couverture du sol et pratique de travail du sol, par exemple). L'efficacité de ces synergies n'est pas facile à estimer mais les experts locaux peuvent néanmoins évaluer l'effet de possibles interactions positives des solutions proposées.

Les BPA doivent être élaborées en concertation avec les agriculteurs, en tenant compte du diagnostic des parcelles et des contraintes locales. Les graphiques ci-après (7 et 8) présentent un exemple de batteries de mesure pouvant être sélectionnées pour être proposées comme bonnes pratiques agricoles adaptées au risque. À la suite de l'élaboration des BPA, les solutions envisagées et adoptées d'un commun accord doivent être répertoriées dans un compte rendu afin de permettre un suivi de leur mise en application.

			Risque élevé
		Risque moyen	
	Risque faible		
Risque très faible			
Mesures générales			

Graphique 7 : Comment élaborer des BPA adaptées aux risques en sélectionnant des solutions appropriées.

Graphique 8 : Exemple de définition de BPA liées au risque de ruissellement et à l'efficacité des solutions

Catégories de mesures	Mesures générales	Mesures d'atténuation des risques très faibles
Gestion du sol	•Réduire le compactage du sol en surface : ecoûter •Réduire le compactage profond : sous-soler. •Augmenter le taux de MO du sol	•Préparer un lit de semences grossier
Pratiques culturales	•Mettre en place des rotations des cultures longues (cultures d'hiver/cultures de printemps)	•Planter des cultures intermédiaires (couverture du sol) •Augmenter le taux de MO du sol •Assurer la couverture du sol en inter-culture avec les résidus végétaux du précédent
Zones tampons végétalisées		•Aménager les zones d'accès aux parcelles •Utiliser des zones tampons rivulaires
Structures de rétention		
Utilisation adaptée des PPS		
Irrigation optimisée	•Optimiser les tours d'eau et les quantités d'eau apportées	

Les risques de transfert faibles ne nécessitent la mise place de quelques solutions et les risques élevés la mise en place d'un plus grand nombre de proposition.

Catégories de mesures	Solutions proposées pour un risque faible	Solutions proposées pour un risque moyen	Solutions proposées pour un risque élevé
Gestion sol	- Gérer les traces de roues - Travailler le sol selon les courbes de niveau	- Utiliser des digues intra-parcellaires - Réduire l'intensité du travail du sol	Réduire le travail du sol (non labour),
Pratiques culturales	Semer des cultures intermédiaires efficaces	- Agrandir les tournières - Procéder au double semis dans les zones les plus exposées au risque	Pratiquer la culture en bandes
Zones tampons végétalisées du		- Utiliser des zones tampons en bordure de parcelle - Réduire la longueur de la parcelle au moyen d'une zone tampon intra-parcellaire	- Créer une zone tampon dans le talweg - Établir des zones tampons sous forme de haies/terrains boisés
Structures de rétention		Implanter des digues en bordure de parcelle	- Construire des fascines - Mettre en place un fossé végétalisé de rétention/infiltration - Aménager des zones humides artificielles/des bassins de rétention
Utilisation adaptée des PPS		Adapter le produit et sa dose d'application	
Irrigation optimisée			

BOÎTE À OUTILS DES SOLUTIONS

Dans ce document, les solutions sont présentées par catégories

Gestion du sol
Pratiques culturales
Bandes tampons végétalisées
Structures de rétention et de dispersion
Utilisation optimale des PPP
Irrigation

Avant de proposer/de mettre en œuvre des solutions, vérifiez toujours qu'elles sont compatibles avec la protection des cultures et le système de travail du sol de l'agriculteur. Les modifications du travail du sol ou des pratiques culturales doivent prendre en compte de nombreux facteurs : sol, climat, équipements, niveau technique de l'agriculteur, mauvaises herbes, parasites, rendement des cultures, qualité des récoltes et aspects économiques.

Pour faciliter la sélection des solutions à proposer, leur efficacité de a été évaluée en fonction du type de ruissellement et de leur échelle d'application



Ruissellement par refus d'infiltration



Ruissellement par saturation



Ruissellement concentré

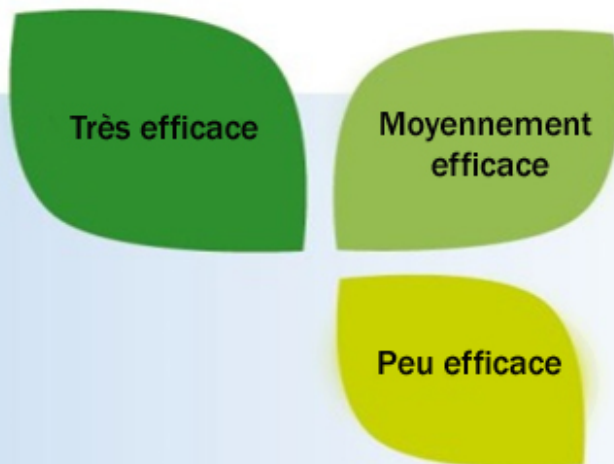


Mise en œuvre

À l'échelle de la parcelle (**P**)

À l'échelle du bassin versant (**BV**)

P/BV



Son efficacité a été déterminée en prenant en compte l'état de l'art et les « connaissances/avis des experts ».

L'efficacité est indiquée selon un code couleur



P/BV

Gestion du sol

La gestion du travail du sol influe sur sa capacité d'infiltration de l'eau. Les éléments clés pour accroître la capacité d'infiltration sont :

- La suppression du compactage du sol (en surface et dans le profil) ;
- L'augmentation de la porosité du sol (pores de rétention de l'eau, taille et agencement des agrégats.

L'objectif est de retenir l'eau dans la parcelle et de prévenir le ruissellement à la source.

La réduction du travail du sol, la rotation des cultures et les couverts permanents sont les trois pratiques de base de l'agriculture de conservation. Quand le non travail du sol n'est difficile ou impossible à mettre en œuvre, toutes les autres solutions destinées à diminuer le compactage du sol peuvent être indispensables. La circulation du matériel agricole lourd doit être réduite au strict minimum pour éviter autant que faire se peut de compacter le sol. Un diagnostic de la sensibilité du sol à la compaction dans le bassin versant aidera à adapter les mesures de gestion du sol dans les parcelles sensibles à la compaction.

1 Réduction de l'intensité du travail du sol



Ce qu'il faut faire

La réduction du travail du sol améliore la porosité structurale dans la couche arable et accroît donc l'infiltration de l'eau. La réduction du travail du sol augmente également la quantité de résidus de culture restant à la surface du sol, résidus qui ralentissent l'écoulement de l'eau en surface et diminuent l'effet de désagrégation des mottes en surface par l'effet « splash » des gouttes de pluie qui provoque de la battance en sol de limon. Les techniques de travail du sol simplifiées stimulent par ailleurs l'activité biologique dans la couche arable. L'augmentation du nombre de vers de terre (augmentation de la proportion des macropores du sol) et l'activité microbienne (augmentation de la stabilité des agrégats stables), en particulier, exercent une influence positive sur l'infiltration d'eau. Le chaulage du sol a quant à lui un impact positif sur la structure du sol et son pH. Les façons culturales pour l'implantation des cultures deviennent plus faciles.

- Réduction du nombre de passages,
- Réduction de la vitesse du matériel de travail du sol.
- Remplacement du matériel de travail du sol avec prise de force par du matériel sans prise de force.

Comment faire

La réduction du travail du sol peut être envisagée sous trois angles différents :

- Modification des techniques culturales: abandon du labour profond au profit d'un labour superficiel ou nul
- Réduction de l'énergie mécanique des outils de travail du sol
- Réduction du nombre de passages,
- Réduction de la vitesse du matériel de travail du sol.
- Remplacement du matériel de travail du sol avec prise de force par du matériel sans prise de force.

Contraintes

Sur les sols argileux, un labour léger peut être nécessaire pour réduire le nombre de fissures du sol se formant pendant l'été et éviter le compactage du sol. Dans le cas des sols argileux gonflants, l'absence de labour peut réduire encore la capacité d'infiltration. Dans les parcelles équipées d'un réseau de drainage, un minimum de travail du sol est nécessaire pour limiter l'écoulement préférentiel de l'eau au travers des macropores et fentes de retrait (formés par la dessiccation du sol en été). Lors de la mise en œuvre des techniques culturales sans labour (TCSL), les facteurs techniques et économiques (temps de travail et coûts) doivent être pris en compte. Le travail du sol modifiant de nombreux paramètres, tout changement apporté aux techniques culturales doit être accompagné d'ajustements visant à optimiser le système de culture.

Efficacité

De nombreuses études montrent que les modifications du travail du sol n'exercent un impact significatif sur la circulation et le stockage de l'eau dans le sol qu'après un certain temps. Environ 3 à 5 ans de travail du sol réduit ou nul peuvent être nécessaires avant que tous les effets positifs sur l'infiltration de l'eau se fassent sentir. L'efficacité des TCSL pour atténuer le ruissellement/l'érosion est élevée si les risques sont principalement dus à une dégradation de la stabilité structurale des sols (battance). L'optimisation de la gestion du travail du sol peut réduire le ruissellement d'environ 50 % et l'érosion d'environ 90 %.

Un travail du sol réduit tend à diminuer le taux de minéralisation de l'azote organique, mais l'augmentation du taux de dénitrification est plus significative. Le transfert d'azote pourrait par conséquent être légèrement réduit. La moindre perturbation du sol en TCSL accroît la biodiversité (microfaune de sol) et diminue la puissance de traction nécessaire par unité de surface (économie d'énergie).



Sol argileux avec fentes de retrait

2 Préparation d'un lit de semences grossier



Ce qu'il faut faire

Des études ont montré que les lits de semence grossiers avec des mottes en surface peuvent ralentir l'écoulement de l'eau de ruissellement et accroître l'infiltration. Les mottes du sol agissent comme de petits obstacles et favorisent une plus grande infiltration de l'eau dans le sol. Les mottes grossières résistent plus longtemps à l'effet « splash » des gouttes de pluie, qui peuvent déliter les agrégats limoneux fins et réduire la capacité d'infiltration du sol de surface (battance).

Comment faire

Réduire au maximum le travail du sol lors de la préparation du lit de semences. Les agrégats grossiers sont ainsi préservés. Ne pas tasser pas le sol après avoir semé.

Lors de la préparation du lit de semence, préserver autant que possible les mottes, en particulier si des outils de travail du sol à prise de force sont utilisés.

Si des outils de travail du sol à prise de force sont employés, la vitesse de dents des outils doit être aussi basse que possible, la vitesse de déplacement du tracteur devant par contre être maximisée.

Sur un sol limoneux, l'idéal est d'utiliser un cultivateur pour éviter la formation d'un lit de semences fin.

Efficacité

La rugosité du sol de surface exerce une diminution significative du ruissellement en ralentissant l'écoulement de l'eau et en favorisant l'infiltration.



Un sol motteux ralentit la formation du ruissellement

3. Prévention de la battance



Ce qu'il faut faire

Les sols riches en limon (teneur > 30 %) sont sujets à la battance et à la formation d'une croûte de battance après les chutes de pluie. La croûte réduit la capacité d'infiltration du sol et constitue donc une situation à haut risque de ruissellement et d'érosion.



Comment faire

En général, le maintien d'une teneur élevée en matière organique dans la couche arable favorise stabilité structurale et réduit la tendance des sols à former une croûte de battance. Une grande quantité de résidus de récolte sur le sol réduit l'érosion des agrégats par l'effet splash des gouttes de pluie et donc la formation de croûtes de battance. La réduction du travail du sol ou les TCSL peuvent être mises en œuvre pour favoriser ces deux mécanismes de protection du sol. Si la formation de croûtes de battance ne peut être évitée, il faut les détruire mécaniquement avec des outils à dents.

Pour cela, des houes ou herbes peuvent être utilisées. Leur mise en œuvre nécessite :

- un sol bien ressuyé et pas trop humide en surface ;
- l'utilisation de pneus à basse pression ou la réduction de la pression des pneus ;
- une intervention à stade précoce pour les céréales d'hiver ;
- sur le maïs ou la betterave sucrière, ne pas dépasser le stade 8 à 10 feuilles maximum. ;
- un binage dès qu'une croûte de battance se forme sur le sol (brisez la croûte)

Le déchaumage doit être réalisé aussi rapidement que possible après la récolte ; si l'inter-culture est longue, semer des cultures intermédiaires.

Efficacité

La prévention du compactage de la surface du sol est une mesure efficace pour réduire le ruissellement et l'érosion grâce à une meilleure infiltration de l'eau. Des études réalisées en France (Épreville-en-Roumois, 27, de 2000 à 2001, chambre d'agriculture de l'Eure), ont notamment montré que le ruissellement était 13 fois moins élevé après un déchaumage.

Décompactage d'une parcelle de maïs à l'aide d'une houe rotative

4.Prévention du compactage dans le profil



Le compactage dans le profil du sol (semelle de labour, par exemple) peut créer une rupture de perméabilité qui réduit l'infiltration de l'eau et favorise les écoulements hypodermiques et le ruissellement par saturation. Le compactage du sol est plus facile à observer en hiver, lorsqu'il produit des zones d'eau stagnante dans les champs. Certaines plantes peuvent en outre signaler la présence de zones compactées (*Plantago* spp., *Polygonum aviculare*, *Equisetum* spp, p. ex.). Un diagnostic approfondi est nécessaire pour sélectionner les solutions les plus efficaces.

Comment faire

Éviter de labourer ou de récolter lorsque le sol est trop humide, en particulier après la récolte tardive de cultures telles que la betterave sucrière ou le maïs.

Utiliser des pneus à basse pression ou jumelés pour prévenir au maximum le compactage du sol. Le compactage du sous-sol peut être supprimé mécaniquement (décompactage) ou en semant des plantes à racines pivotantes : colza, moutardes en inter-culture (voir les recommandations locales).

Efficacité

L'efficacité dépend de la manière dont la capacité d'infiltration du sol pourrait être améliorée.



Récolter lorsque le sol est trop humide peut entraîner un compactage du

5. GESTION/ORIENTATION DES PASSAGES DE ROUE



Ce qu'il faut faire

Les passages de roue sont des zones de la parcelle non cultivées empruntées par le tracteur pour pulvériser et fertiliser la culture. Ces passages dans la parcelle sont adaptés à la taille du matériel agricole de manière à permettre une application précise de la fertilisation et des PPP. Empruntées régulièrement en cours de campagne, elles peuvent souvent être compactées. Si elles sont orientées dans le sens de la pente, elles font office passages préférentiels pour le ruissellement de l'eau et l'érosion du sol.



L'accumulation fréquente d'eau dans les passages de roue (en hiver) est symptomatique d'un problème de compactage. Le Controlled Traffic Farming ou la localisation du trafic dans la parcelle permet de localiser et fixer les passages de roue pour plusieurs campagnes. Cette technique augmente la précision des travaux agricoles dans la parcelle, mais si le champ est situé dans une zone à risque de ruissellement, ces traces de roue compactées peuvent se transformer en rigoles et augmenter le ruissellement et l'érosion si elles ne sont pas positionnées correctement.

