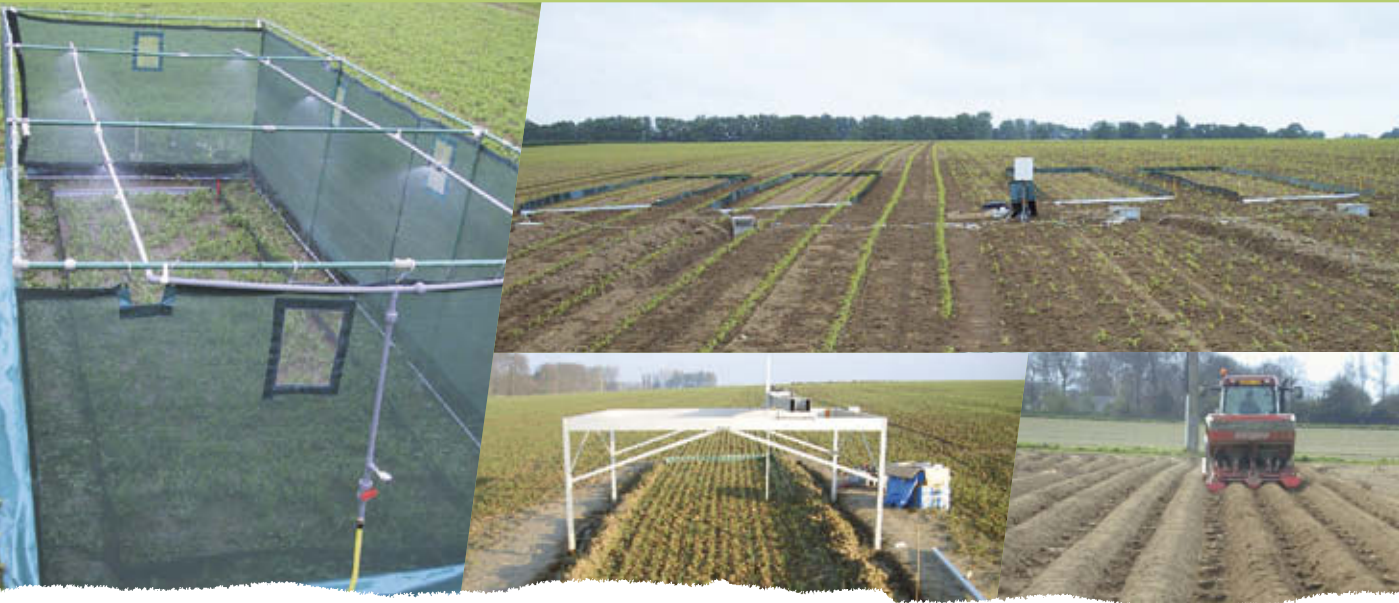
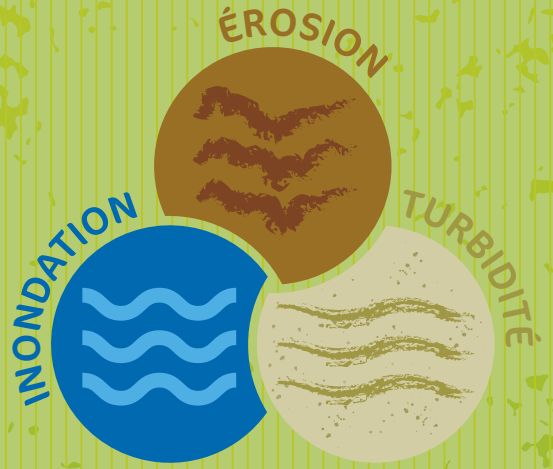


Expérimentations
sur les pratiques
culturales
2001-2010

Synthèse des résultats de ruissellement et d'érosion



Maîtrise du **ruissellement et de l'érosion des sols**
en Haute-Normandie



Réalisation : Association Régionale pour l'Etude et l'Amélioration des Sols (AREAS)

2 avenue Foch - 76460 ST-VALERY-EN-CAUX - Tél. 02 35 97 25 12 - Fax 02 35 97 25 73 - contact@areas.asso.fr - www.areas.asso.fr

Crédit photo : AREAS, ARPTHN, CA 76, INRA

Création graphique et maquette : Imprimerie Gabel 02 32 82 39 39

Imprimé sur du papier 100% recyclé avec des encres végétales par l'imprimerie Gabel



Août 2012 - Reproduction soumise à autorisation.

L'ensemble des expérimentations a été conduit pendant 10 ans, par les membres du groupe de travail « Maîtrise du ruissellement par les pratiques culturales » constitué de :

- ▶ Nicolas COUFOURIER et Véronique LECOMTE - Chambre d'agriculture de la Seine-Maritime (CA 76),
- ▶ Yann PIVAIN - Chambre d'agriculture de l'Eure (CA 27),
- ▶ Jean-Baptiste RICHEL, Jean-François OUVRY et Mélanie LHERITEAU - Association Régionale pour l'Etude et l'Amélioration des Sols (AREAS),
- ▶ Philippe MARTIN et Cyrille BARRIER - INRA et AgroParisTech (UMR SAD APT).
- ▶ Denis WITKOWSKI - Institut Technique de la Betterave (ITB),
- ▶ Laetitia SAINT-OMER et Charles CORRUBLE - Association Régionale de la Pomme de Terre de Haute-Normandie (ARPTHN),
- ▶ Michel LUCE - Chambre d'agriculture de la Somme (Association SOMEA).

Toutes ces acquisitions de références ont pu être réalisées grâce aux soutiens financiers de :



La rédaction de ce résumé synthétique a été assurée par :

Jean-François OUVRY (AREAS), Nicolas COUFOURIER (CA 76), Jean-Baptiste RICHEL (AREAS), Mélanie LHERITEAU (AREAS), Yann PIVAIN (CA 27) et Philippe MARTIN (INRA/AgroParisTech UMR SAD APT).

Il peut être cité avec la référence suivante :

Ouvry J.-F., Coufourier N., Richet J.-B., Lhérieau M., Pivain Y., Martin P., Lecomte V., Barrier C., Witkowski D., Saint-Omer L., Corruble C., Luce M. (2012). Maîtrise du ruissellement et de l'érosion des sols en Haute-Normandie. Expérimentations sur les pratiques culturales 2001-2010. Synthèse des résultats de ruissellement et d'érosion. Groupe Maîtrise du ruissellement par les pratiques culturales. 36 p.

Cette synthèse et le rapport complet de toutes les expérimentations sont disponibles sur les sites des différents auteurs :

<http://www.areas.asso.fr/>

<http://www.seine-maritime.chambagri.fr/>

<http://www.agri-eure.com/>

http://www.rdrisques.org/projets/digetcob/bib/techniques_ruis/groupe_ruiss/

Sommaire

CHAPITRE 1 : Enjeux - Objectifs - Méthodes et outils complémentaires	p. 06
1.1. LA PROBLEMATIQUE ET LES ENJEUX	p. 06
1.2. OBJECTIF DE CE DOCUMENT	p. 06
1.3. LES AXES AGRONOMIQUES DE REDUCTION DU RUISSELLEMENT DANS LES SYSTEMES DE CULTURE	p. 06
1.4. LES METHODES DE MESURE MOBILISEES	p. 07
1.4.1. Les dispositifs de mesure du ruissellement sous pluie naturelle	p. 07
1.4.2. Les dispositifs de mesure du ruissellement sous pluie artificielle	p. 08
1.4.3. Données complémentaires : relevés de terrain	p. 08
1.5. DIFFUSION DES RESULTATS ET OUTILS COMPLEMENTAIRES	p. 08
CHAPITRE 2 : Résultats et Enseignements	p. 10
2.1. INTERCULTURE	p. 12
2.1.1. Résultats sur le ruissellement	p. 12
2.1.2. Résultats sur l'érosion diffuse	p. 13
2.1.3. Résultats sur le transfert de glyphosate en cas de désherbage chimique	p. 14
2.1.4. Enseignements	p. 14
2.2. BLE ET CEREALES D'AUTOMNE	p. 15
2.2.1. Résultats sur le ruissellement en automne-hiver	p. 15
→ 2.2.1.1. Effet du degré d'affinement et des tassements associés aux passages et aux outils	p. 15
→ 2.2.1.2. Effet du précédent pomme de terre en sol tamisé ou non	p. 16
→ 2.2.1.3. Effet du précédent pomme de terre et du type de travail profond	p. 17
→ 2.2.1.4. Essai de semis de blé associé à un couvert	p. 17
2.2.2. Résultats sur le ruissellement au printemps-été : écroûtage de sortie d'hiver	p. 18
2.2.3. Enseignements	p. 18
2.3. MAÏS	p. 19
2.3.1. Les techniques de semis	p. 19
→ 2.3.1.1. Le semis sur labour non affiné	p. 19
→ 2.3.1.2. Le semis « en réparti »	p. 20
→ 2.3.1.3. Le semis direct sous mulch	p. 20
→ 2.3.1.4. Le semis sur billon : Strip till	p. 21
→ 2.3.1.5. Recherches en cours sur la création de micro-dépressions dans l'inter-rang	p. 22
2.3.2. Le binage	p. 22
2.3.3. Enseignements	p. 23
2.4. BETTERAVE SUCRIERE	p. 23
2.4.1. Le binage	p. 23
2.4.2. Le semis direct sous mulch	p. 24
2.5. POMME DE TERRE	p. 25
2.5.1. Les techniques d'implantation : buttage conventionnel ou tamisage	p. 25
2.5.2. Interventions sur l'entre-butte	p. 26
→ 2.5.2.1. Création de micro-barrages	p. 27
→ 2.5.2.2. Autres techniques	p. 28
2.5.3. Enseignements	p. 28
2.6. TECHNIQUES CULTURALES SANS LABOUR PERMANENT	p. 28
2.6.1. Effet des TCSL sur les ruissellements en hiver sous céréales	p. 29
2.6.2. Effet des TCSL sur les ruissellements au printemps : maïs	p. 29
2.6.3. Effet des TCSL sur les ruissellements au printemps : betteraves	p. 31
2.6.4. Effets des TCSL sur la structure du sol et intérêt du décompactage en TCSL	p. 31
2.6.5. Enseignements	p. 31
2.7. DISPOSITIFS ENHERBES	p. 32
2.7.1. Infiltration des dispositifs enherbés	p. 32
2.7.2. Sédimentation et dépollution par les dispositifs enherbés	p. 33
2.7.3. Enseignements	p. 33
CHAPITRE 3 : Conclusion	p. 34