Comment faire

- Éviter de préparer le lit de semences lorsque le sol est trop humide. Éviter de labourer ou récolter lorsque le sol est trop humide, en particulier après la récolte tardive de cultures telles que la betterave sucrière ou le maïs.
- Réduire la pression des pneus ou équiper le matériel agricole de pneus à basse pression ou jumelés pour les tracteurs.
- Les traces de roue doivent si possible être perpendiculaires à la pente (prévention de l'effet rigole). Ceci peut s'avérer difficile en cas de plusieurs pentes orientées différemment dans la parcelle ou lorsque le niveau de pente est trop important (risque d'accident).
- Les traces de roue peuvent être décompactées avec des efface-traces sur le semoir. Il est également possible de semer une plante de couverture (culture pérenne comme la vigne ou le houblon) ou d'installer des diguettes pour ralentir l'écoulement de l'eau dans l'inter butte des cultures de pommes de terre (barbutte ou Diker). Plus l'état de surface des passages de roue sera grossière (présence de mottes) et plus la circulation sera ralentie et l'infiltration améliorée. Modifier si possible l'orientation des traces de roue après chaque campagne (réduction des principales zones de compactage).

Efficacité

Dans les parcelles en pente situées près des eaux de surface, une meilleure gestion des traces de roue est une solution efficace pour réduire le ruissellement/l'érosion

6. Réalisation de diguettes intra parcellaires



Ce qu'il faut faire

Une diguette est un petit barrage qui retient l'eau et ralentit l'écoulement de l'eau afin d'augmenter son infiltration. C'est un dispositif particulièrement adapté à la culture de la pomme de terre.

Comment faire

Les diguettes doivent être réalisées de manière à retenir les eaux de ruissellement et leur permettre un temps d'infiltration plus long. Elles sont principalement utilisées dans les parcelles en pente faible : un volume d'eau trop important couplé à des niveaux de pente élevés risquerait de briser les diguettes.

- Les diguettes intra-parcellaires doivent être perpendiculaires à la pente/suivre les courbes de niveau.
- Diguette inter-sillons en pomme de terre.

Dans les cultures en rangs telles que la pomme de terre, les diguettes inter-billons se sont montrées efficaces pour réduire le ruissellement. Des outils comme le barbutte ou le Diker permettent de créer ces diguettes lors de la plantation ou lors du buttage. Les diguettes sont particulièrement efficaces lorsque la culture ne couvre pas encore complètement la surface du sol.

Efficacité

Les digues constituent des mesures efficaces si la pente du champ n'est pas trop marquée. La longueur et la hauteur des diguettes et leur espacement doivent être adaptés au débit d'eau attendu dans l'inter-rang.



7. Implantation des cultures suivant les courbes de niveau



Cultiver en suivant les courbes de niveau est une pratique qui reste plus courante en Amérique du Nord qu'en Europe. La principale raison pour laquelle elle n'est que rarement pratiquée en Europe est probablement la taille plus réduite des parcelles, qui limite sa mise en œuvre. Avec cette technique de culture, le travail du sol suit les courbes de niveau de la parcelle afin d'éviter le ruissellement dans le sens de la pente. L'alternance des cultures en courbes de niveau ralentit l'écoulement de l'eau et augmente son infiltration. Les façons culturales peuvent améliorer la rugosité de surface. Cultiver en suivant les courbes de niveau est efficace sur des parcelles en pente légère à modérée (2 à 10 %) relativement uniforme. La largeur des bandes cultivées doit être comprise entre 35 et 120 m.

(http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_Documents/nrs143_026017.pdf).

Ce qu'il faut faire/Comment faire

Des équipements spéciaux sont nécessaires pour suivre les courbes de niveau lors des façons culturales. Diagnostiquer soigneusement les parcelles pour déterminer si elles conviennent aux cultures en courbe de niveau (pentes pas trop accusées et plutôt uniformes) avec le matériel disponible (tracteur avec roues contre engin à chenilles, systèmes GPS).

Efficacité

Des études ont mis en évidence une réduction de 10 à 50 % des taux d'érosion par rapport au labour dans le sens de la pente. Associé à d'autres mesures (TCSL, par exemple), la culture suivant les courbes de niveau a permis une réduction de 95 % de l'érosion par rapport au travail du sol traditionnel et au labour dans le sens de la pente.

Une forme particulière, mais très efficace, de cultures suivant les courbes de niveau est la culture en terrasses pour réduire la pente de la parcelle, limiter l'écoulement de l'eau sur le versant et stocker l'eau dans le sol. Ce type d'aménagement demande d'importants investissements pour aménager le bassin versant en fonction des besoins agricoles mais a été mis en place en vallée du Rhône pour certains vignobles.



Pratiques culturales

Les pratiques culturales peuvent fortement réduire le risque de ruissellement et d'érosion. Certaines cultures permettent d'améliorer la structure et la stabilité du sol. Le but est d'améliorer la stabilité structurale du sol grâce à :

- La rotation des cultures appropriées.
- L'accroissement de l'infiltration de l'eau par l'implantation de cultures à enracinement profond (pour augmenter la porosité du sol).
- La protection de la surface du sol par une couverture végétale/organique visant à réduire l'érosion due à l'effet splash des gouttes de pluie.
- L'implantation de plusieurs cultures différentes dans les parcelles de grande taille (réduction de la taille de la parcelle). Certaines cultures peuvent faire office de zones tampons pour réduire les flux de ruissellement, minimiser le ruissellement et favoriser l'infiltration de l'eau.
- La répartition des cultures dans le bassin versant. Une répartition équilibrée des cultures dans le bassin versant réduit aussi les risques de transfert vers les eaux du fait d'une utilisation moins intensive sur le bassin versant (les différents PPP sont généralement appliqués sur des cultures différentes).

La rotation des cultures consiste à alterner les cultures sur une même parcelle, l'objectif principal étant de préserver la fertilité du sol et la productivité des cultures au fil du temps. Une rotation longue des cultures (alternance de cultures d'hiver et de printemps) permet de réduire la pression des parasites et des maladies et représente un atout important de la Protection Intégrée (PI). La rotation des cultures doit être envisagée non seulement à l'échelle du champ, mais également à celle du bassin versant, en particulier dans les zones vulnérables

8. Optimisation de la rotation des cultures



La rotation des cultures influence dans une grande mesure la teneur en matière organique du sol. Des cultures telles que la betterave sucrière, la pomme de terre et le maïs à ensilage sont connues pour réduire la teneur en matière organique à long terme, laquelle est en revanche augmentée par l'incorporation des résidus de cultures comme les céréales à paille, le colza, le maïs grain, les cultures intermédiaires ou les fertilisants organiques. La matière organique exerce un effet bénéfique sur la stabilité structurale du sol et augmente sa capacité de rétention en eau. Elle stimule par ailleurs l'activité microbiologique du sol et favorise donc la dégradation et l'adsorption des PPP.

Les rotations optimisées des cultures ont un effet direct et indirect de réduction du ruissellement et de l'érosion.

Ce qu'il faut faire

L'optimisation des rotations des cultures dépend des conditions climatiques locales, du type de sol et de la durée de la période de végétation. Les prix de marché ou la main-d'œuvre nécessaire à certaines productions peuvent interférer avec l'optimum agronomique et la durabilité de la rotation. Une gestion optimale de la teneur en matière organique du sol doit être mise en œuvre lors du choix de la rotation qui, en même temps, diminuera le ruissellement et l'érosion. Dans certains pays, la réglementation impose une bonne gestion de la teneur en matière organique des sols. Les cultures différentes permettent, par leur capacité à couvrir le sol durant les périodes à risque, de diminuer le ruissellement. Les cultures assurant un couvert végétal dense du sol lorsque les risques de ruissellement sont élevés doivent être privilégiées.

Comment faire

Optimiser la rotation des cultures. Alternier les cultures assurant une couverture dense du sol (céréales ou colza, par exemple) dans les parcelles à risque et au cours des périodes à risque. Laisser des résidus de récolte à la surface du sol après la récolte. Dans les bassins versants vulnérables, la rotation des cultures doit faire l'objet de concertation entre les agriculteurs du même bassin. Les structures de conseil peuvent aider à la mise en place et l'organisation de rotations optimisées des cultures dans le bassin versant.

Efficacité

Les cultures couvrant le sol durant les précipitations peuvent réduire le ruissellement/l'érosion de 50 à 90 % en fonction de leur succession dans la rotation. La rotation des cultures est particulièrement efficace lorsque des prairies sont en bas de pente.



9. Mise en œuvre de bandes de culture (en travers de la pente)



La culture en bandes dans une parcelle de grande taille peut être considérée comme une mesure de réduction de la taille de cette parcelle par la diversification des cultures. Les bandes de cultures en rangs, comme la pomme de terre, la betterave sucrière et le maïs, alternées avec des bandes de céréales d'hiver ou de colza, réduisent l'écoulement de l'eau, accroissent l'infiltration et piègent les sédiments. Dans les régions semi-arides, une bande de culture est parfois alternée avec une bande de jachère. La fonction principale de cette bande de jachère est de collecter l'eau et la stocker. Les bandes de culture sont à planter en travers de la pente et jouent alors le rôle de zone tampon.

Au cours de ces dernières années, la taille des parcelles a augmenté en Europe et il semble donc possible d'appliquer de telles mesures là où les parcelles ont vu leur taille augmenter et les risques de ruissellement/d'érosion élevés.

Ce qu'il faut faire/Comment faire

Diviser les parcelles de grande taille sensibles au ruissellement/à l'érosion en plantant des différentes cultures en bandes en travers de la pente. Les conseils de mise en œuvre et restrictions sont très similaires à celles mentionnées pour les cultures en courbes de niveau

10. Plantation de cultures de couverture annuelles



Semer une culture intermédiaire après la récolte pour recouvrir le sol nu est une mesure de réduction des risques de ruissellement très efficace. Le choix de l'espèce dépend de la période de végétation disponible, de l'état du sol, de l'humidité du sol et des exigences de la culture devant être semée par la suite.

Les cultures intermédiaires réduisent l'impact des chutes de pluie et augmentent la teneur en matière organique du sol, ce qui améliore la stabilité des agrégats, la résistance à l'effet splash des gouttes de pluie et la résistance au compactage. En favorisant l'infiltration d'eau, elles peuvent réduire de façon indirecte le volume des eaux de ruissellement et/ou de

drainage. Les cultures de couverture possèdent par ailleurs l'avantage de limiter les pertes de nutriments dans l'eau en absorbant les reliquats d'azote : on parle de CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrate).

Les CIPAN sont plus faciles à mettre en place dans les régions humides et subhumides, où les précipitations sont plus régulières, que dans les régions semi-arides avec de faibles précipitations. Consultez votre conseiller pour choisir la culture de couverture convenant le mieux à votre rotation et à votre région pédoclimatique.

Les éventuelles possibilités de financement et les exigences réglementaires locales doivent être prises en considération. En France, par exemple, les CIPAN sont obligatoires dans les zones vulnérables concernées par la directive Nitrates.

Ce qu'il faut faire

La durée de la période de végétation, les préparations culturales (travail du sol) et la date de semis de la culture suivante détermineront le choix de la CIPAN.

- a) Plus la durée de couverture du sol par la CIPAN est longue et plus son effet est marqué. Les cultures suivantes sont semées soit directement sous couvert, sans éliminer la CIPAN, soit après incorporation par des façons culturales.
- b) Si les exigences agronomiques du lit de semences de la culture suivante sont élevées (lit de semences fin, par exemple), une CIPAN avec une période de végétation plus courte peut être sélectionnée (détruite par le gel, comme la phacelie par exemple). Dans ce cas l'efficacité au printemps est principalement liée à l'enrichissement en matière organique du sol.

Comment faire

- Les conditions de semis de la CIPAN doivent permettre une implantation rapide et dense de la culture de couverture.
- Semer si possible perpendiculairement à la pente.
- Différents équipements et techniques peuvent être utilisés pour le semis ; ils doivent être adaptés aux conditions locales et types de semence.
- L'implantation des CIPAN peut être réalisée de plusieurs façons : semis sous couvert du précédent ou après la récolte, sur chaume. Après la récolte de maïs à ensilage, notamment,

les CIPAN ne s'implantent pas facilement. Le ray-grass peut toutefois être semé avant la récolte. Des semoirs peuvent être utilisés au stade 8 à 10 feuilles du maïs.

- Lors de la destruction des CIPAN, avant le semis de la culture de printemps, les résidus végétaux doivent être laissés sur le champ pour protéger le sol.

Efficacité

L'efficacité de cette mesure dépend de la qualité de développement de la CIPAN au moment des premières précipitations. Une culture de couverture bien implantée éliminera presque totalement le ruissellement et l'érosion. Une étude française (Fresquiennes 2004-2005 – Chambre d'Agriculture 76, France) a ainsi mis en évidence qu'une culture de couverture de moutarde réduisait l'érosion d'un facteur 25 par rapport à un sol nu (la perte de sol étant ramenée de 1 000 kg à seulement 40 kg/ha)

Contraintes

La CIPAN peut interférer avec la culture suivante pour diverses raisons :

- Contact semence de la culture suivante-sol médiocre lorsque les résidus de la CIPAN gênent le semis (levée lente et irrégulière)
- Déficit hydrique du sol
Ralentissement du ressuyage et du réchauffement du sol au printemps (levée différée)
- Effets allélopathiques des résidus de la culture de couverture
- Augmentation de la concentration des agents pathogènes du sol
- Augmentation du nombre d'insectes, limaces et autres parasites et maladies.

11. Mise en œuvre du double semis



Ce qu'il faut faire

La densité optimale de la culture est habituellement adaptée aux conditions locales, mais lorsqu'un ruissellement diffus est observé dans une parcelle, une bande avec une densité de semis plus élevée peut permettre de réduire le volume des eaux de ruissellement de surface sans qu'il soit nécessaire de semer une bande tampon non cultivée (même principe qu'une bande tampon plantée d'une espèce annuelle). Exemple : lors du semis de céréales dans un talweg, le fait de doubler la densité normale de semis permet de réduire fortement l'écoulement de d'eau et de limiter l'érosion.

Comment faire

Le double semis est réalisé sur une bande perpendiculaire à la pente ou dans un talweg. La disposition de la bande de double semis suit en principe la méthodologie adoptée pour les bandes tampons végétalisées intra-parcellaires.

12. Mise en place de cultures de couverture pérennes dans les plantations pérennes



Les cultures de couverture pérennes permettent de protéger et ombrager le sol et d'en accroître la porosité. Ceci ralentit l'écoulement de l'eau, augmente son infiltration et piège les sédiments des eaux de ruissellement, réduisant ainsi efficacement le ruissellement et l'érosion. Les cultures de couverture pérennes sont généralement implantées avec la culture de plantation et sont entretenues le plus longtemps possible (vigne, verger, plantations d'agrumes, houblon, etc.). L'implantation de cultures pérennes de couverture est recommandée dans les régions où la disponibilité en eau ne constitue pas un facteur limitant. Dans les régions plus sèches, les cultures de couverture pérennes peuvent entrer en compétition pour l'eau avec la culture de plantation. Le choix de l'espèce doit alors être soigneusement réfléchi.