Table des illustrations

Figure 1	p. 12	Figure 17	p. 26
Synthèse de trois années de mesures du ruissellement en interculture : valeurs cumulées du 1 ^{er} décembre au 31 janvier (Source : P. MARTIN, INRA et Chambre d'agriculture 76)		Evolution des coefficients de ruissellement des 24 pluies les plus fortes sur parcelles de pomme de terre conduites en technique conventionnelle ou tamisée (Source : ARPTHN)	
Figure 2	p. 13	Figure 18	p. 26
Perte de terre par érosion diffuse pendant une interculture 2004-2005 avec 198 mm de pluie cumulée sur la période de mesure (Source : Chambre d'agriculture 76)		Evolution des hauteurs de lames ruisselées en fonction des hauteurs de pluie, sur parcelles de pomme de terre conduites en technique conventionnelle ou tamisée, campagne 2004 (Source : ARPTHN)	
Figure 3	p. 14	Figure 19	p. 27
Cumul des exportations de glyphosate et d'AMPA au cours des événements ruisselants (cumul des précipitations sur la période de mesures = 198 mm) (Source : Chambre d'agriculture 76)		Schéma d'une coupe parallèle aux buttes au niveau de l'entre-butte (Source : AREAS)	
Figure 4	p. 16	Figure 20	p. 27
Comparaison des ruissellements sur blé pour 3 combinaisons « tracteur - combiné de semis », campagne 2006-2007, Normanville (Source : Chambre d'agriculture 76)		Lame ruisselée en fonction de la pluie cumulée sous une pluie artificielle de 52 à 73 mm/h, essai de 2007 (Source : AREAS)	
Figure 5	p. 16	Figure 21	p. 29
Exemple de résultats types pour des ruissellements sur blé après pomme de terre tamisée ou non, Ambrumesnil (Source : ARPTHN)		Lame ruisselée cumulée en TCSL et labour sous blé, maïs, betterave et lin (Source : Chambre d'agriculture 76)	
Figure 6	p. 17	Figure 22	p. 30
Exemple d'impact sur les ruissellements hivernaux du non labour occasionnel sur blé après pomme de terre tamisée, La Gaillarde (Source : ARPTHN)		Comparaison des lames ruisselées cumulées en TCSL et labour affiné ou motteux sous céréales (Source : Chambre d'agriculture 76)	
Figure 7	p. 17	Figure 23	p. 30
Exemple d'impact sur les ruissellements du décompactage sur blé après pomme de terre tamisée, La Gaillarde (Source : ARPTHN)		Evolution des lames ruisselées cumulées sous 2 pluies simulées successives avec une intensité de 30 à 34 mm/h sur maïs conduit en TCSL et en labour en 2006 (Source : AREAS)	
Figure 8	p. 18	Figure 24 A	p. 32
Exemple de l'effet sur les ruissellements totaux de l'écroûtage du blé en sortie d'hiver, Foucart (Source : Chambre d'agriculture 76)		Ruissellements cumulés pour la campagne 1996-97 à l'aval des placettes de 54 m de blé sans bande enherbée (BH0) ou avec une bande enherbée de 6 m (BH6) hors périodes d'enregistrements défectueux (D'après V. LECOMTE, 1999)	
Figure 9	p. 19	Figure 24 B	p. 33
Effet d'un sol motteux sans trace de roues sur les ruissellements totaux sous maïs, Yvetot (Source : Chambre d'agriculture 76)		Ruissellements cumulés pour la campagne 1997-98 à l'aval des placettes de 54 m de blé sans bande enherbée (BH0) ou avec une bande enherbée de 6 m (BH6) hors périodes d'enregistrements défectueux (D'après V. LECOMTE, 1999)	
Figure 10	p. 20		
Effet d'un semis « en réparti » sur les ruissellements totaux sous maïs (Source : Chambre d'agriculture 76)			
Figure 11	p. 21		
Effet du semis direct de maïs sous couvert sur les ruissellements totaux, Gueutteville (Source : Chambre d'agriculture 76)			
Figure 12	p. 21		
Effet du semis de maïs avec un strip till sur les ruissellements totaux (Source : Chambre d'agriculture 76)			
Figure 13	p. 22		
Comparaison des ruissellements sur maïs biné et non biné (Source : AREAS)			
Figure 14	p. 23		
Effet du binage des betteraves sur les ruissellements totaux à Grainville (Source : Chambre d'agriculture 27)			
Figure 15	p. 24		
Effet des différents modes d'implantation de la betterave sucrière sur le ruissellement cumulé (en mm) du 1 ^{er} au 24 juin 2003 (Source : ITB)			
Figure 16	p. 25		
Exemple de variabilité du comportement des parcelles de pomme de terre conventionnelles (non tamisées sans roues) et des parcelles tamisées, vis-à-vis du ruissellement (Source : ARPTHN)			

Liste des tableaux

Tableau 1	p. 11
Principaux résultats d'efficacité des pratiques culturales sur la réduction des ruissellements	
Tableau 2	p. 13
Résultats d'infiltrabilité en simulation de pluie sur chantiers de récolte et culture intermédiaire (Source : AREAS)	
Tableau 3	p. 14
Comparaison de l'efficacité des différentes catégories de techniques selon la durée de l'interculture	
Tableau 4	p. 22
Résultats de ruissellement en simulation de pluie sur maïs biné (Source : AREAS)	
Tableau 5	p. 25
Lame ruisselée en mm selon les 2 modalités sur 3 années (Source : ARPTHN)	
Tableau 6	p. 31
Comparaison des coefficients de ruissellement sur maïs en labour et en TCSL (Source : AREAS)	

CHAPITRE 1

Enjeux - Objectifs - Méthodes et outils complémentaires

1.1. LA PROBLEMATIQUE ET LES ENJEUX

Dès les années 1980, l'excès de ruissellement érosif fait apparaître des problèmes graves sur l'ensemble des territoires du nord de la France, notamment de la Haute-Normandie, de la Picardie et du Nord-Pas-de-Calais. Actuellement, ces régions font partie des cinq premières régions françaises en terme de nombre de coulées de boue par 100 km². Par ailleurs, ces ruissellements peuvent véhiculer des éléments indésirables dans les eaux comme des bactéries, des produits phytosanitaires et des matières en suspension (MES) qui perturbent gravement la distribution d'eau potable et les rivières à certaines époques.

Tout ceci est le résultat d'une évolution à la fois récente et rapide des pratiques de chacun. Durant cette période, les aspects environnementaux ont pu être négligés notamment par manque de références clairement établies sur le sujet.

Depuis 2000, les territoires s'organisent, et une véritable politique s'est mise en place avec la volonté de progresser dans les mesures préventives en association avec les solutions curatives. Parmi ces mesures préventives, la plus efficace est la préservation de l'infiltration sur l'ensemble du territoire tant urbain qu'agricole. Tous les acteurs du territoire sont donc individuellement concernés.

Sur le plan agricole, le travail de maîtrise des ruissellements a nécessité l'acquisition de références sur les pratiques culturales. **Aussi, l'objectif de ce groupe de travail scientifique fut de définir les meilleures pratiques permettant de préserver une infiltration dans les sols et de limiter la naissance des ruissellements, sans modifier les types de production, ni alourdir les charges d'exploitation.**

1.2. OBJECTIF DE CE DOCUMENT

Ce document résume en quelques pages les résultats condensés de plus de 10 années d'expérimentation aux champs. Il est exclusivement orienté sur la présentation des données caractéristiques des ruissellements et de l'érosion en région de grandes cultures sur limons battants. Les résultats complémentaires sur les aspects de systèmes de culture, d'agronomie, de désherbage et d'économie, sont fournis dans le rapport complet, et surtout dans les fiches de chaque essai disponibles sur les sites des différents auteurs (voir p. 3).

1.3. LES AXES AGRONOMIQUES DE REDUCTION DU RUISSellement DANS LES SYSTEMES DE CULTURE

Ces meilleures pratiques font partie intégrante de systèmes de culture limitant le ruissellement. Par système de culture, on entend la succession des cultures et les techniques culturales mises en œuvre sur chacune d'entre elles. La prise en compte des successions de cultures implique notamment de s'intéresser aux intercultures.

Sur une succession de cultures, on cherche à intervenir à tous les niveaux et par tous les moyens techniques « raisonnables ». Le but est d'assurer une infiltration et un stockage d'eau maximum à la surface du sol tout au long de cette succession.

- ▶ L'infiltration est accrue par toute opération fragmentant la croûte de battance que ce soit de façon mécanique (travail du sol) ou biologique (activité de la macrofaune du sol ou des racines des peuplements végétaux). En l'absence de nouvelle intervention culturale, cette infiltration pourra être maintenue par toute couverture protectrice du sol que ce soit un mulch ou un couvert vivant. Mais, dans certains cas (précipitations hivernales), l'infiltration peut aussi être conditionnée par l'état structural de l'horizon cultivé (zone tassée limitant l'infiltration).
- ▶ Le stockage d'eau en surface est assuré par les parties aériennes des peuplements végétaux, mais aussi directement par la rugosité de surface créée par le travail du sol.

Selon la culture et la période de l'année, ces principes généraux peuvent se décliner de diverses façons, ce qui a donné lieu à plusieurs types d'essais : à l'implantation des cultures, en cours de culture et en interculture.

A l'implantation des cultures :

L'effet d'un moindre affinement du lit de semence sur l'augmentation du stockage d'eau en surface ; celui d'un décompactage avant semis sur l'infiltration en profondeur ; l'effet d'un labour sur l'accroissement de l'infiltration du fait de l'amélioration de la structure ou inversement celui des techniques de semis sans labour en lien avec l'activité de la microfaune du sol rendant plus perméable la surface ; celui d'un couvert associé à la culture principale qui protège le sol dans les premiers stades de la culture, ou bien encore celui de la réalisation d'un relief créant un micro-flaquage...

En cours de culture :

On pourra avoir recours soit à un travail du sol (binage) afin de fractionner la croûte de battance, soit à l'implantation d'un couvert associé à la culture qui protégera la surface après la récolte.

En interculture :

Pendant cette période, l'absence de contrainte agronomique majeure permet de tester une large gamme de solutions, depuis le travail du sol très grossier, jusqu'à l'implantation d'une culture intermédiaire, en passant par le maintien en surface des résidus de récolte.

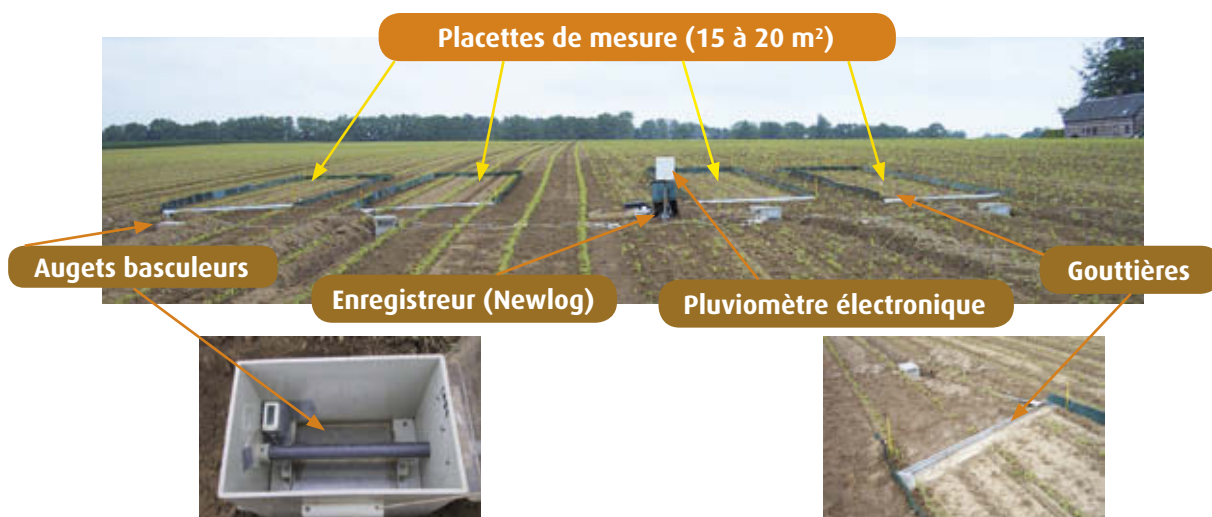
Dans notre approche, nous considérons que les techniques culturales optimales dépendent des systèmes de culture et des terrains sur lesquels ils sont mis en œuvre. Il n'est donc pas possible, ni souhaitable de préconiser une technique culturale particulière pour tous les croisements systèmes de culture / terrain.

1.4. LES METHODES DE MESURE MOBILISEES

Deux types de mesure de ruissellement ont été utilisés pour tester les différentes pratiques culturales.

1.4.1. Les dispositifs de mesure du ruissellement sous pluie naturelle

Ces dispositifs fournissent les meilleurs résultats, car ils correspondent bien aux caractéristiques régionales. Le principe des mesures consiste à isoler hydrauliquement 2 placettes de taille identique sur chaque modalité testée. La surface des placettes correspond à une demi-largeur de travail d'outil sur une longueur de 10 mètres, soit environ 15 à 20 m² selon les cas. Pour chacune des placettes de mesure, les eaux de ruissellement sont recueillies par une gouttière puis dirigées vers un auget basculeur. Les mesures de ruissellement provenant de chaque auget sont enregistrées en temps réel par un système électronique sur lequel un pluviomètre est également raccordé. Un traitement informatique des données permet de comparer les ruissellements engendrés sur chacune des modalités en fonction de la pluie. La photo ci-après illustre l'expérimentation.



1.4.2. Les dispositifs de mesure du ruissellement sous pluie artificielle

En complément des mesures sous pluie naturelle, un simulateur de pluie permet de mesurer la réponse d'une placette à une pluie artificielle dont les caractéristiques sont maîtrisées. Le matériel de simulation de pluie permet d'asperger une surface de 7,5 à 10 m², correspondant à une demi largeur d'outil et une longueur limitée à 5 m, ce qui est suffisant pour intégrer la variabilité spatiale. Six buses à cônes pleins distantes de 2 m délivrent des intensités de 35 mm/h et 55 mm/h. (Pour mémoire, à Rouen la pluie cinquantennale d'une heure est de 34 mm).

Simulateur de pluie de l'AREAS en fonctionnement, sans son toit



buse en cours de pulvérisation

placette : 2 x 5 m

système de distribution d'eau

manomètre et robinet pour régler la pression et donc le débit ou l'intensité de la pluie simulée

filet brise-vent

Sur chaque modalité les mesures sont répétées sur deux placettes différentes. Les résultats sont à interpréter avec précaution en raison de la non homogénéité des pluies, de l'hétérogénéité des surfaces de sol et des différences d'intensité de pluies qu'il peut y avoir entre essais. Cela signifie aussi que ces résultats doivent être considérés comme des ordres de grandeur.

1.4.3. Données complémentaires : relevés de terrain

Les caractéristiques de pente, de texture du sol en surface, d'états de surface et de leurs évolutions (type et proportion de chacun des Faciès de surface, taux d'encroûtement, taux de couverture végétale, rugosité, état structural...) sont systématiquement relevés. Dans certains cas, la rugosité de surface fait aussi l'objet d'une mesure précise avec un rugosimètre électromécanique utilisé par l'INRA (modèle IRD). Les mesures effectuées par cet appareil permettent de calculer les quantités d'eau théoriquement stockables en surface pour chacune des modalités testées. Afin de bien interpréter les diagrammes de ruissellement, des profils culturaux ont été réalisés sur certains essais.

1.5. DIFFUSION DES RESULTATS ET OUTILS COMPLEMENTAIRES

Pour avoir plus d'informations, l'ensemble du fichier comprenant le rapport complet et les fiches détaillées de chaque essai peut être consulté en ligne à l'adresse Internet suivante :

http://www.rdtrises.org/projets/digetcob/bib/techniques_ruis/groupe_ruiss/
ainsi que sur les sites des différents auteurs.

En complément de cette synthèse et à partir des données qu'elle contient, une panoplie d'outils de vulgarisation et d'aide à la décision a été élaborée. Ces outils disponibles sont :

- ▶ un ensemble de 9 plaquettes qui font le point culture par culture des risques et des marges de manœuvre dont dispose l'agriculteur pour réduire ruissellement et érosion ;
- ▶ un ensemble de 11 plaquettes complémentaires qui donnent les clés pour mettre en place des petits aménagements d'hydraulique douce en plaine ; ainsi qu'une plaquette « guide » pour identifier les solutions adaptées au problème de l'agriculteur ;
- ▶ un guide d'aide à l'élaboration d'un diagnostic individuel d'exploitation volet « ruissellement/érosion » qui permet au technicien de faire le point avec l'agriculteur sur les risques que présente sa ferme sur ce thème ;
- ▶ le logiciel DIAR « Diagnostic Agronomique de Ruissellement », complémentaire du diagnostic précédent, qui permet au technicien de présenter à l'agriculteur des simulations dynamiques de l'impact d'une culture ou d'une pratique culturale sur la production de ruissellement ;
- ▶ le jeu de rôles « Caux Opération » qui réunit pour quelques heures différents acteurs autour de la problématique « ruissellement/érosion ».

Les 20 plaquettes sont disponibles sur les sites de l'AREAS, de la CA 76 et de la CA 27, notamment à l'adresse suivante :

<http://www.areas.asso.fr/content/blogcategory/52/72/#04>



CHAPITRE 2

Résultats et Enseignements

Le Tableau ci-après résume les principaux résultats de l'efficacité des techniques culturales testées pour réduire le ruissellement.