Il peut être nécessaire de passer à des cultures de couverture annuelles, de détruire chimiquement la culture de couverture avant les périodes de manque d'eau ou de protéger le sol avec des matières organiques (paille, compost ou autres). Les plantations situées dans des zones vallonnées sans culture de couverture présentent souvent un risque très élevé de ruissellement et plus encore d'érosion.

Ce qu'il faut faire

- Sélectionner la culture de couverture adaptée à la plantation et à votre région en vous basant sur niveau de risque établi par le diagnostic du champ/bassin versant. Les graminées ou un mélange de graminées et de trèfle sont des exemples de couverts intéressants. Entretenir le couvert de façon à ce qu'il fournisse une couverture relativement complète du sol et conserve son efficacité à réduire le ruissellement/l'érosion. Planter couvert tous les deux rangs et envisager des mesures complémentaires si l'état du sol et les conditions d'humidité restreignent la mise en place couvert sur tous les inter-rangs
- Adapter les recommandations aux particularités locales.

Comment faire

Planter des cultures de couverture pérennes entre les rangs. Entretenir le couvert par fauchage ou par d'autres moyens pour en limiter la hauteur (10 à 15 cm). Si le couvert ne suffit pas à protéger entièrement la surface de la parcelle, apporter des résidus végétaux là où le couvert est absent. Le choix du couvert doit également être orienté par son impact sur la biodiversité (*Lolium* spp. s'accompagne d'une moindre biodiversité que d'autres graminées comme la fétuque ou le dactyle) Les couverts du fait de floraison longues ne doivent pas recevoir de traitement insecticides pour réduire les risques d'intoxication des abeilles.

Efficacité

Dans les régions où les plantations sont situées sur des pentes douces, l'efficacité des cultures de couverture pour atténuer le ruissellement peut atteindre 100 %. Dans les pentes plus fortes, l'efficacité ne peut atteindre que 50 %. Il convient dans ce cas d'appliquer des mesures supplémentaires pour réduire le risque de ruissellement/d'érosion. Il est important que la culture de couverture ne soit pas trop haute (< 25 cm) et que les tiges soient suffisamment robustes pour résister à la pression exercée par les eaux de ruissellement.



13. Agrandissement des tournières



La **de travail** du sol et du semis sont souvent dans le sens de la pente et il peut parfois s'avérer impossible de les modifier. La tournière étant souvent cultivée perpendiculairement au reste du champ, elle peut servir de barrière cultivée pour l'eau s'écoulant dans le sens de la pente.

Ce qu'il faut faire

Dans les tournières, semer perpendiculairement à la pente. Agrandir la tournière si le diagnostic du champ fait état d'un risque plus élevé de ruissellement. Le double semis pourrait constituer une option permettant d'accroître encore l'efficacité de la tournière (bande tampon).

Zones tampons végétalisées

Considérations générales

Les zones tampons végétalisées peuvent être considérées comme des mesures de type infrastructure (établies pour plusieurs années) dans un bassin versant. Les fonctions des zones tampons sont de :

- Créer des zones d'infiltration pour les eaux de ruissellement de surface ;
- Ralentir les eaux de ruissellement de surface grâce à une végétation appropriée et retenir les sédiments ;
- Fournir des habitats pour accroître la biodiversité ;
- Offrir des zones où les PPP ne sont pas appliqués, réduisant ainsi les applications à proximité des eaux de surface dans les secteurs vulnérables.

Comment faire

Déterminer la taille et la densité de semis de la tournière en fonction du risque de ruissellement établi par le diagnostic de la parcelle. Les tournières peuvent être agrandies jusqu'à ce que la pente devienne trop importante pour travailler en toute sécurité avec le matériel agricole.

Les zones tampons sont très efficaces pour piéger les sédiments érodés et réduire le volume total d'eau quittant la parcelle. Le principal objectif des zones tampons végétalisées est d'intercepter le ruissellement des parcelles cultivées en amont ; leur positionnement dans le bassin versant est donc crucial. En raison de la complexité et de la variabilité des facteurs influençant l'efficacité des zones tampons, les recommandations concernant leur positionnement et leur dimensionnement doivent être **basées sur un diagnostic approfondi**. Des recommandations générales sont fournies dans cette section. Pour des informations plus détaillées, consultez la brochure du CORPEN : [www.developpement-durable.gouv.fr-Le-Comité d'ORIENTATION pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENVIRONNEMENT ou www.TOPPS-life.org](http://www.developpement-durable.gouv.fr-Le-Comité-d'ORIENTATION-pour-des-Pratiques-agricoles-respectueuses-de-l'ENVIRONNEMENT-ou-www.TOPPS-life.org) référence en Anglais.

Les courts circuits qui sont souvent observées dans les parcelles ou les zones tampons doivent être évités, parce qu'elles ne font que repousser les problèmes dans les parcelles aval voire vers les cours d'eau.

a) Positionnement et dimensionnement des zones tampons

La taille des zones tampons peut varier, en fonction des objectifs de protection à atteindre, les caractéristiques du sol et du bassin versant et leur inter-action avec d'autres solutions mises en oeuvre (intra-parcellaires par exemple comme le travail du sol). Le positionnement des zones tampons nécessite le diagnostic des écoulements des eaux ruissellement dans le bassin versant : les zones tampons doivent être situées de préférence près de l'origine des ruissellements diffus (idéalement avant la formation d'un ruissellement concentré), dans les parties amont du bassin versant. Le ruissellement de surface est initialement diffus au niveau de la parcelle, mais tend à se concentrer au fur et à mesure de son parcours vers l'aval du bassin (souvent dans une vallée/un talweg).

La localisation pertinente de la zone tampon dans le bassin versant est généralement plus importante pour son efficacité sur le ruissellement que sa largeur. Une zone tampon visant avant tout à arrêter les particules érodées du sol peut être plus petite que si elle avait eu pour rôle d'intercepter les eaux de ruissellement et les polluants dissous qu'elles contiennent. D'autres paramètres, parmi lesquels la perméabilité du sol, sa saturation, la longueur de la pente et la zone de ruissellement, doivent également être prises en compte. Dans les zones où les sols sont détrempés (ou inondés), l'efficacité d'une zone tampon enherbée est généralement faible, parce que la saturation de son sol l'empêche d'absorber les eaux de ruissellement par infiltration. C'est notamment le cas des zones tampons rivulaires, qui ont plus tendance à être saturées d'eau que les zones tampons situées en amont.

Les différents types de ruissellement nécessitent des zones tampons différentes :

- Des zones tampons enherbées intra-parcellaires ou en bordure des champs sont nécessaires pour intercepter le ruissellement diffus présent sur ou à proximité de la parcelle.
- Le long des zones rivulaires, il est important de prévoir des bandes tampons enherbées pour éviter que les eaux de ruissellement passent directement des parcelles aux cours d'eau. La protection des eaux de surface au moyen de zones tampons rivulaires est particulièrement importante et efficace dans la partie amont du bassin versant ainsi qu'au voisinage des sources alimentées par les nappes de la craie dans le Bassin Parisien par exemple.
- La mise en place de zones tampons enherbées dans les talwegs peut être nécessaire pour améliorer l'infiltration des eaux de ruissellement concentré en provenance des coteaux. Les routes longeant les champs jouent souvent le rôle de voies d'écoulement concentré collectant les eaux de ruissellement : le fait d'établir des zones tampons le long des routes (en bordure de champ) évite que les eaux de ruissellement se concentrent dans ces voies d'écoulement potentielles très rapides.
- Les zones d'infiltration d'eau naturelles (vallées sèches, dolines, par exemple) des régions karstiques doivent être protégées du ruissellement de la même façon que les eaux de surface, parce qu'elles constituent une voie de contamination directe t des eaux souterraines.

- 1 : Zone tampon intra-parcellaire servant à couper une longue pente dans un champ cultivé.
- 2 : Zone tampon en bordure de parcelle protégeant une route (voie d'écoulement potentielle de l'eau).
- 3 : Zone tampon en bordure de parcelle dans l'angle inférieur d'un champ, où l'eau se concentre.

- 4 : Talweg enherbé réduisant l'écoulement concentré de l'eau.
- 5 : Vaste zone tampon enherbée (c'est à dire prairie) utilisée pour intercepter, disperser et faire infiltrer l'écoulement concentré de l'eau s'échappant du thalweg en amont.
- 6 : Zone tampon rivulaire : bande tampon enherbée entre le bord d'un champ et une masse d'eaux de surface interceptant le ruissellement diffus issu du champ en amont. (Source : CORPEN/IRSTEA modifié)



Choix des zones tampons et entretien

Divers types de zones tampons végétalisées peuvent être mis en place :

- Zones tampons enherbées ;
- Haies ;
- Combinaison de haies et de bandes enherbées ;
- Terrains boisés, bosquets ;
- Prairies.

L'infiltration de l'eau est meilleure dans les zones tampons plantées de végétation ligneuse, dont les systèmes racinaires sont plus développés. Les couverts de graminées denses sont plus efficaces pour ralentir l'écoulement des eaux de surface et améliorent donc la rétention des particules érodées du sol. La combinaison des deux systèmes permet d'associer les avantages des deux types de végétation. La végétation dense des zones tampons améliore par ailleurs la dégradation des PPS dans le sol en raison de l'accumulation de matière organique, qui stimule l'activité microbienne du sol. La sélection des espèces végétales des zones tampons doit tenir compte des exigences locales et ne peut être généralisée. La sélection des espèces peut également être conditionnée par d'autres fonctions de protection, comme favoriser le butinage des abeilles ou fournir des habitats à certains animaux ou plantes.

b) Les zones tampons doivent être entretenues et gérées pour rester efficaces.

Une rugosité suffisante de la surface des zones tampons végétalisées est importante pour piéger les particules du sol transportées dans les eaux de ruissellement. Pour les zones tampons enherbées, un fauchage régulier de l'herbe est nécessaire. La hauteur moyenne de l'herbe doit être de 10 cm environ et la hauteur maximale ne peut dépasser 25 cm afin que les feuilles restent dressées. Si l'herbe atteint une hauteur supérieure, elle sera rabattue au sol par les eaux de ruissellement, ce qui réduira l'efficacité de la zone tampon à ralentir ces eaux et piéger les sédiments. Un minimum d'un fauchage par an est nécessaire, en respectant les saisons de reproduction des oiseaux

et les périodes de floraison/grenaison des graminées. Les faucheuses doivent être équipées de systèmes d'effarouchement/avertissement pour protéger la faune sauvage.

Pour préserver le fonctionnement des zones tampons, il est également essentiel d'éviter toute intervention réduisant l'infiltration de l'eau dans le sol. Le compactage du sol doit être évité en limitant au maximum la circulation de matériel agricole. Les zones tampons ne doivent pas servir de voies de circulation au matériel agricole se rendant dans les champs. Si la réglementation le permet, l'utilisation de zones tampons comme pâturage pour les animaux peut être envisagée, en gardant à l'esprit que les grands animaux risquent de compacter le sol. Il faut également prendre en compte le risque de contamination des eaux de surface par des nutriments et microbes pathogènes provenant des déjections des animaux.

L'efficacité en termes d'infiltration des zones tampons est par ailleurs réduite par l'accumulation de sédiments qui réduit la porosité du sol en amont de la bande enherbée.. Une élimination ou une dispersion régulière des sédiments sur les parties amont des zones tampons végétalisées peut être nécessaire. Un travail léger du sol peut être effectué pour répartir l'accumulation de sédiment sur la surface de la zone tampon.

Les zones tampons ne peuvent être fertilisées ni pulvérisées avec des PPP, à moins que ce ne soit indispensable au développement des espèces végétales souhaitées : il faut vérifier si la réglementation permet ce type d'entretien. Ceci est particulièrement vrai pour les zones tampons rivulaires, où un transfert rapide du ruissellement vers les cours d'eau adjacents est possible.

c) Efficacité et contraintes

L'examen des études scientifiques révèle une variabilité importante de l'efficacité des zones tampons, ce qui suggère qu'un vaste éventail de facteurs physiques, chimiques et biologiques influent sur le fonctionnement des zones tampons enherbées. Les zones tampons rivulaires constituent des mesures efficaces réduisant les transferts de PPP dans les eaux de surface. La réduction de ces transferts peut cependant varier de 50 à près de 100 % en fonction de la capacité d'infiltration de la zone tampon (c'est à dire de la texture et la structure du sol), de la teneur en eau de la couche arable, de la capacité de piégeage des particules du sol, du régime de précipitations et de la largeur de la bande tampon.

Trois facteurs, souvent responsables d'une efficacité médiocre des bandes tampons, peuvent néanmoins être identifiés :

Saturation en eau du sol : si le sol de la zone tampon est saturé, ses capacités d'infiltration seront compromises malgré les effets positifs de piégeage exercés par la végétation. Dans ce cas, l'efficacité de rétention des pesticides des eaux de ruissellement par la zone tampon est extrêmement réduite. Ce phénomène est particulièrement important dans les zones tampons rivulaires, qui sont situées près des cours d'eau et dont la proximité aux nappes alluviales est élevée.

Compactage du sol : si le sol de la zone tampon est compacté par le passage fréquent de machines agricoles ou d'animaux, la capacité d'infiltration d'eau du sol décroît, réduisant son efficacité pour intercepter et infiltrer le ruissellement.

Les dépôts de sédiments (sédimentation des particules de sol transportées par ruissellement) dans la zone enherbée peuvent entraver le fonctionnement de cette dernière et causer l'apparition de voies d'écoulement concentré lors des pluies ultérieures en raison de la diminution de la porosité du sol.

d) Autres effets positifs

Les zones tampons végétalisées peuvent remplir diverses autres fonctions dans le bassin versant :

- Réduire globalement l'érosion dans le bassin et donc réduire l'envasement des cours d'eau. Réduire les entrées de nutriments (phosphore, azote) dans les eaux de surface et par conséquent l'eutrophisation des masses d'eau.
- Créer des habitats pour les espèces clés et accroître la biodiversité en général dans les bassins versants agricoles.
- Augmenter la connectivité des écosystèmes dans les bassins versants agricoles en fournissant des corridors de vie et de circulation aux espèces.
- Contribuer à l'hétérogénéité/la diversité des bassins versants et à leur attrait touristique.

Les mesures décrites dans les chapitres suivants concernent les zones tampons, qui diffèrent par leur emplacement, leur taille et leur composition ; les effets sont similaires pour tous les types de zones tampons.



14. Mise en place et entretien de zones tampons intra-parcellaires



Ce qu'il faut faire

Les zones tampons intra-parcellaires peuvent être très efficaces, car elles permettent l'infiltration dans le sol des eaux de ruissellement dont le volume est encore relativement faible. Par rapport aux zones tampons rivulaires, qui ont tendance à se saturer d'eau et reçoivent souvent des écoulements concentrés, les zones tampons intra-parcellaires possèdent des capacités d'infiltration potentiellement supérieures et peuvent être plus efficaces pour arrêter le ruissellement diffus à la source. Ce type de zones tampons prend typiquement la forme de haies ou de zones tampons enherbées permanentes.

Comment faire

Déterminer l'emplacement et la taille des zones tampons selon le diagnostic établi pour la parcelle concernée pour obtenir la meilleure efficacité. Les zones tampons intra-parcellaires doivent suivre autant que possible les courbes de niveau et doivent être positionnées de façon à prévenir la formation d'écoulements concentrés (pente relativement uniforme/absence de talweg). Tout ce qui permet à l'eau de court-circuiter les zones tampons (traces de roue, chemins) doit être évité. Les zones tampons intra-parcellaires peuvent prendre la forme de zones enherbées ou de haies, ces dernières pouvant être préférées en raison des fonctions complémentaires qu'elles assurent (protection contre le vent, biodiversité, etc.).

Les espèces choisies doivent :

- Faire partie des espèces locales et être non invasives,
- Être adaptées aux conditions locales (sécheresses ou inondations régulières, par exemple)
- Être constituées d'une végétation permettant de résister à l'écoulement de l'eau et donc de réduire la vitesse des eaux de ruissellement,
- Fournir une couverture végétale dense dans la zone tampon.

Efficacité et contraintes

Les zones tampons intra-parcellaires peuvent allonger les temps de travaux nécessaires à l'exploitation d'une parcelle si le sens de semis est dans le sens de la pente. Les zones tampons intra-parcellaires sont efficaces pour piéger le ruissellement diffus. Cependant, ce type de zones tampons peut être rapidement traversé par les ruissellements concentrés. La prévention du ruissellement concentré dans la parcelle (gestion des voies de passage, travail du sol et semis suivant les courbes de niveau, etc.) reste donc une priorité. Si un ruissellement concentré est inévitable dans certaines zones, un sillon profond, sur une largeur supérieure à celle du ruissellement concentré, creusé entre la zone cultivée et la zone tampon peut jouer le rôle de distribution des eaux de ruissellement dans la zone tampon si celle-ci suit les courbes de niveau.



15. Mise en place et entretien de zones tampons en bordure de parcelle



Les zones tampons en bordure de parcelle sont situées à l'extrémité aval du champ, qu'elles séparent bien souvent de la parcelle voisine ou d'un chemin ou d'une route adjacente. La zone tampon a pour fonction d'assurer l'infiltration des eaux de ruissellement dans le sol et de piéger les sédiments avant que l'écoulement de surface n'atteigne le chemin, la route ou ne pénètre dans une parcelle aval.

Ce qu'il faut faire

Déterminer l'emplacement et la taille des zones tampons selon le diagnostic établi pour la parcelle concernée pour obtenir la meilleure efficacité.

Les zones tampons en bordure de parcelle peuvent être très efficaces, car elles permettent l'infiltration dans le sol des eaux de ruissellement venant de l'amont dont le volume est encore relativement faible. Par rapport aux zones tampons rivulaires, qui ont tendance à se saturer d'eau et doivent souvent affronter des écoulements concentrés, les zones tampons en bordure de parcelle possèdent des capacités d'infiltration potentiellement supérieures et peuvent être plus efficaces pour réduire le ruissellement diffus à la source. Ce type de zones tampons prend typiquement la forme de haies ou de zones tampons enherbées permanentes.

Comment faire

Déterminer l'emplacement et la taille des zones tampons enherbées selon le diagnostic établi pour la parcelle concernée pour obtenir la meilleure efficacité. Tout ce qui permet à l'eau de ruissellement de court-circuiter les zones tampons (voies de passage ou chemins) doit être évité. Les zones tampons en bordure de parcelle peuvent prendre la forme de zones enherbées ou de haies, ces dernières pouvant être préférées en

raison des fonctions supplémentaires qu'elles assurent (protection contre le vent, biodiversité, etc.).

Les espèces choisies doivent :

- Faire partie des espèces locales et être non invasives,
- Être adaptées aux conditions locales (sécheresses ou inondations régulières, par exemple),
- Être dotées d'une végétation leur permettant de résister à l'écoulement de l'eau et donc de réduire la vitesse des eaux de ruissellement,
- Fournir une couverture végétale dense dans la zone tampon.
- Si des sédiments se sont accumulés dans la partie amont de la zone tampon, épandez les sédiments dans la zone tampon, ou retirez-les pour les épandre sur un champ en amont.

Efficacité et contraintes

- Les zones tampons en bordure de parcelle sont efficaces pour piéger le ruissellement diffus issu des parcelles. Cependant, ce type de zones tampons peut être rapidement traversé par les ruissellements concentrés. La prévention du ruissellement concentré dans la parcelle (gestion des voies de passage, travail du sol et semis suivant les courbes de niveau, etc.) reste donc une priorité.
- Si un ruissellement concentré est parfois inévitable, il faut envisager de mettre en œuvre des mesures de dispersion ou d'agir en amont.



16. Mise en place et entretien de zones tampons rivulaires



Les bandes tampons rivulaires sont des zones tampons de bordure de cours d'eau avec des bandes enherbées naturelles ou non, arborées ou avec de la végétation arbustive (ripisylve) souvent couplée avec un tapis de plantes rudérales (graminées et dicotylédones). Ces zones tampons assurent des fonctions de prévention du ruissellement similaires à celles des zones tampons précédemment mentionnées : elles réduisent le ruissellement en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol et le piégeage des sédiments grâce au ralentissement de la vitesse d'écoulement de l'eau.

De plus, les bandes tampons rivulaires constituent des moyens efficaces pour réduire les transferts de substances transportées par le vent (dérive de pulvérisation de PPP, ou poussières) vers les eaux de surface. Cette efficacité dépend de la densité de la végétation arbustive et arborée (alternance de buissons et d'arbres de haut-jet). Les zones tampons rivulaires peuvent être réglementées dans certains États membres de l'UE. La largeur des zones tampons rivulaires obligatoire varie sensiblement d'un pays à l'autre, tout comme les raisons sur lesquelles reposent ces réglementations. Les zones tampons rivulaires peuvent contribuer à promouvoir d'autres objectifs environnementaux : réduction des transferts de polluants, nutriments, PPPS, sédiments, et microbes pathogènes, ainsi que :

- Stabilisation des berges des cours d'eau,
- Amélioration de l'écosystème aquatique (fourniture d'aliments pour les organismes aquatiques, protection du cours de la rivière de la lumière et développement de flores aquatiques),
- Accroissement de la biodiversité,
- Contribution à la connectivité des écosystèmes (corridors verts dans les bassins versants) et à la diversité des bassins versants.

Des études montrent que la plupart des eaux de ruissellement superficielles d'une rivière proviennent de petits ruisseaux situés dans la partie amont du bassin versant (cours d'eau de rang 1 ou 2, tels que définis par la méthode de Strahler ; voir la figure 12).

Aussi la priorité doit être accordée à la protection des cours d'eau le plus en amont (cours d'eau de rang 1 ou 2). La protection des éléments du réseau hydrographique de rang plus élevé (rang 3 ou supérieur) par des zones tampons rivulaires n'aurait qu'un effet limité sur la qualité globale de l'eau des rivières, mais elle peut être d'une grande importance pour la réalisation d'autres objectifs de protection (voir ci-dessus).

Ce qu'il faut faire

Tout d'abord, les objectifs de protection d'un cours d'eau par une zone tampon rivulaire doivent être définis. Un diagnostic du risque de ruissellement au niveau du bassin versant et des parcelles donnera une idée de la largeur minimale que doit avoir la zone tampon pour les transferts par ruissellement vers les eaux de surface. Si le diagnostic débouche sur des zones tampons rivulaires trop étendues et peu réalisables, il convient d'envisager de les associer à d'autres zones tampons à planter dans le bassin versant afin d'optimiser l'efficacité globale de lutte contre le ruissellement à l'échelle du bassin versant. La végétation de la bande tampon doit être adaptée aux objectifs de protection à atteindre : végétation annuelle, pérenne, ou mixte (herbe, buissons, haies ou arbres).

Comment faire

Les fossés et les cours d'eau (permanents ou non permanents) de plus petite taille ne sont souvent protégés que par des bandes tampons enherbées, tandis que pour les cours d'eau et les rivières de plus grande dimension il est plus judicieux de mettre en place une végétation ligneuse pour atteindre les objectifs de protection.

Déterminer l'emplacement et la taille des zones tampons enherbées pour une protection maximale du fossé ou du cours d'eau. Tout ce qui permet au ruissellement de court-circuiter les zones tampons (voies de passage, traces de roue ou chemins) doit être évité.

Les espèces choisies doivent :

- Faire partie des espèces locales et être non invasives,
- Être adaptées aux conditions locales (sécheresses ou inondations régulières par exemple),
- Être dotées d'une végétation leur permettant de résister à l'écoulement de l'eau et donc de réduire la vitesse des eaux de ruissellement,
- Fournir une couverture végétale dense dans la zone tampon.

Les zones tampons rivulaires ne doivent pas être :

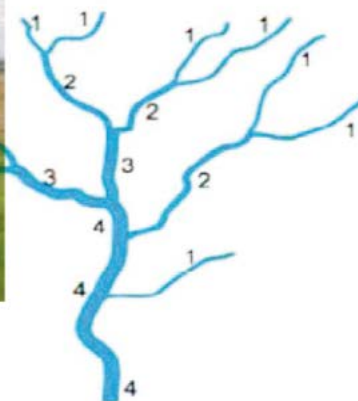
- Fertilisées,
- Pulvérisées avec des PPP,
- Utilisées comme voie de passage pour les machines agricoles.



Riparian grassed bufferstrip

ersant
ement

Strahler classification in a water catchment area (1 small stream, 2 next biggest, etc.)



Si des sédiments s'accumulent dans la partie amont de la zone tampon, épandez les sédiments dans la bande tampon, ou épandez-les dans une parcelle amont (avec une herse par exemple).

Efficacité et contraintes

Les sols des zones tampons rivulaires sont souvent influencés par la nappe présente dans le fossé ou le cours d'eau adjacent. Les sols des zones tampons rivulaires sont de ce fait fréquemment saturés en eau notamment en hiver. Dans ces conditions, les zones tampons sont moins efficaces et la mise en place de zones tampons complémentaires en amont devra être envisagée.

Un diagnostic approfondi est par conséquent nécessaire pour estimer l'efficacité d'une zone tampon rivulaire. Les zones tampons rivulaires font néanmoins fonction de « dernière ligne de défense » contre les polluants transportés par les eaux de ruissellement ou par le vent et une bande tampon rivulaire d'une largeur minimale (2 m, par exemple) doit être mise en place partout où cela constitue une priorité pour la protection des eaux superficielles.

17. Création et entretien de zones tampons dans les talwegs



Ce qu'il faut faire

Réaliser un diagnostic pour déterminer le risque de transfert dans la ou les parcelles du bassin versant. Un talweg apparaît là où deux pentes se rejoignent pour créer un point bas dans un bassin versant (vallon, vallée sèche) ou dans une parcelle (talweg). Ces talwegs collectent les eaux ruisselant sur les pentes qui peut provoquer un écoulement d'eau concentré dans le bassin versant ou la parcelle. Les talwegs peuvent être le point de départ d'une érosion en rigoles/ravines importante. Une solution efficace pour réduire le ruissellement/l'érosion consiste à enherber le talweg ; dans les situations à haut risque, des haies peuvent en outre être plantées perpendiculairement au talweg pour accroître l'efficacité de la zone tampon.

Comment faire

Déterminer l'emplacement et la taille des zones tampons à mettre en place après le diagnostic réalisé dans la ou les parcelles. Faire le choix d'espèces de couverture adaptées, implanter les à la densité adaptée et pratiquer un entretien et une gestion optimale de ces couverts.

Des zones tampons de grande taille (prairies) sont parfois nécessaires dans les talwegs importants du bassin versant lorsque le risque de ruissellement/d'érosion est élevé et que le régime habituel de précipitation provoque le transfert de quantités d'eau de l'amont du bassin versant vers son aval et vers des cours d'eau. Ce type de zones tampons ou prairies en travers des talwegs permet de disperser les eaux de ruissellement concentrées et crée des conditions favorables à l'infiltration de grands volumes d'eau. La plantation de haies dans les prairies des talwegs augmente encore plus l'efficacité d'infiltration de ces zones tampons.

Contraintes

Les zones tampons de talwegs peuvent modifier le parcellaire et entraver le passage du matériel agricole et les façons culturales de certaines parcelles. Cela peut augmenter les temps de travaux dans les parcelles.



18. Mise en place et entretien de haies



Les haies plantées le long des cours d'eau ou dans la partie amont du bassin versant peuvent offrir de nombreux bénéfices environnementaux. Elles servent de brise-vent efficaces, améliorent le microclimat, stabilisent la berge des cours d'eau et jouent le rôle d'habitat pour la faune sauvage. Les haies remplissent également d'importantes fonctions agronomiques : infiltration des eaux de ruissellement, piégeage des particules de sol érodées (réduction de l'exportation de nutriments et de PPP) et interception des polluants transportés par le vent (dérive de pulvérisation, particules de sol érodées). Les haies sont souvent compatibles avec les programmes de gestion environnementale mis en place par les Régions ou les Départements et peuvent bénéficier d'incitations financières.

Les zones tampons avec une végétation pérenne arbustive développent des systèmes racinaires plus profonds que celles exclusivement composées de graminées et créent donc souvent des conditions plus favorables à l'infiltration de l'eau.



Ce type de zones tampons est habituellement très efficace pour atténuer le ruissellement et l'érosion. Plus efficaces contre le ruissellement diffus que concentré, il est préférable de les positionner sur les pentes amont du bassin versant. Ces dispositifs tampons présentent un potentiel important d'efficacité dans les régions où les caractéristiques du sol et du bassin versant sont complexes, notamment pour les bassins versants avec des sols sablonneux et limoneux sensibles à l'érosion.

Ce qu'il faut faire

L'implantation de haies doit se baser sur un diagnostic approfondi des transferts d'eau dans le bassin versant et sur la définition des objectifs d'efficacité à atteindre. Cela aidera au choix des espèces arbustives et de graminées à planter et aux dimensions idéales de la zone tampon. Ca aidera également à prévoir le volume de travail d'entretien nécessaire de la zone tampon. La réduction de la dérive de pulvérisation des haies varie fortement en fonction des espèces végétales, de la densité et de la surface foliaire de la végétation ainsi que de son type de croissance.

Les haies doivent être plantées le long des courbes de niveau du bassin versant dans des bandes enherbées étroites (minimum 2 m), ce qui permet d'augmenter leur efficacité par rapport aux haies sans bande enherbée. Les haies doivent être placées au centre de la zone enherbée plutôt que sur l'un de ses bords. La densité de plantation des haies doit être suffisamment élevée pour optimiser la rétention d'eau et la protection contre le vent (0,5 à 1 m d'espacement entre les arbustes de la haie).