Caractéristiques des essais : largeur = 1,5 m à 2 m (= 1/2 largeur de travail) longueur = 10 m sous pluies naturelles et 5 m sous pluies simulées		Conditions expérimentales des pluies	Ruissellement sous pluies naturelles			Résultats complémentaires
Référence de l'essai *	Modalités testées		Taux de réduction / témoin**	Taux de ruissellement (moyenne annuelle)	Lame ruisselée	
			mm/h %	%	mm	
Interculture						
CA76-2004-11	Témoin : Non déchaumage Déchaumage très moueux Culture intermédiaire de moutarde	saison hivernale	- 35 à 62 50 à 95	11 à 13,4 5,0 à 7,0 1 à 2,2		Transferts de produits phytosanitaires : - - Réduction de 95 % par rapport au témoin
CA76-2002-01	Semis de ray grass sous couvert de maïs	saison hivernale	38			
AREAS-2005-08 et AREAS-2005-09	Chantier de récolte de céréales Chantier de récolte de betteraves Culture intermédiaire de moutarde	une pluie simulée	33			Pluie d'imbibition : 1,0 à 1,5 mm 1 mm 5,9 à 7,6 mm Infiltrabilité à saturation : 4 à 16 mm/h 4 à 15 mm/h 7 à 8 mm/h
CA76-2004-11	Témoin : Non déchaumage Culture intermédiaire de moutarde	saison hivernale				Erosion diffuse = 144,5 kg/ha Erosion diffuse = 6 kg/ha (réduction de 95 %)
Blé et céréales d'automne						
CA76-2007-16	<i>Effet du degré d'affinement et du tassement liés aux outils</i> Témoin : parcelle tassée et affinée (tracteur lourd - tasse avant - pneus larges - herse rotative - rouleau packer) Parcelle peu tassée et affinée (tracteur léger sans tasse avant - sans jumelage - herse alternative - rouleau barre) Parcelle tassée et affinée (tracteur léger - tasse avant - roues jumelées - prépare sol - rouleau barre)	saison culturale	- 35 76	hiver : 14,8 été : 7,5 9,1 4,6 3,6 1,1	8,2 5,3 1,9	
ARPTHN-2003-03	<i>Effet du précédent pomme de terre</i> Témoin : blé sur précédent PDT non tamisée Blé sur précédent PDT tamisée		- 14	24,5 21,1	12,9 11,1	
ARPTHN-2002-01	Témoin : blé labouré sur précédent PDT non tamisée Blé labouré sur précédent PDT tamisée Blé sans labour sur précédent PDT tamisée		- -9 97,4	39,1 42,7 1	16,9 15,5 0,4	
ARPTHN-2004-05	Témoin : blé sans décompactage et avec labour sur précédent PDT tamisée Blé sans décompactage et sans labour sur précédent PDT tamisée Blé avec décompactage et sans labour sur précédent PDT tamisée Blé avec décompactage et sans labour sur précédent PDT non tamisée	saison culturale (4 pluies significatives)	- -10 90 70	10,7 11,8 1,1 3,2	6,1 6,7 0,6 1,8	Variation des taux de ruissellement : 3,1 à 20,2 % 3,1 à 15,3 % 0,7 à 2,4 % 2,0 à 4,1 %
CA76-2003-03	<i>Ecrouitage en sortie d'hiver</i> Témoin : blé classique Ecrouitage de printemps herse étrille Ecrouitage de printemps houe rotative	saison printemps été (4 pluies)	- -18 37	16,1 18,9 9,9	10,1 12 6,3	Taux de ruissellement pluie du 14/06/03 : 14,60% 20,20% 8,60% Infiltrabilité pour la pluie du 14/06/03 : 22 à 28 mm/h 25 mm/h 33 à 35 mm/h
Maïs						
CA76-2006-14	<i>Effet du degré d'affinement</i> Témoin : lit de semence affiné et rappuyé Lit de semence moueux et sans traces de roues	saison printemps été	- 87	11,4 1,4	11,1 1,4	Taux de ruissellement pour les pluies du 14/06 et 04/07/06 : 8,2 à 17,8 % 0,7 à 1,3 %
CA76-2004-08	<i>Semis du maïs en réparti</i> Témoin : semis en lignes classique (écartement 75 cm) Semis en réparti (répartition aléatoire des pieds)	saison printemps été (4 pluies en 2004 et 2 pluies en 2006)	- 36	- -	5,1 3,3	
CA76-2006-13	Témoin : semis en ligne classique (écartement 75 cm) Semis en réparti (répartition aléatoire des pieds)		- 83	12,2 2,1	2,0 0,3	Taux de ruissellement pour la pluie la plus ruisselante du 15/06/06 : 24,10% 4,10%
CA76-2005-12	<i>Semis direct sous mulch</i> Témoin : semis classique après labour Semis sans labour avec décompactage et travail superficiel Semis direct sous mulch avec décompactage d'automne*** Semis direct sous mulch avec décompactage de printemps***	saison estivale (3 pluies)	- -69,1 89,2 79,9	6,1 10,4 0,7 1,2	1,8 3,1 0,2 0,4	Taux de ruissellement pour la pluie la plus ruisselante du 03/07/05 : 8,20% 13,70% 0,80% 1,40%
CA76-2004-08	<i>Semis sur billon avec strip till</i> Témoin : semis classique en ligne Semis avec strip till (travail du sol uniquement sur le rang)	saison estivale	- 24		5,1 3,9	
AREAS-2004-05 et AREAS-2004-06	<i>Binage</i> Témoin : semis classique sans binage Inter-rang biné en juin hors traces de roues Inter-rang biné en juin avec traces de roues	une pluie simulée de 1h	31			Taux de ruissellement : 25 à 59 % 0% 22% Pluie d'imbibition : 3 à 5 mm > 41 mm > 13 mm Infiltrabilité à saturation : 7 à 22 mm/h 18 à > 33 mm/h 18 à > 33 mm/h
Betterave sucrière						
CA27-2002-05	Témoin : semis classique sans binage Parcelle binée en mai	saison printemps	- 88	0 à 9,5 0 à 2,2	3,0 0,35	
CA27-2004-10	Témoin : semis classique sans binage en 2004 Parcelle binée en mai	saison été	- 13	1,0 à 3,6 0,1	1,6 0,08	

* Selon le code défini dans le rapport complet auteur-année-numéro d'essai. Les fiches détaillées de chaque essai sont consultables sur les sites internet cités en page 3.

** Un taux positif indique que la modalité testée produit moins de ruissellement que le témoin. Un taux négatif indique au contraire que la modalité testée produit plus de ruissellement que le témoin.

*** Taux de couvert de 25 à 30 %. **** Effet du taux très élevé en matière organique.

Caractéristiques des essais : largeur = 1,5 m à 2 m (= 1/2 largeur de travail) longueur = 10 m sous pluies naturelles et 5 m sous pluies simulées				Ruissellement sous pluies naturelles			Résultats complémentaires								
Référence de l'essai *	Modalités testées			Conditions expérimentales des pluies	Taux de réduction / témoin**	Taux de ruissellement (moyenne annuelle)				Lame ruisselée					
					mm/h	%	%	mm							
Pomme de Terre							On note une forte variabilité entre les répétitions et des inversions au cours de la saison. En 2002, les 1ers ruissellements sont apparus après 77 mm de pluie cumulée.								
ARPTHN-2002-02	Impact du tamisage			saison printemps été											
	Témoin : parcelle non tamisée			5 pluies significatives		33,1	25,5								
	Parcelle tamisée				43,1	18,8	14,5	Le 05/06/02 l'infiltrabilité des PDT tamisées ou non tamisées était de 4 à 7 mm/h sous pluie intense de 11 mm/h pendant 50 mn.							
ARPTHN-2003-04	Témoin : parcelle non tamisée			4 pluies significatives		5,4	3,5								
	Parcelle tamisée				-22,9	6,6	4,3								
ARPTHN-2004-06	Témoin : parcelle non tamisée			5 pluies significatives		27,8	14,4	L'infiltrabilité moyenne des parcelles a diminué de 28 à 15 mm/h au cours de la saison.							
	Parcelle tamisée				39,6	16,8	8,7								
AREAS-2005-11	Création de micro-barrages dans l'entre-butte			pluies simulées	22 à 28			micro-barrages de 4,5 à 5,7 cm de hauteur	Pluie d'imbibition : 3 mm	Infiltrabilité à saturation : 3 à 6 mm/h					
	Témoin : sans micro-barrages														
	Avec micro-barrages														
AREAS-2007-16	Témoin : sans micro-barrages			pluies simulées	51 à 56			micro-barrages de 4 à 15 cm de hauteur	1 mm						
	Avec micro-barrages												9 à 17 mm		
TCSL : Techniques Culturelles Sans Labour							Taux de ruissellement sur une pluie :								
CA76-2005-09	Comparaison entre labour et non labour (± récent)			saison culturale					mini	maxi					
	Blé 2004-2005 Yvetot labour								-	0,6	0,9	0,0%	1,7%		
	non labour								-73,5	1,0	1,5	0,0%	2,1%		
CA76-2006-15	Blé 2005-2006 Yvetot labour								-	1,2	2,2	0,6%	4,1%		
	non labour								-14,2	1,4	2,6	0,3%	44,7%		
CA76-2006-14	Maïs 2006 Yvetot (témoin) labour (affiné + rappuyé)								-	11,4	11,1	2,4%	22,1%		
	non labour								56,5	4,9	4,8	0,2%	4,6%		
	labour (motteux et sans traces)								-	1,4	1,4	0,0%	3,1%		
CA76-2007-17	Betterave 2007 Limésy labour								-	2,1	0,9	0,4%	4,3%		
	non labour								-55,6	3,3	1,4	3,0%	3,7%		
CA76-2008-18	Blé 2007-2008 Limésy labour								-	2,8	4,0	0,2%	15,4%		
	non labour								62,5	1,0	1,5	0,2%	7,0%		
CA76-2008-19	Maïs 2008 Valliquerville labour			saison culturale					0,0%	0,1%					
	non labour										-	0,1	0,1	0,1%	0,2%
CA76-2009-22	Maïs 2009 Valliquerville labour										-	1,0	0,2	0,4%	0,9%
	non labour										-50,0	0,8	0,3	0,1%	1,6%
CA76-2010-23	Blé 2009-2010 Valliquerville labour										-	1,0	0,5	0,1%	2,5%
	non labour										20,0	0,8	0,4	0,1%	1,3%
CA76-2008-20	Maïs 2008 Tourville labour										-	10,4	6,5	9,4%	12,0%
	non labour										75,4	2,6	1,6	1,9%	3,0%
CA76-2009-21	Blé 2008-2009 Tourville labour										-	5,1	2,9	1,0%	10,1%
	non labour										-62,1	8,2	4,7	0,3%	17,4%
CA76-2010-24	Lin 2010 Tourville labour										-	0,3	0,1	0,0%	0,5%
	non labour										0,0	0,2	0,1	0,1%	0,3%
AREAS-2006-14	Comparaison labour et non labour en simulation de pluie sur maïs			pluies simulées	31 à 34				Lame ruisselée et Taux de ruissellement : 11,5 à 15,8	Pluie d'imbibition : 1,2 à 1,3 mm	Infiltrabilité à saturation : -				
	Témoin : labour Pluie N°1 : après 60 mm												19 à 26 %	2,2 à 3,5 mm	-
	Non labour Pluie N°1 : après 60 mm												11,2 à 23,6		-
	Témoin : labour Pluie N°2 : après 40 mm												19 à 39 %	0,9 à 1,0 mm	18,4 à 21,5 mm/h
	Non labour Pluie N°2 : après 40 mm							13,1 à 15,7	1,3 à 1,6 mm	2,2 à 6,3 mm/h					
								33 à 39 %							
								14,1 à 27,8							
								35 à 69 %							
AREAS-2007-15	Comparaison labour et non labour en simulation de pluie sur blé			pluies simulées	21 à 28				0,2 à 0,3 ****	2,5 à 4,3 mm ****	-				
	Labour (sol très riche en MO) Pluie N°1 : après 30 mm												0,7 à 1,0 %		-
	Témoin : labour Pluie N°1 : après 30 mm												8,8 à 18,1	1,5 à 3,5 mm	-
	Non labour Pluie N°1 : après 30 mm												29 à 60 %	1,9 à 2,1 mm	-
	Labour (sol très riche en MO) Pluie N°2 : après 25 mm												12,0 à 14,2	4,5 à 6,8 mm ****	17,8 mm/h ****
	Témoin : labour Pluie N°2 : après 25 mm												40 à 47 %	1,2 à 3,2 % ****	1,8 à 2,8 mm/h
								0,3 à 0,8 ****		2,4 à 5,6 mm/h					
								1,2 à 3,2 % ****							
								14,3 à 18,4	1,2 à 4,8 mm						
								57 à 74 %	1,8 à 2,5 mm						
								13,1 à 16,3							
								52 à 65 %							
AREAS-2009-18	Intérêt du décompactage sur blé			pluies simulées	39 à 40				4,9 à 7,4	2,0 mm	13 mm/h				
	Témoin : non labour sans décompactage Pluie N°1 : après 20 mm												25 à 37 % (> 6,4)		-
	Non labour avec décompactage Pluie N°1 : après 20 mm												> 32 %	3,0 à 5,0 mm	-
	Témoin : non labour sans décompactage Pluie N°2 : après 20 mm												11,4 à 12,7	1,0 mm	9 mm/h
								57 à 63 %							
								12,4 à 15,8	1,0 mm	4 à 9 mm/h					
								62 à 79 %							

* Selon le code défini dans le rapport complet : auteur-année-numéro d'essai. Les fiches détaillées de chaque essai sont consultables sur les sites internet cités en page 3.