Le choix des espèces à planter doit prendre en compte les possibilités de nourrissage de la faune sauvage (les cultures annuelles ne fournissent pas de la nourriture toute l'année) ainsi que leurs éventuels impacts négatifs sur les cultures (plantes hôtes pour des maladies/parasites).

Comment faire

Le sol doit être bien préparé afin de permettre un bon enracinement des espèces choisies. Les différentes espèces choisies doivent être sélectionnées de manière permettre une bonne longévité de la haie sans causer de compétition interspécifique ou agronomique vis-à-vis des cultures proches. Les espèces choisies doivent être d'origine locale afin d'obtenir une haie saine et durable. La compétition des mauvaises herbes doit être contrôlée durant la phase d'implantation et une protection contre les attaques des animaux sauvages et domestiques (au moyen de clôtures ou plutôt manchons de protection) peut être nécessaire pour les jeunes plants.

Dimensionnement : les haies doivent être plantées en deux ou trois rangs en quinconce d'une largeur de 50 cm à 1 m.

Les plants doivent être aussi denses que possible, en tenant compte des espèces et de leur capacité à combler les espaces ouverts. L'objectif est d'atteindre une densité de 40 pieds/m² après 10 ans. L'entretien des haies exige une taille régulière. Les arbres et les arbustes doivent être fortement taillés au cours des premières années. Après quelques années, l'entretien de routine consiste à contrôler le diamètre des troncs et la largeur et la forme de la haie. En général, les haies de forme pyramidale conviennent pour la préservation de la biodiversité.

Contraintes

La plantation de haies et la réduction de la taille des parcelles augmentent les temps de travail des opérations culturales et peuvent rebuter les agriculteurs. La plantation de haies doit en général être étalée sur plusieurs années pour concilier les charges de travail des agriculteurs et l'adaptation de leurs pratiques culturales. Les haies demandent aussi des efforts d'entretien significatifs.

19. Mise en place et entretien de bosquets

Les terrains boisés peuvent aussi être efficaces pour assurer l'infiltration des eaux de ruissellement, le piégeage des particules érodées du sol (réduction de l'exportation de nutriments et de PPP) et l'interception des polluants transportés par le vent (dérive de pulvérisation, particules du sol érodées par le vent.).



Comme les haies, les bosquets sont très favorables à l'environnement dans les bassins versants agricoles : ils servent de brise-vent efficaces, améliorent le microclimat, stabilisent les berges des cours d'eau et jouent le rôle d'habitat pour la faune sauvage.

Les bosquets sont très efficaces pour atténuer le ruissellement en raison de leur taille (> 10 m de largeur) et de la capacité d'infiltration de leurs sols, plus élevée que celle des sols cultivés. La mise en place de bosquets requiert cependant un investissement initial élevé et entraîne des coûts de gestion réguliers, qui sont partiellement récupérés lors des coupes.

Ce qu'il faut faire

Les bosquets peuvent être des zones boisées naturelles résiduelles jouant le rôle de zones tampons dans le bassin versant ou être plantés spécialement dans le bassin versant pour des raisons écologiques ou économiques. Il est important de bénéficier des conseils de spécialistes locaux pour que les bosquets atteignent tous leurs objectifs et puissent prétendre à des aides financières issues de programmes agroenvironnementaux. La sélection des essences d'arbres dépend de l'objectif principal du bosquet : biodiversité ? Production de bois de haute qualité ? Production de bois de masse avec un investissement limité ?

Comment faire

Idéalement, les bosquets doivent être mis en place sur des pentes importantes ou dans les zones aval des bassins versants, près des cours d'eau. Les courts circuits (passages et traces de roue, chemins) concentrant les écoulements de l'eau et susceptibles de traverser les bosquets doivent être évités.

Consultez votre conseiller forestier (local ou régional) pour mettre en place et entretenir les bosquets afin de les rentabiliser et générer des bénéfices allant au-delà de la réduction du ruissellement dans le bassin versant

20. Aménagement des zones d'accès aux champs



Ce qu'il faut faire

Les zones d'accès aux champs constituent des voies d'écoulement potentielles de l'eau hors de la parcelle ou des points où un écoulement d'eau concentré peut commencer à se former. Elles doivent être bien gérées, notamment dans le bas des parcelles, pour prévenir la formation de ruissellement. Dans les zones directement soumises au passage du matériel agricole, le compactage du sol peut être réduit en recouvrant le sol d'une couche de gros gravier. Les zones d'accès aux champs doivent être enherbées, en choisissant une espèce de graminée résistante aux passages de roues.

Comment faire

Utiliser du gravier et/ou réaliser un empierrement dans les zones directement soumises à la circulation matériel agricole. Semer une espèce de graminée à enracinement profond supportant les sédiments et résistant à la circulation du matériel agricole. Les ornières compactées et profondes doivent être évitées dans les zones d'accès, à cause de leur rôle de chenaux du ruissellement provenant de la parcelle

permettre d'éviter que le ruissellement ne rejoigne un cours d'eau. Le coût d'installation de ces structures de rétention/infiltration « en bout de chaîne » doit être comparé au coût du changement des pratiques et techniques culturales permettant de réduire le ruissellement à la source.

Structures de rétention et de d'infiltration

Les structures de rétention et de d'infiltration sont mise en place dans le bassin versant pour intercepter les eaux de ruissellement concentré. Si la réduction du ruissellement à la source est problématique, la mise en place de structures de rétention peut

21. Mise en place et entretien de fossés végétalisés



Les fossés végétalisés sont des structures de rétention/infiltration créées dans le bassin versant pour protéger les zones aval en retenant les eaux de ruissellement et les sédiments, ainsi que l'eau provenant des zones drainées artificiellement. Les fossés végétalisés ne sont généralement pas remplis d'eau toute l'année, et ne sont inondés qu'en cas de ruissellement de surface ou de fonctionnement de réseaux de drainage. Leur principale fonction est de capter les eaux de ruissellement (ou de drainage), de favoriser leur évaporation, de permettre leur infiltration dans le sol et de retenir les sédiments érodés. Les fossés végétalisés représentent habituellement les meilleures structures de rétention/infiltration (le long des routes, entre les bordures de deux champs,). Leur principale fonction étant de retenir l'eau dans le bassin versant, les fossés ne peuvent être connectés aux eaux de surface (fossés en cul-de-sac).

Ce qu'il faut faire

La mise en place de fossés végétalisés est généralement réalisée après un diagnostic approfondi des risques de ruissellement et l'identification d'une localisation optimale dans le bassin versant. Un curage régulier des sédiments accumulés est parfois nécessaire pour éviter que leur sédimentation dans le fossé réduise les capacités de rétention et d'infiltration d'eau. Les fossés doivent être végétalisés pour assurer la stabilité de leurs berges, ralentir l'écoulement de l'eau et améliorer leur capacité de rétention des sédiments.

Comment faire

Les fossés végétalisés doivent être de taille suffisante pour recueillir au minimum les eaux de ruissellement et les sédiments érodés générés par les épisodes de ruissellement caractéristiques bassin versant (2 ou 3 premiers millimètres de ruissellement/ha, par exemple). Les fossés végétalisés contribuent à la dégradation des PPP, maximisent la

sédimentation des particules de sol érodées et captent les nutriments. Si une forte sédimentation survient chaque année, les sédiments doivent être récupérés et épandus dans les parcelles de façon régulière pour préserver la capacité de rétention/infiltration des fossés.

Les principaux éléments à prendre en compte sont les suivants :

- Localiser les fossés végétalisés à des endroits stratégiques du bassin versant, là où le ruissellement est difficile à prévenir à la source et dont son exutoire est des parcelles aval, des chemins ou des routes ou des cours d'eau.
- Limiter ou ralentir les échanges entre les fossés végétalisés et les eaux souterraines en revêtant les bords et le fond des fossés de terre arable à teneur élevée en carbone organique, si possible de texture limoneuse à argileuse.
- Dimensionner les fossés en fonction du ruissellement attendu :
 - Volume : le fossé doit pouvoir collecter une quantité significative de ruissellement ou au moins 2 à 3 mm de ruissellement par ha provenant de l'amont.
 - Profondeur : de 0,5 à 1 m ; les bords ne doivent pas être trop escarpés afin de permettre aux petits animaux de s'échapper.
 - Largeur/longueur : à déterminer en fonction de l'espace disponible et des exigences de volume à retenir (voir ci-dessus).
- Végétaliser les avec des espèces locales (non invasives) adaptées aux inondations temporaires.
- Si des sédiments s'accumulent et réduisent la capacité de rétention de plus de 20 %, curer le fossé.

Efficacité

Les fossés végétalisés constituent un type particulier de zone humide artificielle (de nature transitoire). Des études ont montré que les zones humides tampons végétalisées peuvent faciliter la dégradation des PPP transférés par les eaux de ruissellement. Les performances de rétention sont variables : elles dépendent de la proportion des eaux de ruissellement totalement retenues lors de

chaque épisode de ruissellement. Les pesticides hydrophobes sont mieux retenus dans les zones humides, parce qu'ils pénètrent dans les écosystèmes principalement sous forme liée à des particules érodées du sol, qui sédimentent très facilement dans les zones humides tampons. En outre, les pesticides hydrophobes dissous sont plus absorbés dans les végétaux et adsorbés sur les sédiments que les composés hydrophyles.

sédiments, nutriments et PPP qu'elles contiennent. Il convient avant leur mise en place de consulter les autorités locales en charge de l'environnement afin de s'informer de l'existence d'une éventuelle réglementation concernant la protection des écosystèmes/habitats pouvant interférer dans leur installation. Ceci est important pour s'assurer que leur objectif principal *de rétention pourra être maintenu si des espèces en voie de disparition* peuvent y accéder sans danger puisque leur objectif

22. Mise en place et entretien de mares de rétention/ zones humides artificielles



Contraintes

Les fossés végétalisés sont des dispositifs anthropiques installés pour retenir les eaux de ruissellement et les débarrasser des sédiments. Des mares de rétention ou des zones artificielles humides peuvent être créées dans le bassin versant pour protéger les zones aval en retenant les eaux de ruissellement et les sédiments transportés par ruissellement concentré, ainsi que l'eau provenant des zones drainées artificiellement. Lorsqu'elle traverse la structure de rétention, l'eau s'évapore ou s'infiltre. L'eau excédentaire est ensuite évacuée après passage dans une lagune artificielle vers les eaux de surface voisines. Les bassins de rétention ou les zones humides tampons artificielles ne sont généralement pas remplis d'eau toute l'année, mais ne sont inondés qu'en cas de ruissellement (ou drainage). Leur fonction principale est de retenir l'eau et les sédiments érodés dans le bassin versant.

Les zones humides naturelles (le terme « zone humide » est souvent employé pour les zones protégées) peuvent également permettre de collecter les eaux de ruissellement et de drainage et doivent donc être préservées. Ces zones humides naturelles peuvent être des prairies ou des forêts rivulaires régulièrement inondées.

est d'offrir une meilleure protection des eaux et non de créer des zones spéciales de protection de l'environnement ou de la biodiversité.

Ce qu'il faut faire

La mise en place de mares de rétention/zones humides artificielles est généralement proposée par les gestionnaires du bassin versant ou les autorités locales dans le but d'améliorer ou préserver la qualité de l'eau dans le bassin versant. Un diagnostic approfondi est nécessaire pour identifier la meilleure localisation et déterminer la taille appropriée de la zone humide tampon. Ce type de zones tampons retient généralement les eaux de ruissellement (ou de drainage) de plusieurs parcelles appartenant à différents propriétaires. Une gestion commune est souvent nécessaire pour organiser l'installation et l'entretien des mares/zones humides artificielles. Un enlèvement régulier de la matière organique et des sédiments retenus est souvent nécessaire ; dans le cas contraire, les dépôts accumulés réduisent la perméabilité hydraulique du sol et la capacité de rétention d'eau de la zone tampon.

Comment faire

La capacité de rétention des mares/zones humides doit être suffisante pour leur permettre de capter, au minimum, les eaux de ruissellement et les sédiments érodés générés par un épisode de ruissellement significatif. Le temps de résidence de l'eau dans la structure de rétention doit être optimisé en installant de petits barrages en cascade vers d'autres dispositifs de rétention. La végétation des zones humides contribue à la dégradation des PPP, maximise la sédimentation des particules de sol érodé et capte les nutriments. Si une forte sédimentation du ruissellement se produit dans la structure de rétention chaque année, les sédiments doivent être retirés de façon régulière pour préserver une capacité de rétention de l'eau optimale.

Tandis que les bassins de rétention sont habituellement installés en en revêtant le fond d'une couche imperméable (béton, géomembrane), les zones humides artificielles sont souvent installées sur des sols/sous-sols pas ou très peu connectés aux aquifères sous-jacents. Les zones humides artificielles sont généralement rapidement colonisées par des plantes aquatiques dont les semences sont apportées par des oiseaux.

Les sédiments déposés par le ruissellement permettent leur développement qui participe à la dégradation des PPP.

Les éléments généraux à prendre en compte sont les suivants :

- Définir des objectifs précis : il peut s'agir d'un objectif unique de réduction de la pollution de la pollution des eaux superficielles, ou d'objectifs multiples comme la réduction des inondations et la préservation de la biodiversité.
- Limiter les échanges entre les zones humides artificielles et les eaux souterraines en introduisant dans la structure de rétention de la terre arable à teneur élevée en carbone organique,
- Dimensionner les zones humides en fonction des ruissellements attendus :
- Volume : les zones humides doivent pouvoir collecter au moins 2 à 5 mm d'eaux de ruissellement par ha en provenance du

bassin versant, soit un rapport à la surface de 0,4 à 1 % (ces valeurs peuvent être modifiées si la prévention des inondations est la principale priorité). En cas d'épisodes de ruissellement plus importants réguliers (supérieur à 5 mm), la structure de rétention doit être conçue de manière à avoir une capacité de rétention supérieure.

- Profondeur d'eau : comprise entre 0,2 et 1 m, avec une profondeur moyenne de 0,5 m (régulée par un déversoir à la sortie du bassin/de la zone humide) en cas d'inondation.
- Longueur : maximiser si possible la longueur de la voie d'écoulement de l'eau en lui donnant une forme sinueuse à l'aide de diguettes.
- Si la structure est végétalisée, semer de préférence des espèces locales (non invasives) adaptées aux inondations irrégulières.
- Si des sédiments s'accumulent et réduisent la capacité de rétention de > 20 %, enlever-les régulièrement.

La mise en place de bassins de rétention/zones humides artificielles efficaces nécessite une certaine expertise. Pour de plus amples informations, consultez les autorités/conseillers locaux en charge de l'environnement et la documentation technique existante, notamment le guide technique « Mitigation of agricultural nonpoint-source pesticides pollution and bioremediation in artificial wetland ecosystems » du projet Life Artwet de l'UE (LIFE 06 ENV/F/000133).