** Un taux positif indique que la modalité testée produit moins de ruissellement que le témoin. Un taux négatif indique au contraire que la modalité testée produit plus de ruissellement que le témoin.

*** Taux de couvert de 25 à 30 %. **** Effet du taux très élevé en matière organique.

Tableau 1 : Principaux résultats d'efficacité des pratiques culturales sur la réduction des ruissellements

2.1. INTERCULTURE

La réduction du ruissellement pendant l'interculture dépend de la période de récolte du précédent cultural car les états de surface qui en résultent diffèrent considérablement.

- ▶ Les récoltes automnales (pomme de terre ; betterave ; maïs ensilage...) conduisent globalement à des surfaces ruisselantes car la récolte s'effectue sur un sol très humide, proche de la capacité au champ, avec des outils lourds de faible largeur, impliquant souvent plusieurs passages. En outre, le couvert de résidus après la récolte est faible voire inexistant. La récolte de lin conduit à des états de surface similaires.
- ▶ Les récoltes estivales (colza ; pois et céréales à pailles) conduisent à des états de surface moins sensibles au ruissellement car les interventions ont généralement lieu sur un sol bien ressuyé (moins sensible aux compactations) ; les passages de roues sont moins nombreux (grande largeur de travail) et les résidus en surface du sol couvrent une surface significative, même quand la paille est exportée.

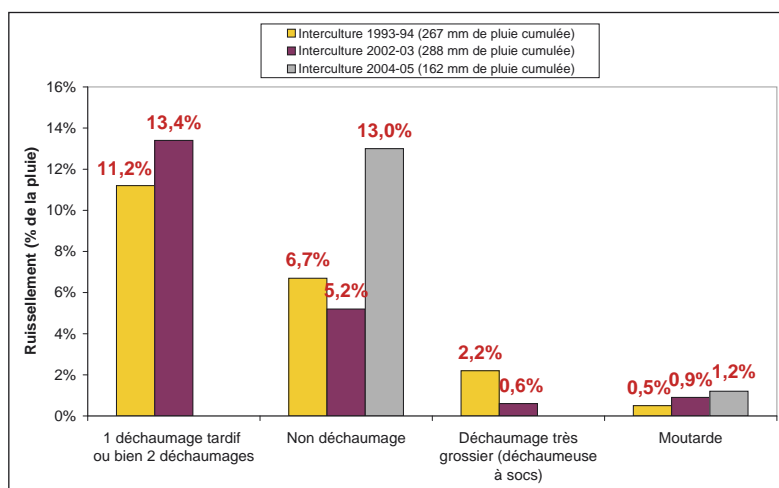
Pendant l'interculture, une large gamme de techniques culturales peut être utilisée pour limiter le ruissellement. Parmi ces techniques, on distingue celles qui s'appuient sur la création d'une forte **rugosité**, de celles qui mettent en avant le **développement d'une couverture végétale**.

- ▶ Pour la création d'une forte rugosité, on a recours à des outils de déchaumage générant une rugosité importante et aléatoire (non orientée). Pour cela, les outils de type « déchaumeuse à socs » sont plus adaptés que les outils à dents de type « néodéchaumeur ».
- ▶ Pour l'implantation d'un couvert végétal, on privilégie une plante avec une croissance rapide, permettant de protéger le plus vite possible la surface du sol, avec un système racinaire de type pivotant qui facilite l'infiltration de l'eau surtout en cas d'orage (ex : moutarde).

Les essais conduits pendant cette période ont comparé les 5 techniques suivantes : Chantier de récolte laissé en l'état (9 essais) ; Implantation d'une culture intermédiaire (8 essais) ; Déchaumage avec un outil à dents (4 essais) ; Déchaumage avec un outil à socs (3 essais) ; Semis de ray-grass sous couvert de maïs (2 essais).

2.1.1. Résultats sur le ruissellement

La Figure 1 présente les résultats totaux sur la saison automne-hiver sur limon battant avec des teneurs faibles en matière organique. Les déchaumages tardifs, les déchaumages multiples ou les non déchaumages en l'absence de résidus (2004-2005) ont conduit aux taux de ruissellement hivernal les plus élevés : de 11 à 13,4 %, ce qui peut représenter 25 à 35 mm d'écoulement pendant l'automne-hiver. Les non déchaumages avec résidus de culture (pailles broyées) ont eu des taux de ruissellement de 5 à 7 %. Les déchaumages très grossiers (réalisés avec une charrue à socs sur 10 cm d'épaisseur) ont eu des taux de



▶ **Figure 1** : Synthèse de trois années de mesures du ruissellement en interculture : valeurs cumulées du 1^{er} décembre au 31 janvier
(Source : P. MARTIN, INRA et Chambre d'agriculture 76)

ruissellement de 1 à 2,2 %. Pour les cultures intermédiaires (essentiellement moutarde sur les essais), les taux de ruissellement sont inférieurs à 1 %. Ainsi, elles réduisent les ruissellements de 90 à 95 % par rapport aux techniques classiques de déchaumage avec un outil à dents, et de 50 à 95 % par rapport au non déchaumage.

En 2005, des simulations de pluie à 33 mm/h ont apporté des informations complémentaires (Cf. Tableau 2). Les premiers ruissellements apparaissent après 1,0 à 1,5 mm de pluie pour les chantiers de récolte et à des valeurs 6 à 7 fois supérieures (5,9 à 7,6 mm) sous couvert de culture intermédiaire. Le régime de ruissellement constant est atteint au bout de 4 à 6 mm de pluie cumulée pour les chantiers de récolte, alors qu'il faut plus de 26 mm sous couvert de culture intermédiaire. Enfin, on constate qu'en régime saturé, les vitesses d'infiltration sont globalement similaires pour les chantiers de récolte et pour la culture intermédiaire. Sur ce point, la variabilité est plus grande pour les parcelles de chantiers de récolte qui présentent des zones plus ou moins tassées.

	Chantier de récolte		Culture intermédiaire de moutarde
	de céréales	de betteraves	
Pluie d'imbibition (mm)	1,0 à 1,5	1,0	5,9 à 7,6
Pluie totale conduisant le sol à saturation (mm)	4 à 6	4 à 6	> 26
Infiltrabilité à saturation (mm/h)	4 à 16	4 à 15	7 à 8

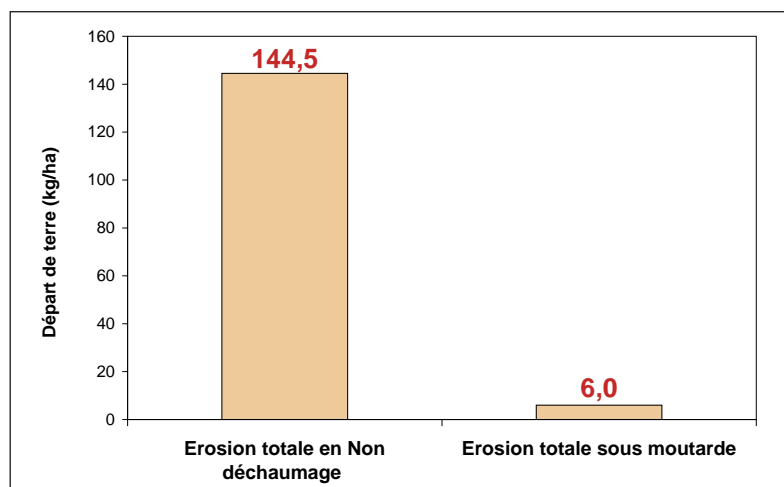
► **Tableau 2** : Résultats d'infiltrabilité en simulation de pluie sur chantiers de récolte et culture intermédiaire (Source : AREAS)

Quant à la technique de semis de Ray-Grass dans l'interrang du maïs (2002), elle a limité les ruissellements en hiver après la récolte du maïs de 38 %, sachant que l'hiver ne fut pas très pluvieux.

2.1.2. Résultats sur l'érosion diffuse

Les travaux de P. MARTIN (thèse de 1997) et de O. CERDAN (thèse de 2001) sont confirmés par les mesures réalisées en 2004-2005.

La culture intermédiaire de moutarde a réduit de 95 % l'érosion diffuse (Cf. Figure 2) par rapport au non déchaumage de céréales pailles exportées : 6 kg/ha sous moutarde et 144,5 kg/ha sur chaume pendant l'automne-hiver. Le détail de l'érosion diffuse par évènement figure dans la fiche d'essai.

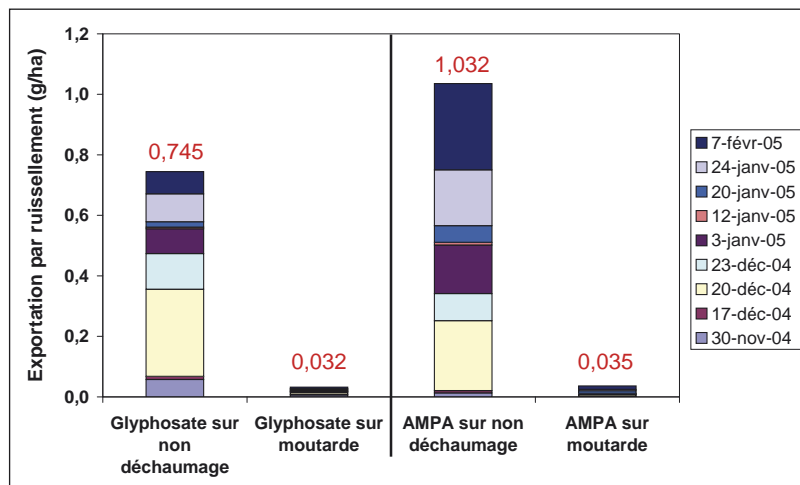


► **Figure 2** : Perte de terre par érosion diffuse pendant une interculture 2004-2005 avec 198 mm de pluie cumulée sur la période de mesure (Source : Chambre d'agriculture 76)

Dès que le taux de couverture du sol dépasse 40 %, l'effet devient significatif et l'efficacité maximale est atteinte pour un couvert de 60 à 70 %.

2.1.3. Résultats sur le transfert de glyphosate en cas de désherbage chimique

Au cours de la période d'interculture 2004-2005, un essai comparatif a été conduit pour évaluer les flux sortants d'un chantier de récolte de blé non travaillé et d'un couvert de moutarde ensemencé le 6 septembre après un déchaumage. Les parcelles ont reçu la dose de glyphosate le 24 novembre (3 l/ha à 360 g/l de matière active). Sur l'ensemble de la campagne, les résultats présentés Figure 3 indiquent qu'avec un couvert de moutarde, les exportations de glyphosate sont réduites de 95 % et les exportations d'AMPA (composé issu de la dégradation du glyphosate) de 96 % par rapport au chantier de récolte de chaume. Les mesures sous une pluie artificielle réalisée en fin de campagne à 33 mm/h pendant 15 mn, confirment ces résultats en démontrant que c'est avant tout la réduction du ruissellement qui diminue les exportations d'herbicides, car les concentrations instantanées sont du même ordre de grandeur pour l'ensemble des modalités.



► **Figure 3 :** Cumul des exportations de glyphosate et d'AMPA au cours des événements ruisselants (cumul des précipitations sur la période de mesures = 198 mm)

(Source : Chambre d'agriculture 76)

2.1.4. Enseignements

Il faut d'abord noter que l'ensemble des résultats présente une variabilité inter-annuelle forte selon les conditions climatiques et les types de sols, notamment en relation avec les teneurs en matière organique. Ainsi, les essais sur des parcelles de limon ayant plus de 2,0 % de matière organique ont eu significativement moins de ruissellements que les autres essais.

Le Tableau 3 ci-dessous synthétise l'efficacité comparée des différentes techniques.

Récolte été	Récolte automne	Semis automne	Semis printemps	Chantier de récolte non travaillé	Culture Inter-médiaire	Déch. à socs	Déch. à dents
←	←	←	←	+ -	+++	++	+
←	←	←	←	+ -	+++	+++	++
←	←	←	←	- - -	+ -	++	+
←	←	←	←	-	+	+++	+++

Légende :

- +++ : réduction efficace du ruissellement sur l'ensemble de la période considérée
- ++ : réduction efficace sur une partie de la période considérée
- + : effet limité sur le ruissellement
- + - : effet aléatoire en fonction des conditions climatiques
- : effet aggravant sur le ruissellement

► **Tableau 3 :** Comparaison de l'efficacité des différentes catégories de techniques selon la durée de l'interculture

Le classement opéré entre les différentes techniques est à moduler en fonction des états réels des parcelles. Une parcelle en chaume avec de très nombreux passages de roues ou une culture intermédiaire de moutarde semée dans de mauvaises conditions peuvent conduire à des ruissellements plus importants que prévus !

Toutes les expérimentations sur les plateaux et les versants démontrent qu'un travail du sol particulièrement motteux, réalisé en conditions sèches et associé à l'implantation d'un couvert végétal, conduit à des ruissellements et à une érosion diffuse totale plus faibles que sur une parcelle non déchaumée ou travaillée superficiellement. Les talwegs par contre doivent être travaillés le moins possible pour y éviter l'érosion.

Inversement, la réduction du ruissellement est très limitée en cas de passages répétés d'outils de travail du sol ou d'interventions en conditions humides, tout en conduisant à une très forte érosion diffuse. A noter que sans couvert, tout travail du sol tend à réduire le ruissellement au début mais très vite c'est l'inverse : il s'accroît et cela accroît aussi les départs de terre (par érosion diffuse) par rapport au non travail du sol.

Le travail du sol ne doit pas pour autant être abandonné, surtout dans les situations d'intercultures courtes après une récolte tardive. Pour les intercultures courtes, le type d'outils (à dents, à socs, à disques...) importe peu car le cumul de pluie avant le semis de la culture suivante est généralement insuffisant pour dégrader notablement la surface.

Si un traitement au glyphosate doit être réalisé, la quantité de glyphosate et d'AMPA qui sort d'une parcelle déchaumée et semée de moutarde est significativement inférieure à celle qui sort d'une parcelle en chaume non travaillée. Cela étant, il y a quand même des flux de pesticides qui sont générés.

La mise en place de couverts végétaux doit être favorisée dans tous les cas où cela est possible, tant du point de vue du ruissellement que de celui de la pollution diffuse par les nitrates ou par les produits phytosanitaires.

2.2. BLE ET CEREALES D'AUTOMNE

En système classique avec labour, les céréales sont implantées entre le 20 septembre et la fin novembre. Le développement du couvert végétal est lent à cette époque. Il reste inférieur à 30 % jusqu'à fin février, donc sans capacité à assurer une protection efficace contre l'agression des pluies. La formation d'une croûte de battance sur les sols limoneux est quasi inévitable. Seule la rugosité de surface créée lors du semis peut retarder la formation de cette croûte de battance et accroître le flaquage superficiel.

En hiver, les essais ont porté : sur la comparaison des techniques culturales permettant d'accroître la rugosité du lit de semence en limitant le degré d'affinement (6 essais), sur l'effet du précédent culturel pomme de terre (4 essais) et sur la possibilité de semis sous couvert (2 essais).

Pour limiter les ruissellements de printemps, la possibilité de restaurer une forte rugosité de surface en fin d'hiver a été testée (3 essais), en utilisant des outils de désherbage mécanique des céréales.

Les résultats des techniques culturales sans labour sont reportés dans la partie TCSL.

2.2.1. Résultats sur le ruissellement en automne-hiver

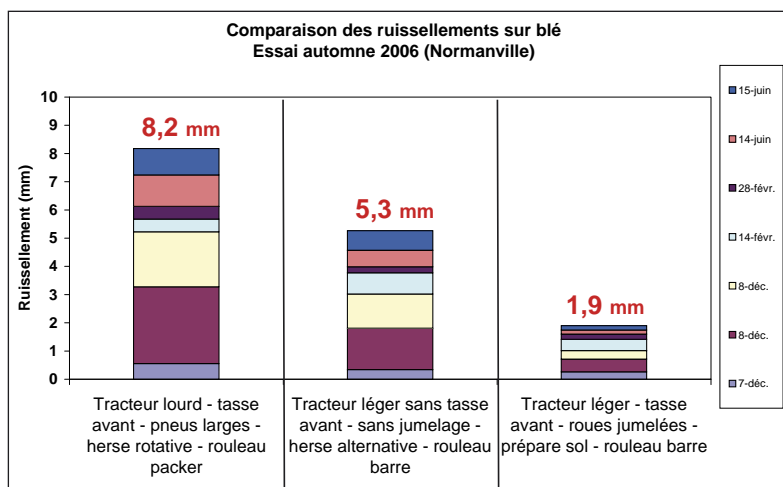
2.2.1.1. Effet du degré d'affinement et des tassements associés aux passages et aux outils

Les 2 essais de comparaison des réglages d'une herse rotative à 1 000 tours/mn et 540 tours/mn conduits dans l'Eure ont eu lieu pendant des hivers relativement secs (2000 et 2002). Les ruissellements totaux ont été très faibles avec 0,5 à 3 mm de lame ruisselée. Seule une légère tendance se dessine. Les ruissellements totaux avec un réglage à 540 tours/mn sont de l'ordre de 20 % plus faibles par rapport au réglage à 1 000 tours/mn.

En janvier 2005, une simulation de pluie intense (pluie de 33 mm en une heure) a montré que pour la modalité « herse rotative », la capacité d'infiltration était de 26 mm/h (générant 4,7 à 5,8 mm de ruissellement en 1 h) alors qu'elle était comprise entre 24 et 32 mm/h (générant 1 à 4,5 mm de ruissellement en 1 h) pour la modalité « prépare sol ».

L'essai de 2006-2007 avec différents types de combinaisons confirme cette tendance. La comparaison des résultats de pénétromètre et de ruissellement des différentes combinaisons de tracteurs et de différents types d'outils animés (Cf. Figure 4) montre l'influence conjuguée des tassements et de l'affinement de

surface. Les ruissellements sont significativement différents entre modalités alors que les observations visuelles des états de surface des 3 modalités ont toujours été assez voisines. Ceci amène à conclure que les tassements ont aussi joué un rôle important. Entre octobre et juin (555 mm de pluie), avec la modalité constituée de la herse alternative sans tasse-avant, ni roues jumelées, le ruissellement est réduit de 35 % par rapport à la modalité avec herse rotative et tasse-avant + roues jumelées. Quant à la modalité avec prépare-sol et rouleau barre, le ruissellement est diminué de 76 %.



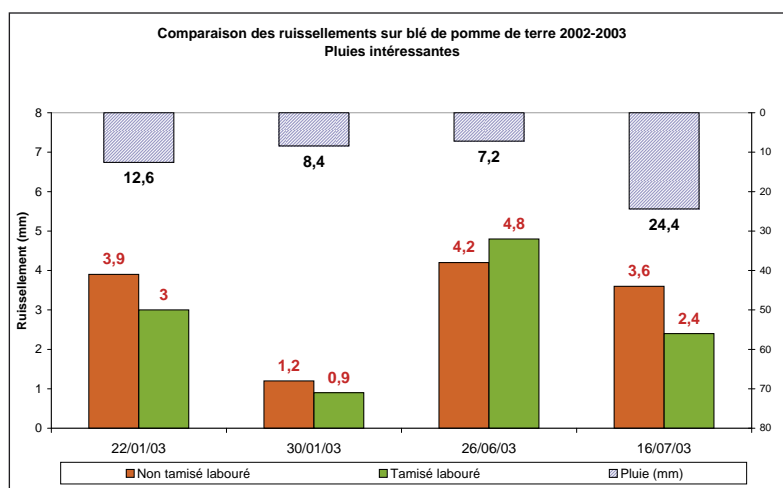
► **Figure 4 :** Comparaison des ruissellements sur blé pour 3 combinaisons « tracteur - combiné de semis », campagne 2006-2007, Normanville
(Source : Chambre d'agriculture 76)

Dans cet essai, les coefficients de ruissellement moyen en hiver sont respectivement de 14,8 %, 9,1 % et 3,6 %, et en juin de 7,5 %, 4,6 % et 1,1 %.