Efficacité

Des études ont montré que les zones humides tampons végétalisées peuvent faciliter la dégradation des PPP transférés par les eaux de ruissellement. Les performances de biodégradation sont variables, parce qu'elles dépendent du temps de résidence des eaux de ruissellement dans la zone humide végétalisée. Les experts pensent que l'efficacité de rétention pour les composés faiblement et modérément adsorbés est relativement faible (environ 50 %), tandis qu'elle peut dépasser 90 % pour les composés fortement adsorbés. Les pesticides hydrophobes sont mieux retenus dans les zones humides, parce

qu'ils sont liés aux particules de sol érodé qui sédimentent dans le fond des zones humides tampons. Les pesticides hydrophobes dissous subissent une absorption plus importante par les plantes et une adsorption sur les sédiments que les composés hydrophiles au cours du passage de l'eau dans la zone humide.

Contraintes

Les zones humides artificielles sont des dispositifs anthropiques, comme des barrages, mis en place pour retenir les eaux de ruissellement et les débarrasser des sédiments, nutriments et PPP qu'elles contiennent.

Il convient donc avant d'envisager leur installation de consulter les autorités locales en charge de l'environnement pour s'informer de l'existence d'une éventuelle réglementation concernant la protection des zones humides ou masses d'eaux de surface pouvant interférer avec le fonctionnement de la structure de rétention. Avant la mise en place des structures, il faut s'assurer que la structure de rétention est sans danger pour des espèces qui serait localement en voie de disparition afin de protéger la biodiversité. Il peut y avoir antagonisme entre l'objectif de gestion des eaux et la préservation de la biodiversité existante avant l'installation d'une zone humide artificielle.

23. Mise en place ou maintien de digues en bordure de parcelle



Une digue en bordure de parcelle est une levée de terre ou un barrage de terre de dimensions réduites situé aux limites inférieures de la parcelle pour y maintenir les eaux de ruissellement et les particules de sol érodé. Une digue fonctionne principalement en stoppant le ruissellement et sa charge en sédiments, permettre à l'eau de s'infiltrer et aux sédiments de se déposer. La digue est également une composante anthropique essentielle des rizières pour la gestion de l'eau et du sol.

Ce qu'il faut faire

La digue en bordure de parcelle est bâtie en formant une levée ou un barrage de terre de dimensions réduites. La digue est située le long des limites inférieures de la parcelle pour retenir les eaux de ruissellement et leur charge en sédiments.

Ce type de digue est le plus efficace sur les sols à la texture plutôt lourde, c'est à dire les sols relativement argileux, qui ont un fort

potentiel de ruissellement à l'exception des périodes sèches où les fentes de retrait favorisent l'infiltration. La durée de vie de ces digues varie en fonction de leur solidité et de leur résistance à l'érosion. Il est important de vérifier régulièrement leur état.

Comment faire

Creuser le sol au bord de la partie aval de la parcelle et créer, au moyen d'un remblai, une digue d'une largeur de 30 à 50 cm et d'une hauteur appropriée. La partie aval de la parcelle doit être creusée sur une largeur permettant, avec une hauteur de digue de 35 à 50 cm, la rétention du volume de ruissellement d'un écoulement. Afin d'estimer cette hauteur, des conseils pour deux types de parcelles rectangulaires en pente régulière sont fournies ci-après.

Pour les parcelles dont le sens de la pente est parallèle à leurs bordures, la hauteur de la digue doit être suffisante pour contenir le volume du ruissellement de la parcelle.

24. Mise en place de dispositifs dispersifs



Pour les parcelles dont le sens de la pente est oblique à leurs bordures, la hauteur de la digue doit également être adaptée au volume du ruissellement du champ, mais il faut en plus que cette hauteur soit plus importante dans l'angle inférieur de la parcelle. Les dispositifs dispersifs comprennent les fascines et les mini-barrages. Il s'agit de structures artificielles de rondins/branches/pierres installées dans les bassins versants pour disperser les eaux de ruissellement concentré. Les fascines limitent l'érosion et retiennent le sable et les sédiments transportés par les eaux de ruissellement. Les mini-barrages servent avant tout à disperser et ralentir l'écoulement de l'eau.

Ce qu'il faut faire

Les fascines sont construites en disposant des fagots de branches entre des rondins (de façon à former une cloison) perpendiculairement à la pente pour couper les voies empruntées par le ruissellement concentré. La structure est perméable à l'eau, mais la disperse et en ralentit considérablement l'écoulement, favorisant la sédimentation des particules érodées du sol.

Le bois utilisé pour les fascines peut être mort ou vivant (buissons). Installée avec du bois mort, la fascine peut rester fonctionnelle pendant 2 à 4 ans. Avec du bois vivant, la fascine peut être permanente, mais les fagots de branches devront être remplacés tous les 2 à 4 ans.



Les mini-barrages sont constitués de pierres et de rondins et sont disposés à la sortie de fossés. Comme les fascines, les mini-barrages doivent être perméables à l'eau, en ralentir l'écoulement et retenir les sédiments érodés. La hauteur du mini barrage doit correspondre à la profondeur du fossé et relier ses berges de façon à ce que l'écoulement concentré traverse celui-ci dans toute sa largeur.

Les structures des mini-barrages peuvent être permanentes et nécessiter un entretien tous les 2-3 ans.

Comment faire

Creusez le sol sur une profondeur de 30 cm et une largeur de 50 cm. Enfoncez deux rangs de rondins (d'environ 1m à 1,5 m de long) dans les bords du fossé : les rondins doivent être espacés d'environ 1 à 1,5 m. Les rondins doivent s'enfoncer de 50 cm dans le sol. Le fossé est ensuite rempli de fagots jusqu'en haut des rondins et la terre excavée est utilisée pour combler le fossé et créer une transition douce avec la surface du sol en aval du mini-barrage.

Les fascines peuvent être associées à des zones tampons végétalisées en les construisant au centre d'une bande enherbée. Les mini-barrages peuvent être combinés à des fossés végétalisés.

Contraintes

La construction et l'entretien des structures dispersives nécessitent une main-d'œuvre et un investissement important.



La bonne utilisation des PPS

Introduction

La procédure d'autorisation de mise sur le marché (ou homologation) des PPP est accordée après une évaluation des risques que les PPP peuvent représenter pour la santé humaine et l'environnement. Pour la protection des eaux, les résultats de l'évaluation peuvent entraîner des restrictions réglementaires, indiquées sur les étiquettes d'utilisation des PPP, visant à réduire les concentrations prévues d'exposition dans les eaux de surface en cas de dérive de pulvérisation, de ruissellement et/ou de drainage. Les recommandations obligatoires figurant sur l'étiquette des produits doivent être considérées comme des règles essentielles de la stratégie visant à réduire la contamination des eaux de surface. Cela inclut aussi l'adoption d'autres bonnes pratiques de gestion des PPP ou bonnes pratiques agronomiques (BPA). Les mesures présentées ci-dessous visent spécifiquement à réduire les transferts de PPP par ruissellement/érosion.

La bonne utilisation des PPP commence par un entretien régulier et un étalonnage précis du matériel de pulvérisation. (Dans certains pays, un contrôle régulier des pulvérisateurs est obligatoire ; d'autres États membres de l'UE doivent mettre en œuvre les contrôles prescrits par la directive Machines.)

25. Optimisation de la période d'application des PPS



Ce qu'il faut faire

En règle générale, les règles suivantes doivent être suivies pour réduire le risque de pollution de l'eau :

- Ne pas appliquer de produits lorsque des précipitations significatives sont annoncées dans la région dans les prochaines 48 heures.
- Ne pas appliquer de PPP sur des sols saturés en eau ou dans les parcelles agricoles dont le système de drainage fonctionne.
- Limiter au strict nécessaire le nombre d'applications et la quantité de PPP utilisée ; vérifier s'il existe des stratégies de protection alternatives en cas de risques de ruissellement.

Comment faire

- Noter et indiquer les zones des parcelles ou les parcelles où des restrictions d'application des PPP que vous utilisez doivent être respectées.
- Lire attentivement l'étiquette des PPP pour savoir s'il existe des restrictions d'utilisation concernant la période d'application des PPP en fonction des précipitations.
- Consulter les prévisions météorologiques pour savoir si des chutes de pluie sont prévues dans votre région (les premières précipitations après l'application sont les plus critiques).
- Vérifier les niveaux de saturation en eau du sol dans les parcelles que vous comptez traiter et évitez de d'appliquer des PPP sur des sols saturés.
 - Si la parcelle est équipée d'un réseau de drainage, vérifier s'il est en cours de fonctionnement et, le cas échéant, éviter de traiter.

26. Optimisation de la période d'application des PPPs



Il est indispensable de suspendre les applications de PPS lors des périodes de recharge en eau des nappes souterraines et de fonctionnement des réseaux de drainage.

Ce qu'il faut faire

- Sélectionner les PPP appropriés en fonction de la période d'application.
- Appliquer les pesticides hors de la principale saison de recharge des eaux souterraines et de fonctionnement des réseaux de drainage.

Lisez attentivement l'étiquette des PPP pour savoir s'il existe des restrictions concernant la période d'application.

Comment faire

- Noter et indiquer les zones des parcelles ou les parcelles où des restrictions d'application des PPP que vous utilisez doivent être respectées.
- Éviter autant que possible de pulvériser de la fin de l'automne au début du printemps, lorsque les sols sont généralement saturés en eau ou que les réseaux de drainage sont en cours de fonctionnement. Vérifiez s'il existe des exigences spécifiques et/ou des restrictions particulières à l'utilisation des PPP.

27. Choix des produits phytosanitaires utilisables



Ce qu'il faut faire

- Sélectionner les PPP nécessaires à la protection de vos cultures et utilisables dans vos parcelles.
- Lire attentivement l'étiquette des PPP et appliquer les mesures de réduction des risques figurant sur l'étiquette.
- Si les PPP sélectionnés exigent des restrictions d'utilisation particulièrement difficiles à appliquer, vérifiez s'il existe des solutions alternatives ou consultez votre conseiller pour savoir si une utilisation d'autres PPP est possible : réduction de la dose par association avec d'autres PPP en mélange ; réduction de la dose par unité de surface, pulvérisation en bandes, PPP différents, etc.



- rendre les mesures qui s'imposent pour réduire les risques de pollution ponctuelle et appliquez les techniques conseillées pour réduire le risque de pollution diffuse (ruissellement, dérive de pulvérisation).
- Si les problèmes de pollution dus à certains PPP persistent, envisager des stratégies phytosanitaires alternatives avec votre conseiller.

Comment faire

- Suivre les conseils d'utilisation des PPP disponibles pour votre région.
- Dresser une liste des parcelles où des restrictions particulières s'appliquent aux PPP et enregistrer vos pratiques d'utilisation des PPP. Vérifier si la manipulation des PPP est sécurisée dans votre cour de ferme pour éviter toute pollution ponctuelle. Il faut plus particulièrement vérifier les aspects suivants :
- Toutes les précautions sont-elles prises lors du remplissage ou du nettoyage du pulvérisateur dans la cour de ferme ?
- Le pulvérisateur est-il équipé d'un réservoir de rinçage et d'un système interne de nettoyage/rinçage ? (Référence : TOPPS – BMPs to reduce point source pollution). Tous les agriculteurs d'un même bassin versant doivent recevoir des informations et/ou suivre une formation sur les bonnes pratiques de gestion pour éviter les pollutions ponctuelles.
- Faire un diagnostic du bassin versant et parcelles et mettre en œuvre toutes les techniques de réduction des risques de transfert par ruissellement/l'érosion et par dérive de pulvérisation.
- Optimiser période d'application pour réduire le risque de transfert des PPP.
- Réduire les doses d'application (en utilisant des associations de produits à faible concentration). Utiliser si possible des techniques d'application réduisant la surface traitée par PPP (pulvérisation en bandes, pulvérisation sur le rang, pulvérisation avec GPS).

- Consulter votre conseiller pour connaître les solutions alternatives permettant d'assurer la protection des cultures :

- Pratiques phytosanitaires alternatives non chimiques,
- Choisir d'autres PPP composés de substances actives présentant des caractéristiques différentes (demi-vie, mobilité dans le sol, toxicité aquatique : PNEC (Predicted No Effect Concentration) différentes.

Si aucune solution n'est possible, envisager d'autres cultures.

Contraintes

Après diagnostic approfondi, un plan de réduction des risques de pollution ponctuelle doit être discuté par le conseiller et l'agriculteur. Le plan d'action concernera la sensibilisation à la protection de l'eau, les bonnes pratiques de manipulation des PPP et les améliorations du matériel et des aménagements de la cour de ferme (stockage des PPP, aire de remplissage et de lavage, Biobed). Le plan d'action doit de préférence être discuté et mis en œuvre avec tous les agriculteurs du bassin versant.

La mise en œuvre de mesures de réduction des risques de ruissellement/érosion est une démarche à la fois individuelle et collective. Toutes les personnes concernées doivent s'impliquer dans un plan d'action avec des objectifs bien définis. Des possibilités d'aides financières publiques peuvent exister pour des changements de pratiques ou pour la mise en place de dispositifs de réduction des risques et doivent être étudiées.

Dans les régions à problèmes de pollution de l'eau, les autorités en charge de la qualité de l'eau doivent interagir avec les agriculteurs de manière volontaire et constructive pour trouver des solutions acceptées par tous (des exemples de ce type de coopération existent dans certains pays : Bassin versant de La Fontaine du Theil, bassin versant du Péron, opération Agriper'Aisne...). Il est toujours encourageant de pouvoir établir le lien entre les actions entreprises et les améliorations de la qualité de l'eau qui en résultent.

Irrigation

L'irrigation consiste à apporter artificiellement de l'eau aux plantes cultivées quand les fournitures par le sol sont insuffisantes. L'enjeu pour la protection de la qualité de l'eau est d'éviter une irrigation excessive par un contrôle précis des quantités apportées en tenant compte des prévisions météorologiques. Il est important de gérer les eaux de drainage dans les situations où des réseaux de drainage sont mis en place pour prévenir la salinisation des sols. Les risques de ruissellement sont directement liés aux systèmes d'irrigation mis en œuvre et à la gestion de l'irrigation et aux précipitations qui peuvent survenir après un tour d'eau.



28. Choix de la technique d'irrigation



Les différents systèmes d'irrigation se caractérisent par des variations des volumes d'eau employés et par des différences de modes d'apport. L'irrigation par submersion requiert le volume d'eau le plus important, à savoir 800 à 1 200 m³/ha, l'irrigation par aspersion exigeant environ 300 à 500 m³/ha. L'application par aspersion peut provoquer un compactage/croûtage de la surface à cause de la projection de gouttes sur la surface du sol. L'irrigation au goutte-à-goutte utilise de faibles volumes d'eau et est principalement employée pour les cultures à forte valeur ajoutée en raison de l'investissement élevé que suppose sa mise en œuvre.

La solution pour réduire le risque de ruissellement est de gérer correctement l'irrigation en tenant compte de la teneur en eau du

sol, de sa capacité de rétention d'eau, et des exigences des cultures par rapport à leur besoin en eau, de l'évapotranspiration et des prévisions météorologiques. L'irrigation par submersion reste la plus courante dans le sud de l'Europe. Elle délivre de grandes quantités d'eau et ne permet pas de contrôler facilement le volume d'eau apporté.