2.2.1.2. Effet du précédent pomme de terre en sol tamisé ou non

Est-ce que la technique du tamisage pour la culture de pomme de terre a un impact sur les ruissellements de la culture suivante : le blé ? Les mesures effectuées pendant 4 années sur les parcelles de blé labourées n'ont pas mis en évidence de grosses différences de ruissellement selon que le précédent pomme de terre avait ou pas fait l'objet d'un tamisage (Cf. Figure 5 et Figure 6).

Quelle que soit la conduite de la pomme de terre précédente, la rugosité de surface mesurée par l'INRA reste très faible dès l'implantation du blé. Il apparaît donc qu'avec ou sans tamisage, la pomme de terre laisse une structure de sol très fine. Au delà d'un certain seuil de proportion de terre émiétée en surface, les résultats sont identiques. On notera que les coefficients de ruissellement sont élevés en hiver pour ces « blés de pomme de terre », de 16 à 26 % pour de petites pluies (< 10 mm) et jusqu'à 25 à 65 % pour les pluies plus fortes !

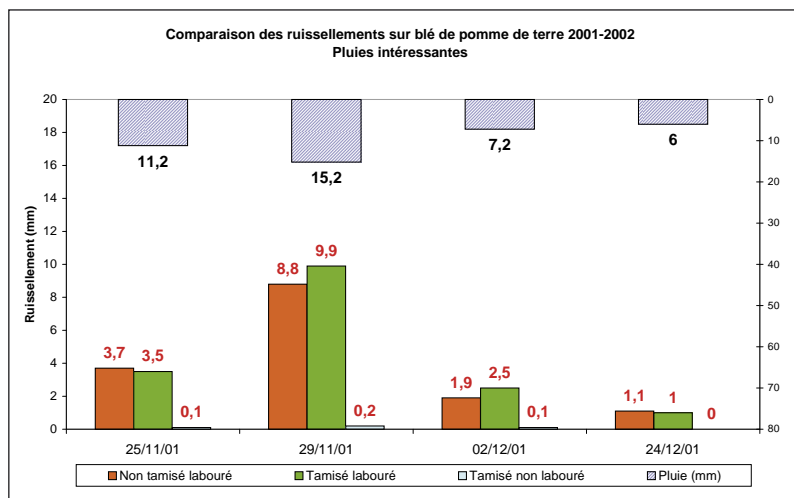


► **Figure 5 :** Exemple de résultats types pour des ruissellements sur blé après pomme de terre tamisée ou non, Ambrumesnil
(Source : ARPTHN)

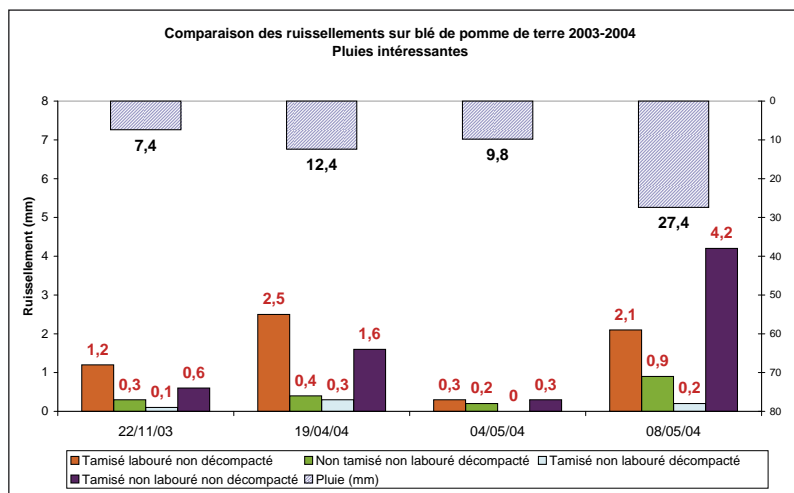
2.2.1.3. Effet du précédent pomme de terre et du type de travail profond

Toujours sur précédent pomme de terre, les essais comparatifs de travail profond (décompactage ou non) et la suppression occasionnelle du labour pour implanter le blé démontrent une influence significative sur le ruissellement hivernal.

- ▶ L'absence de labour du blé sur une parcelle tamisée (Cf. Figure 6), a réduit le ruissellement hivernal de plus de 95 %. Mais cela suppose en parallèle que le sol ne soit pas compacté, ce qui est une condition impérative.
- ▶ Le décompactage en profondeur des parcelles (Cf. Figure 7), a réduit le ruissellement de plus de 50 % (jusqu'à 95 %) pendant toute la durée de végétation du blé, on notera que les différences de ruissellement sont surtout fortes au printemps.



▶ **Figure 6** : Exemple d'impact sur les ruissellements hivernaux du non labour occasionnel sur blé après pomme de terre tamisée, La Gaillarde
(Source : ARPTHN)



▶ **Figure 7** : Exemple d'impact sur les ruissellements du décompactage sur blé après pomme de terre tamisée, La Gaillarde
(Source : ARPTHN)

2.2.1.4. Essai de semis de blé associé à un couvert

Durant deux campagnes, des essais ont été mis en place de façon à voir s'il était possible d'augmenter le taux de couverture du sol pour limiter le ruissellement sur les parcelles de blé pendant l'hiver. Les semis réalisés après le 20 octobre ont permis d'observer que seules les crucifères (la moutarde, la navette et dans une moindre mesure le radis) parvenaient à se développer un peu. Sur des semis du 10 octobre, la moutarde et la navette ont présenté un niveau de développement assez intéressant. En effet, par rapport au témoin (blé sans couvert), les taux de couverture du sol mesurés fin décembre étaient 2 fois plus élevés pour le blé avec moutarde et 4,5 fois plus élevés pour le blé avec navette. Cependant, les pluies tombées avant que les végétaux ne couvrent 60 à 70 % de la surface du sol ont tout de même dégradé l'état de surface. Les mesures sur cet essai ont montré que le couvert végétal associé au blé n'a permis de limiter les ruissellements que de 19 % par rapport au témoin.

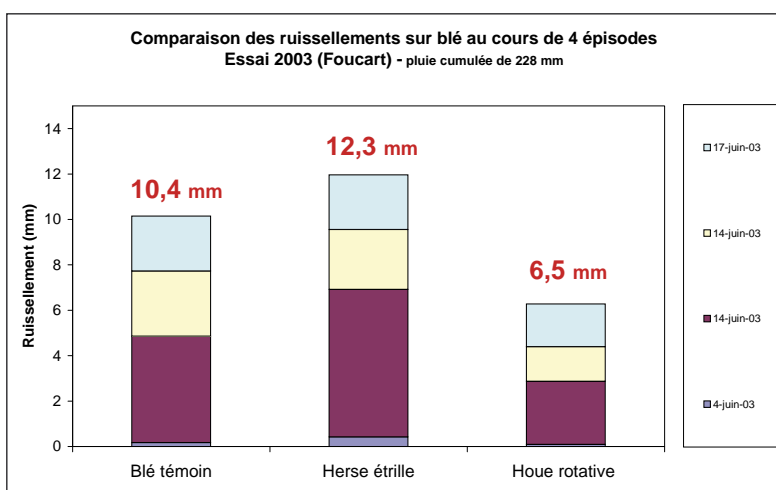
Par la suite, la difficulté de destruction des couverts en sortie d'hiver a été préjudiciable à la culture de blé. A la récolte, des pertes de rendement de 8 à 17 % ont été mesurées sur les modalités avec couvert végétal par rapport au témoin sans couvert.

Même si la technique de semis sous couvert a par ailleurs montré son efficacité et sa faisabilité chez les agriculteurs pratiquant le semis direct, elle s'avère délicate à mettre en œuvre dans les systèmes « classiques » en grandes cultures. Il pourrait être utile de poursuivre les essais en s'appuyant sur l'expérience de tels agriculteurs.

2.2.2. Résultats sur le ruissellement au printemps-été : écroûtage de sortie d'hiver

En cas d'orage de printemps, le couvert végétal n'est pas suffisant pour empêcher le ruissellement, du fait des croûtes de battance généralisées développées au cours des pluies hivernales. La houe rotative et la herse étrille ont été testées pour redonner de la porosité et de la rugosité de surface à ces parcelles en sortie d'hiver et limiter les ruissellements de printemps-été sur céréales.

La houe rotative réduit les ruissellements totaux sur la saison de 37 % par rapport au témoin mais au contraire la herse étrille les augmente de 18 % (Cf. Figure 8). A noter que le premier orage du 14 juin 2003 de 32,2 mm, permet de donner des coefficients de ruissellement : 14,6 % sur le témoin, 8,6 % avec la houe rotative (soit une réduction de 41 %) et 20,2 % avec la herse étrille. Les infiltrabilités estimées sont de 22 à 28 mm/h pour le témoin, de 25 mm/h avec la herse étrille et de 33 à 35 mm/h avec la houe rotative. Au cours du second orage du 14 juin 2003, la houe rotative a réduit le ruissellement de 47 % par rapport au témoin.



► **Figure 8** : Exemple de l'effet sur les ruissellements totaux de l'écroûtage du blé en sortie d'hiver, Foucart
(Source : Chambre d'agriculture 76)

Effets observés sur la culture : globalement, le passage de la houe rotative ne semble pas engendrer de dommages à la culture. Les différences de rendements sont généralement non significatives. Les observations indiquent que les conditions d'utilisation de la houe (ressuyage du sol, niveau de profondeur de travail, pression des pneus et stade de développement du blé) conditionnent les résultats. Enfin, il faut bien positionner le passage de l'écroûteuse en fonction des produits appliqués lors du désherbage de la parcelle, de façon à ne pas réduire leur efficacité, ni leur sélectivité. La comparaison des coûts de passages d'outils est détaillée dans la fiche d'essai.