Ce qu'il faut faire/Comment faire

La réduction des risques de ruissellement la plus efficace est l'investissement dans des technologies d'irrigation moins gourmandes en eau et plus faciles à gérer (asperseurs, micro-asperseurs, irrigation au goutte-à-goutte).

29. Optimisation du moment et de la fréquence d'irrigation



Ce qu'il faut faire

La solution pour réduire le risque de ruissellement est de gérer correctement l'irrigation en tenant compte de la teneur en eau du sol, de sa capacité de rétention d'eau, et des exigences des cultures par rapport à leur besoin en eau, de l'évapotranspiration et des prévisions météorologiques.

Comment faire

Le plus important est d'estimer et gérer la quantité correcte d'eau dont a besoin la culture. Les principaux indicateurs sont la teneur en eau du sol, la tensiométrie de l'eau dans le sol et les éventuelles précipitations annoncées. Des outils d'aide à la décision sont disponibles pour la gestion de l'irrigation.

Si certains systèmes d'irrigation sont moins adaptés à une gestion fine des quantités à apporter (irrigation par submersion), l'irrigation par rigoles d'infiltration peut contribuer à économiser l'eau et à réduire le ruissellement. Cette technique peut également être utile pour favoriser l'infiltration de l'eau lors des précipitations.

Contraintes

Dans la plupart des zones irriguées, la quantité et la disponibilité de l'eau sont réglementées. Les recommandations dépendent donc de chaque situation locale.

Évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation

Dans les graphiques ci-dessous, les solutions proposées sont évaluées selon leur efficacité pour les différents types de ruissellement : par refus d'infiltration, par saturation et par écoulement concentré (voir la légende à la page 30).

Il est indiqué à quel niveau les mesures peuvent être pour l'essentiel appliquées : dans la parcelle (P) ou dans le bassin versant (BV).

1. Réduction de l'intensité du travail du sol



5. Gestion des passages de roues



2. Préparation d'un lit de semences grossier



6. Construction de digues intra-parcellaires suivant les courbes de niveau



3. Prévention du compactage de la surface du sol



7. Mise en œuvre du travail du sol suivant les courbes de niveau



4. Prévention du compactage du sous-sol



8. Optimisation de la rotation des cultures



9. Mise en place de bandes cultivées intra-parcellaires la culture en bandes (en travers de la pente)



10. Plantation de plantes de couverture annuelles



11. Mise en œuvre du double semis



12. Mise en place de cultures de couverture pérennes dans les parcelles



13. Agrandissement des tournières



14. Mise en place et entretien de zones tampons intra-parcellaires



15. Mise en place et entretien de zones tampons en bordure de parcelle



16. Mise en place et entretien de zones tampons rivulaires



17. Mise en place et entretien de zones tampons dans les talwegs



18. Mise en place et entretien de haies



19. Mise en place et entretien de bosquet



20. Aménagement des zones d'accès aux champs



21. Mise en place et entretien de fossés végétalisés



22. Mise en place et entretien de bassins de rétention/zones humides artificielles



23. Mise en place et entretien de digues en bordure de parcelle



24. Mise en place de dispositifs dispersifs



25. Optimisation de la période d'application des PPP



29. Optimisation de la période et de la fréquence d'irrigation



26. Optimisation de la période d'application des PPS



27. Choix des produits phytosanitaires



28. Choix de la technique d'irrigation



A

Arbre de décision

Arbre de décision permet de développer un raisonnement et une prise de décision rapide et structurée dans des situations complexes. Il tient compte de connaissances implicites et d'expertises et permet généralement d'aboutir un pourcentage important de décisions pertinentes (voir logigramme)

B

Bande tampon

Une bande tampon est une bande végétalisée non cultivée intercalée entre une culture et une ressource en eau afin de retenir et absorber le ruissellement / l'érosion.

BPA

Bonnes Pratiques Agricoles : dans le contexte de ce document, recommandations et outils visant à prévenir les transferts de PPP dans l'eau / les zones sensibles

Battance du sol

Compaction de la surface du sol, en particulier dans le cas des sols présentant une teneur en limon élevée. Les sols battants sont très sensibles au ruissellement et à l'érosion

Bassin versant

Un bassin-versant est une aire délimitée par des lignes de partage des eaux, à l'intérieur de laquelle toutes les pluies tombées alimentent un même exutoire : cours d'eau, lac, mer, océan, etc.

C

Culture de couverture ou plante de couverture

Culture pratiquée entre deux cultures principales, par exemple entre la récolte du précédent et la culture suivante. Le but de la culture de couverture est de protéger la structure du sol (réduction de l'effet splash des gouttes de pluie, effet d'ombrage). Les cultures de couverture sont des solutions efficaces pour réduire le transfert de nutriments / polluants solubles dans les eaux superficielles et souterraines.

D**Digue**

Une digue est un petit barrage destiné à réduire l'écoulement de l'eau et à maintenir celle-ci dans la mesure du possible à l'intérieur de la parcelle, et d'augmenter l'infiltration dans le sol.

E**Écoulement latéral ou écoulement hypodermique**

Transfert d'eau latéral et souterrain sur une couche de sol imperméable ou peu perméable ou sur un substrat géologique imperméable.

Épisode de pluie

Chute de pluie, de son début jusqu'à sa fin. Dans ce document, l'intensité (durée et volume) de l'épisode de pluie est un facteur important de production de ruissellement ou d'érosion.

Érosion

L'érosion l'arrachement et le transfert plus ou moins important de particules de sol par l'eau (ruissellement) ou le vent érosion éolienne.

Érosion en nappe

L'érosion en nappe correspond au décapage lent et superficiel de la surface du sol sur quelques mm de profondeur sur des pentes douces par une lame de ruissellement étalée de quelques mm d'épaisseur. . L'érosion en nappe passe souvent inaperçue parce que moins spectaculaire que l'érosion en rigole ou l'érosion en ravines, mais elle peut être responsable de pertes importantes de sols dans les parcelles cultivées ou non et il est aisé d'en voir les effets en bas de parcelle où les particules de sol se sont déposées : sédimentation.

I**Infiltration**

Pénétration gravitaire de l'eau dans le sol. Les caractéristiques du sol déterminent la quantité d'eau qui peut être retenue par le sol. On parle de capacité de rétention du sol et de capacité d'infiltration du sol.

L**Logigramme ou tableau de bord**

Le logigramme, issu d'arbres de décision, présente les paramètres clés, organisés de manière logique qui permettent à un utilisateur d'aboutir à un diagnostic ou de prendre des décisions pertinentes sans avoir à acquérir un certain niveau d'expertise (voir arbre de décision).

M**Masse d'eau**

Dans ce document ce terme désigne une « masse d'eau de surface » : cours d'eau, rivière, canal, fleuve, étang, (directive 2000/60/CE).

Mulch

Le mulch est constitué par l'accumulation de débris végétaux provenant des résidus de culture à la surface du sol ou incorporé dans les premiers cm du sol, en état de décomposition plus ou moins avancée. Le mulch réduit le ruissellement et facilite l'infiltration de l'eau dans le sol.

P**Passages ou traces de roue**

Les passages de roue correspondent aux zones non cultivées destinées à permettre la circulation du matériel agricole dans la parcelle agricole. Les passages de roue peuvent être des zones où les écoulements des eaux se concentrent et où le compactage du sol peut en outre accroître le risque de ruissellement / d'érosion.

Perméabilité du sol

La perméabilité du sol détermine la quantité d'eau susceptible de percoler dans une parcelle au cours d'une certaine période au travers une couche de sol (voir l'équation de Darcy).

Pesticides

Selon la réglementation européenne (directive 2009/128/CE), les pesticides recouvrent aussi bien les produits phytopharmaceutiques (définis dans le règlement 1107/2009CE) que les produits biocides (définis dans la directive 98/8/CE). Dans le présent document, ce terme désigne exclusivement les produits phytopharmaceutiques, ou « phytosanitaires » (PPP) selon la terminologie utilisée ici.

Pollutions diffuses

Les pollutions diffuses peuvent être définies comme des transferts diffus post application d'une parcelle agricole vers une ressource en eau de micropolluants. D'aucun ont tendance à considérer que toutes les contaminations des eaux sont d'origine diffuses alors que les pollutions ponctuelles lors de la préparation du pulvérisateur ou lors de son nettoyage au siège d'exploitation constituent une source de pollution importante. Un diagnostic des sources de contamination des eaux est toujours nécessaire pour proposer des solutions correctives.

Pollutions ponctuelles

Dans le contexte de ce document les pollutions ponctuelles sont des contaminations de l'eau ayant directement pour origine les activités ou les installations du corps de ferme liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. Les risques de pollution ponctuelle peuvent être maîtrisés par l'agriculteur grâce à de bonnes pratiques lors de la manipulation des PPP, à un matériel de pulvérisation performant et des aménagements de cour de ferme adaptés.

PPP

Produit phytosanitaire : selon la réglementation européenne (règlement 1107/2009/CE), les PPP sont des produits dans la composition desquels entrent des substances actives, des phytoprotecteurs ou des adjuvants, et destinés à : (a) protéger les végétaux ou produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou prévenir l'action de ces organismes ; (b) exercer une influence sur la croissance des végétaux (régulateurs de croissance) autrement qu'au moyen d'éléments nutritifs ; (c) assurer la conservation des produits végétaux ; (d) détruire les végétaux ou parties de végétaux indésirables ; (e) freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux.

Pratiques culturales

Pratiques agricoles déployées pour cultiver dans une zone donnée. Ce sont souvent les conséquences des pratiques utilisées pour la culture dominante de la région, motivée par des conditions économiques, pédo-climatiques et agronomiques.

Ravines (érosion)

Les ravines sont des sillons plus ou moins importants creusés par l'eau de ruissellement qui arrache les particules de sols lors d'événements pluvieux violents. L'eau des ruissellements ultérieurs qui se concentre dans les ravines va accentuer l'arrachement de sédiments et agrandir la ravine qui peut, dans certains cas extrêmes, prendre la forme d'un fossé intra-parcellaire de plus ou moins grande taille.



Réseaux de drainage

Les réseaux de drainage sont des aménagements anthropiques destinés à évacuer les eaux excédentaires des parcelles hydromorphes. Cela permet de cultiver ces parcelles qui sans réseaux de drainage resteraient souvent des prairies humides ou destinées seulement à des cultures de printemps. Les eaux de drainage seront évacuées dans des fossés, des zones humides, voire des cours d'eau.

Rigoles (érosion)

Les rigoles sont un stade intermédiaire entre l'érosion en ravines et l'érosion en nappe. Elles sont la conséquence d'une concentration de l'érosion en nappe dans des voies d'écoulement concentré éphémères et de faibles dimensions qui peuvent creuser des rigoles d'une profondeur atteignant jusqu'à 30 cm.

Rotation des cultures

La rotation des cultures ou rotation culturale est la succession de cultures différentes dans le temps en cycles réguliers. Une rotation des cultures longue a de nombreux effets agronomiques positifs, tels l'amélioration des écoulements de l'eau ou une réduction des pressions exercées par les ravageurs et les mauvaises herbes.

Ruissellement

Le ruissellement d'eau correspond à un écoulement d'eau à la surface du sol lorsque tout ou partie de l'eau de pluie, d'irrigation ou de fonte des neiges ne peut s'infiltrer dans le sol (1) ruissellement par refus d'infiltration ; ou si la capacité d'infiltration d'eau n'est plus possible car le sol est saturé en eau : (2) ruissellement par saturation. Les pratiques culturales et notamment le travail du sol et l'aménagement des parcelles (réseaux de drainage) ont une influence sur ces deux types de ruissellement : battance du sol et préparation trop fine du lit de semence, création d'une semelle de labour qui limite l'infiltration de l'eau dans le sol.

Ruissellement concentré

Le ruissellement concentré se produit lorsque les eaux de surface s'accumulent dans une dépression ou talweg (et/ou rigoles, ravines) à l'intérieur de la parcelle. En fonction des conditions pédo-climatiques, la concentration du ruissellement peut être le point de départ d'importants problèmes d'érosion

Ruissellement/écoulement en nappe

Le ruissellement en nappe se produit lorsque l'eau s'écoule vers l'aval de manière régulière sans se concentrer sur une épaisseur de l'ordre du mm.

S

Structure de rétention

Les structures de rétention sont des structures naturelles ou des aménagements artificiels capables de retenir les eaux de ruissellement et les sédiments dans le bassin versant.

T

Substrat

Par substrat il faut comprendre substrat géologique constitué d'une roche mère dont est issu le sol par altération de cette dernière.

Talweg

Un talweg est la ligne qui relie les points les plus bas d'une parcelle ou d'un bassin versant, ou, plus généralement les points les plus bas de différentes pentes convergeant pour former une vallée. Ce mot est dérivé des termes allemands Thal (« vallée »), et Weg (« voie »).

Texture du sol

La texture du sol détermine la proportion de particules de différentes tailles contenues dans un sol (sable, limon, argile).

Tournière

Une tournière est une bande de terres en bordure de champ pour manœuvrer avec le matériel agricole. Le sens du travail du sol et de semis des cultures est souvent perpendiculaire à la tournière quand la parcelle est rectangulaire.

Travail du sol

Il s'agit d'un terme général désignant l'utilisation des toutes les techniques de travail du sol, du déchaumage après récolte à la préparation du lit de semence d'une culture. Traditionnellement, le travail du sol est lié au labour du sol mais les TCSL (Techniques Culturelles Sans Labour) présentent l'avantage de moins perturber le sol, d'accumuler la matière organique en surface ce qui a pour effet d'augmenter la capacité d'infiltration de l'eau d'un sol.

Zone humide - voir structure de rétention.

Zone tampon

Une zone tampon est une zone cultivée ou non destinée à retenir et absorber le ruissellement et l'érosion susceptibles de polluer des ressource en eau par transfert de PPP, de nutriments et de matières en suspension. La zone tampon, en éloignant le pulvérisateur de la ressource en eau limite également la contamination des eaux par dérive de pulvérisation des PPP.

Z

Cette brochure sur les BPA est basée sur l'expérience personnelle de nos partenaires et de nos experts, qui ont contribué à ce projet, mais également sur une série de recherches menées au fil des ans en divers lieux. La liste des références renvoie aux publications qui pourraient être utiles à de nouvelles études approfondies sur le ruissellement et l'érosion.

Nous remercions nos partenaires du travail fourni à titre de soutien technique :

Arvalis Institut du végétal (Boigneville France) pour le partage d'expériences fondé sur ses outils de conseil Aquavallée et Aquaplaine, et l'Irstea (Lyon, France) pour son expertise spécialisée en matière d'évaluation des zones tampons végétalisées, leur positionnement et leur dimensionnement.

Nous sommes reconnaissants de toutes leurs contributions à nos partenaires et à nos experts dans le domaine du ruissellement qui ont adapté les BPA à leurs situations particulières et aidé à traduire les recherches en applications pratiques.

AGNEW, L.J. ; LYON, S. ; MARCHANT, P.G. ET AL. :

Identifying hydrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. *Journal of Environmental Management*, 2006 (78), 63-76.

ANBUMOZHI, V. ; RADHAKRISHNAN, J. ; YAMAGI, E. :

Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering*, 2005 (24), 517-523.

ANGIER, J.T. ; MCCARTY, G.W. ; RICE, C.P. ; BIALEK, K. :

Influence of riparian wetland on nitrate and herbicides exported from an agricultural field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002 (50), 4424-4429.

BAKER, J.L. ; MICKELSON, S.K. :

Application technology and best management practices for minimizing herbicide runoff. *Weed Technology*, 1994 (8), 862-869.

BAKER, M.E. ; WELLER, D.E. ; JORDAN, T.E. :

Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers. *Landscape Ecology*, 2006 (21), 1327-1345.

BANASIK, K. ; HEJDUK, L. :

Long-term changes in runoff from a small agricultural catchment. *Soil & Water Res.*, 2012 (7), 64-72.

BARLING, R.D. ; MOORE, I.D. :

Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review. *Environmental Management*, 1994 (18), 543-558.

BENTRUP, G. 2008 :

Conservation Buffers - Design Guidelines for Buffers, Corridors, and Greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC : Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 110 p. En ligne : http://www.unl.edu/nac/bufferguidelines/docs/conservation_buffers.pdf

BERRY, J.K. ; DETGADO, J.A. ; KHOSLA, R. ; PIERCE F.J. :

Precision conservation for environmental sustainability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 58(6), 332-339.

BLANCHARD, PE, et R.N LEARCH (2000) :

Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: interactions of chemistry, hydrology, and land-use. *Environ. Sci. Technol.* 34, 3315-3322.

BOORMAN, DB, JM Hollis et A Lilly (1995) :

Hydrology of Soil Types: A Hydrologically-Based Classification of the Soils of the United Kingdom. Report n° 126, Institute of Hydrology, Royaume-Uni.

BOYD, P.M. ; BAKER, J.L. ; MICKELSON, S.K. ; AHMED, S.I. : Pesticide transport with surface runoff and subsurface drainage through a vegetative filter strip. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2003 (46), 675-684.

BROWN, CD, et W van BEINUM (2009) :

Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. Environmental Pollution. 157, 3314-3324.

CHEN, W, P. HERTL, S. CHEN et D. TIERNEY (2002) :

A pesticide surface water mobility index and its relationship with concentrations in agricultural drainage watersheds. Environ. Tox and Chem. 21, 298-308.

DABNEY, S.M. ; MOORE, M.T. ; LOCKE, M.A. :

Integrated management of in-field, edge-of-field, and after-field buffers. Journal of American Water Resources Association. 2006 (42), 15-24.

DABNEY, S.M. ; MOORE, M.T. ; LOCKE, M.A. :

Integrated management of in-field, edge-of-field, and after-field buffers. Journal of American Water Resources Association, 2006(42), 15-24.

DANIELS, R.B. ; GILLIAM, J.W. :

Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. Soil Science Society of America Journal, 1996 (60), 246-251.

DELTA F.A.R.M. & PESTICIDE ENVIRONMENTAL STEWARDSHIP (PES) :

The Value of Buffers For Pesticide Stewardship and Much More. En ligne : <http://pesticidestewardship.org/Documents/Value of Buffers.pdf>

DILLAHA, T.A. ; RENEAU, R.B. ; MOSTAGHIMI, S. ; LEE, D. :

Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989 (32), 513-519.

DOSSEY, M.G.G. ; EISENHAUER, D.E. ; HELMERS, M.J. :

Establishing conservation buffers using precision information. Journal of Soil and Water Conservation, 2005 (60), 349-354.

DOSSEY, M.G.G. ; HOAGLAND, K.D. ; BRANDLE, J.R. :

Change in filter strip performance over ten years. Journal of Soil and Water Conservation, 2007 (62), 21-32.

DYSON, JS, WA JURY et GL BUTTERS (1990) The Prediction and Interpretation of Chemical Movement Through Porous Media: The Transfer Function Approach. Report EN-6853 for the Electric Power Research Institute, Californie, États-Unis

EAGLESON, PS (1978) :

Climate, soil and vegetation. 5: A derived distribution of storm surface runoff. Water Resources Research 14, 741-748.

FAWCETT, R.S. ; CHRISTENSEN B.R. ; TIERNEY, D.P. :

The impact of conservation tillage on pesticide runoff into surface water: A review and analysis. Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 49(2), 126-135.

FIENER, P., K. AUERSWALD :

Effectiveness of grassed waterways in reducing runoff and sediment delivery from agricultural watersheds. J. Environ. Qual., 2003 (32), 927-936.

FLANAGAN, D.C. ; FOSTER, G.R. ; NEIBLING, W.H. ; BURT, J.P. :

Simplified equations for filter strip design. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989 (32), 2001-2007.

GHIDEY, F. ; BAFFAUT, C. ; LERCH, R.N. ; KITCHEN, N.R. ; SADLER, E.J. ; SUDDUTH, K.A. :

Herbicide transport to surface runoff from a claypan soil: Scaling from plots to fields. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 65(3), 168-179.

GUSTAFSON, D.I. : Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. Environmental Toxicology and Chemistry, 1989 (8), 339-357

HAWKINS, JH (1982) :

Interpretations of source area variability in rainfall-runoff relations. In: Rainfall-Runoff Relationship. Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modelling. pp.303-342. Mississippi State University, Starkville, MS.

HAYCOCK, N.E. ; MUSCUTT, A.D. :

Landscape management strategies for the control of diffuse pollution. Landscape and Urban Planning, 1995 (31), 313- 321.

HAYES, J.C. ; BAYFIELD, B.J. ; BARNHISEL, R.I. :

Performance of grass filters under laboratory and field conditions. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1984 (27), 1321-1331.

KERLE, E.A. ; JENKINS, J.J. ; VOGUE, P.A. :

Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Extension publication EM8561, Oregon State University, 2007, 8 p.

KOVÂ , P. ; VASSOVÂ, D. ; HRABALÍKOVÂ, M. :

Mitigation of surface runoff and erosion impacts on catchment by stone hedgerows. Soil & Water Res., 2011 (6), 153- 164.

KRUTZ, L.J. ; SENSEMAN, S.A. ; ZABLOTOWICZ, R.M. ;

MATOCHA, M.A. :

Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. Weed Science, 2005 (53), 353-367.

LACAS, J.G. ; VOLTZ, M. ; GOUY, V. ET AL. :

Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. Agronomy for Sustainable Development, 2005 (25), 253-266.

LEONARD, RA (1990) :

Movement of pesticides into surface waters. Chapitre 9 de Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modelling. Soil Science Society of America Book Series 2.

LEU, C., M.K. SCHNEIDER, C. STAMM :

Estimating Catchment Vulnerability to Diffuse Herbicide Losses from Hydrograph Statistics. J. Environ. Qual., 2010 (39), 1441-1450.

LOWRANCE, R., S. DABNEY, R. SCHULTZ. :

Improving water and soil quality with conservation buffers. Soil & Water Res., 2002 (57), 36-43.

LOWRANCE, R. ; SHERIDAN, J.M. :

Surface runoff water quality in a managed three zone riparian buffer. Journal of Environmental Quality, 2005 (34), 1851-1859.

MAAS, R.P. ; SMOLEN, M.D. DRESSING, S.A. :

Selecting critical areas for nonpoint source pollution control. Journal of Soil and Water Conservation, 1985 (40), 68-71.

MANDER, Û. ; KUUSEMETS, V. ; LÔHUMS, K. ; MAURING, T. :

Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. Ecological Engineering, 1997 (8), 299-324.

MCMAHON, T.A. ; FINLAYSON, B. :

Global Runoff - Continental Comparisons of Annual Flows and Peak Discharges. CATENA VERLAG, Reiskirchen, 1992, 166 p.

MEALS, D.W., S.A. DRESSING, T.E. DAVENPORT :

Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices - A Review. J. Environ. Qual., 2010 (39), 85-96.

NORRIS, V. :

The use of buffer zones to protect water quality - a review. Water Resources Management, 1993 (7), 257-272.

OTTO, S. ; CARDINALI, A. ; MAROTTA, E. ; PARADISI, C. ; ZANIN, G. :

Effect of vegetative filter strips on herbicide runoff under various types of rainfall. *Chemosphere*, 2012 (88), Issue 1, pp. 113-119

PATTY, L. ; RÉAL, B. ; GRIL, J. :

The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water. *Pesticide Science*, 1997 (49), 243-251.

PHILLIPS, J.D. :

Evaluation of the factors determining the effectiveness of water quality buffer zones. *Journal of Hydrology*, 1989 (107), 133-145.

POLYAKOV, V. ; FARES, A. ; RYDER, M.H. :

Precision riparian buffers for the control of nonpoint source pollutant loading into surface water: a review. *Environmental Review*, 2005 (13), 129-144.

POPOV, V.H. ; CORNISH, P.S. ; SUN, H. :

Vegetated biofilters: the relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural runoff. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006(114), 351-359.

PROKOPY, L.S. ; FLORESS, K. ; KLOTTHOR-WEINKAUF, D. ; BAUMGART-GETZ, A. :

Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 63(5), 300-311.

QUI, Z. ; WALTER, M.T. ; HALL, C. :

Managing variable source pollution in agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007 (62), 115-122.

RABOTYAGOV, S.S., JHA, M.K. ; CAMPBELL, T. :

Impact of crop rotations on optimal selection of conservation practices for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(6), 369-380.

RANKINS, A. ; JR. ; SHAW, D.R. ; BOYETTE, M. :

Perennial grass filter strips for reducing herbicide losses in runoff. *Weed Science*, 2001 (49), 647-651.

RANKINS, A. ; JR. ; SHAW, D.R. ; DOUGLAS, J. :

Response of perennial grasses potentially used as filter strips to selected postemergence herbicides. *Weed Technology*, 2005 (19), 73-77.

REICHENBERGER, S. ; BACH, M. ; SKITSCHAK, A. ; FRE-DE, H. :

Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment*, 2007 (384), 1-35.

ROBINSON, C.A. ; GHAFARZADEH, M. ; CRUSE, R.M. :

Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996 (51), 227-230.

ROBINSON, M, et DW RYCROFT (1999) :

The impact of drainage on streamflow. Chapitre 23 de Skaggs, W. et J van Schilfgaarde (dir. de pub.), *Agricultural Drainage. Agronomy Monograph 38. Soil Soc. Sci. Am, Madison, Wisconsin, États-Unis*, 753-786.

ROSE, CW (2004) :

An Introduction to the Environmental Physics of Soil, Water and Watersheds, Cambridge University Press, 441 pages.

SCHMITT, T.J. ; DOSSKEY, M.G.G. ; HOAGLAND, K.D. :

Filter strip performance and processes for different vegetation widths and contaminants. *Journal of Environmental Quality*, 1999 (28), 1479-1489.

SCHMITT, T.J. ; DOSSKEY, M.G.G. ; HOAGLAND, K.D. :

Filter strip performance and processes for different vegetation widths and contaminants. *Journal of Environmental Quality*, 1999 (28), 1479-1489.

SCHULTZ, R.C. ; COLLETTI, J.P. ; ISENHART, T.M. ET AL. :

Design and placement of a multi-species riparian buffer strip system. *Agroforestry Systems*, 1995 (29), 201-226.

SHANLEY, J.B. ; CHALMERS, A. :

The effect of frozen soil on snowmelt runoff at Sleepers River, Vermont. Hydrological Processes, 1999 (13), 1843-1857.

SHIPITALO, M.J. ; V. JAMES ; V. BONTA, E.A. DAYTON, L.B. OWENS :

Impact of Grassed Waterways and Compost Filter Socks on the Quality of Surface Runoff from Corn Fields. J. Environ. Qual., 2010(39), 1009-1018.

SHIPITALO, M.J., ET L.B. OWENS :

Tillage system, application rate, and extreme event effects on herbicide losses in surface runoff. J. Environ. Qual., 2006 (35), 2186-2194.

SKAGGS, R.W. ; FAUSEY, N.R. ; EVANS, R.O. :

Drainage water management. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 67(6), 167-172.

STROCK, J.S. ; KLEINMAN, P.J.A. ; KING, K.W. ; DELGA- DO, J.A. :

Drainage water management for water quality protection. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 65(6), 131-136.

TOMER, M.D. ; JAMES, D.E. ; ISENHART, T.M. :

Optimizing the placement of riparian practices in a watershed using terrain analysis. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 58(4), 198-206.

TOMER, M.D. ; JAMES, D.E. ; ISENHART, T.M. :

Optimizing the placement of riparian practices in a watershed using terrain analysis. Journal of Soil and Water Conservation, 2003 (58), 198-206.

UNIVERSITY OF NEBRASKA-LINCOLN :

Targeting Watershed Management Practices for Water Quality Protection: a Heartland Regional Water Coordination Publication, RP195. En ligne : <http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/rp195/build/rp195.pdf>

USDA-NRCS :

Conservation Buffers to Reduce Pesticide Losses. National Water and Climate Center & Environmental Protection Agency

Office of Pesticide Programs. En ligne : <http://www.in.nrcs.usda.gov/technical/agronomy/newconbuf.pdf>

USEPA,2005 :

Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters. EPA 841-B-05-005. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. WAGNER, T, M Sivapalan, P TROCH et R WOODS (2007). Catchment classification and hydrologie similarity. Geography Compass. 1, 901-931.

WARD, RC, et M ROBINSON (2000) :

Principles of Hydrology. McGraw-Hill, 450 pages

WAUCHOPE R.D. ; GRANEY, R.L. ; CRYER, S. ; EADS- FORTH, C. ; KLEINS, A.W. ; RACKE, K.D. :

Pesticide Runoff - Methods and Interpretation of Field Studies. Pure & Appl. Chem., 1995 (67), n° 12, pp. 2089-2108.

WISSMAR, R.C. ; BEER, W.N. ; TIMM II, R.K. :

Spatially explicit estimates of erosion-risk indices and variable riparian buffer widths in watersheds. Aquatic Sciences, 2004 (66), 446-455.

YANG, W. ; WEERSINK, A. :

Cost-effective targeting of riparian buffers. Canadian Journal of Agricultural Economics, 2004 (52), 17-34.

YU, B (1998) :

Theoretical justification of the SCS method for runoff estimation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 124, 306-310.

YU, B, U Cakurs et CW ROSE (1998) :

An assessment of methods for estimating runoff rates at the plot scale. Transactions of the Am Soc Ag Eng 41, 653-661.

ZHANG, X., L. XINGMEI, M. ZHANG, R.A. DAHLGREN, M. EITZEL :

A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. J. Environ. Qual., 2010 (39), 76-8



European Crop Protection Association
E.C.P.A.
6 Avenue E. Van Nieuwenhuyse,
B-1160 Bruxelles, Belgique.
tél : +32 2 663 15 50
fax : +32 2 663 15 60
ecpa@ecpa.eu



ARVALIS – Institut du végétal
3, rue Joseph et Marie Hackin
75116 PARIS
Tel : +33 1 44 31 10 00
www.arvalisinstitutduvegetal.fr