2.2.3. Enseignements

En automne, les parcelles en céréales sont rapidement soumises à l'action dégradante des pluies cumulées. La couverture du sol n'est pas suffisante pour limiter la dégradation rapide de surface.

Pour retarder l'apparition du ruissellement avec les techniques classiques, l'affinement minimum du lit de semence reste donc le principal levier. Mais, les systèmes qui combinent des tracteurs lourds avec des outils animés et du matériel de tassement (rouleaux, tasse-avant et pneumatiques) ont une incidence négative sur la capacité d'infiltration par un effet combiné d'augmentation des tassements du sol et de limitation de la rugosité de surface.

Dans le cas particulier des « blés de pomme de terre », les ruissellements d'hiver sont significatifs, que la pomme de terre ait été tamisée ou non. Par contre, le décompactage du sol avant les semis de blé s'est révélé bénéfique. Le non labour occasionnel associé au décompactage a donné une année de meilleurs résultats que le simple labour.

Face aux pluies intenses du printemps, la technique de l'écroûtage en sortie d'hiver apparaît comme une solution intéressante pour redonner de la porosité aux parcelles qui présenteraient une croûte de battance généralisée en hiver.

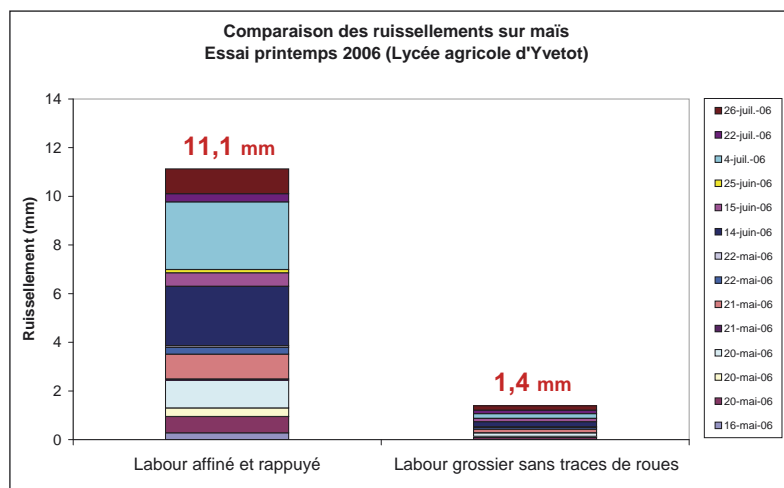
2.3. MAÏS

En Haute-Normandie, le maïs est implanté fin avril-début mai. En mai-juin, les risques d'orage sont très élevés alors que le développement du maïs est insuffisant pour assurer une protection efficace du sol. Les essais ont porté : sur la comparaison des techniques culturales permettant d'accroître la rugosité du lit de semence en limitant le degré d'affinement (1 essai), sur l'intérêt du semis « en réparti » (3 essais), sur la possibilité de semis sous couvert de mulch à plat (1 essai), et sur la création de billons (1 essai). Pendant le cycle cultural, le binage de l'interrang a été testé afin de recréer une meilleure infiltrabilité (7 essais). Les résultats des techniques culturales sans labour sont reportés dans la partie TCSL.

2.3.1. Les techniques de semis

2.3.1.1. Le semis sur labour non affiné

La conduite avec un labour sans affinement et avec effacement des traces de roues, noté « labour grossier sans traces de roues » a réduit de 87 % les ruissellements par rapport à une conduite avec un labour « affiné et rappuyé » (Cf. Figure 9). Pour les 2 pluies les plus importantes (> 10 mm), les coefficients de ruissellement sont de 8,2 % et 17,8 % pour le traitement « labour affiné et rappuyé » et de 0,7 % et 1,3 % pour le traitement « labour grossier sans traces de roues ».



► **Figure 9** : Effet d'un sol motteux sans trace de roues sur les ruissellements totaux sous maïs, Yvetot

(Source : Chambre d'agriculture 76)

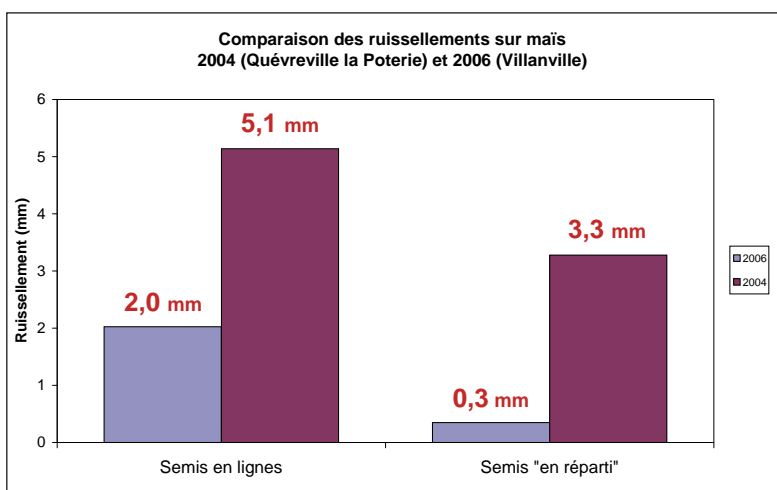
Sur la première conduite, la rugosité de surface élevée et généralisée s'est bien maintenue dans le temps. L'effacement des traces de roues lors du semis a également contribué à la réduction des tassements. Avec ces deux paramètres, la porosité du sol devait également être plus importante.

2.3.1.2. Le semis « en réparti »

Pour ces essais, un semoir monograine classique (écartement de 75 cm) effectuant un semis en lignes a été utilisé en comparaison avec un semoir à céréales (écartement de 12,5 à 25 cm) effectuant un semis « en réparti ». L'utilisation du semoir à céréales a permis d'obtenir une répartition aléatoire des pieds de maïs, ainsi qu'une absence de traces de roues sur la parcelle. Ainsi, pour le semis classique, la rugosité était orientée dans le sens du travail, alors qu'avec le semoir à céréales, très peu de zones favorisaient la concentration des écoulements, notamment grâce à l'action des peignes situés à l'arrière.

Les essais réalisés aux printemps 2004 et 2006 ont montré que le semis « en réparti » réduit les ruissellements de 36 à 83 % (pour des pluies de hauteur < à 10 mm) par rapport au semis classique (Cf Figure 10). Lors du seul évènement significatif du 14 juin 2006, après un cumul pluviométrique de 65 mm, les coefficients de ruissellement étaient de 24,1 % pour le traitement « semis classique » et de 4,1 % pour le traitement « semis en réparti ». Les pluies importantes ultérieures étant tombées fin août sur un couvert végétal important n'ont pas donné lieu à des ruissellements significatifs.

Du point de vue de l'érosion diffuse, les observations réalisées ont montré que la sédimentation des particules de limons s'était faite beaucoup plus en amont pour la modalité semée « en réparti » par rapport au semis classique.



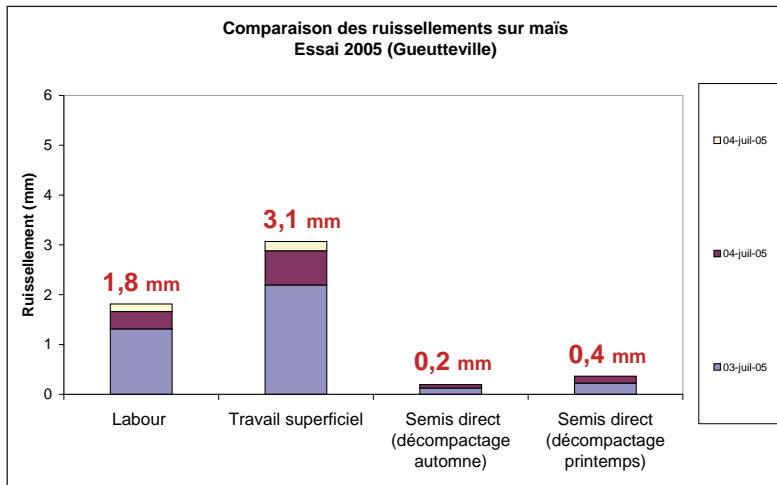
► **Figure 10** : Effet d'un semis « en réparti » sur les ruissellements totaux sous maïs (Source : Chambre d'agriculture 76)

A noter que la précision du réglage du semoir conditionne la qualité de la récolte et les rendements. Les écarts de rendement observés étaient souvent en relation avec des écarts entre les densités de semis. Mais le réglage du semoir à céréales pour l'implantation du maïs n'est pas toujours aisé.

2.3.1.3. Le semis direct sous mulch

L'objectif de cette technique est de conserver un maximum de résidus végétaux en surface. L'essai de 2005 a été conduit sur un précédent blé avec des pailles broyées sur lequel une culture intermédiaire de moutarde a été implantée. Pour les modalités « semis direct sous mulch », un décompactage a été réalisé soit à l'automne avant le semis de la culture intermédiaire, soit au printemps. Au printemps, le semis direct sous mulch a été réalisé avec un semoir spécifique avec disques ouvreurs. Pour les modalités témoins, notés « labour » et « travail superficiel » soit un labour, soit un décompactage a été réalisé au printemps, suivi d'une préparation du sol (néodéchaumeur) puis du semis (combiné herse rotative - semoir en ligne classique).

Le semis direct sous mulch présentait un taux de couverture du sol par les résidus de 25 à 30 % contrairement au semis classique sur labour, pour lequel le passage des outils n'a pas permis de conserver de résidus en surface. Le semis direct sous couvert a réduit les ruissellements de 80 % en moyenne (59 à 83 %), pour des pluies de 9 à 16 mm de hauteur, par rapport au semis classique sur labour (Cf. Figure 11).



► **Figure 11** : Effet du semis direct de maïs sous couvert sur les ruissellements totaux, Gueutteville

(Source : Chambre d'agriculture 76)

Pour la pluie la plus importante (16 mm avec une intensité de 17 mm/h), les coefficients de ruissellement sont de 13,7 % pour le traitement « semis classique » et de 0,8 à 1,4 % pour le traitement « semis sous mulch ».

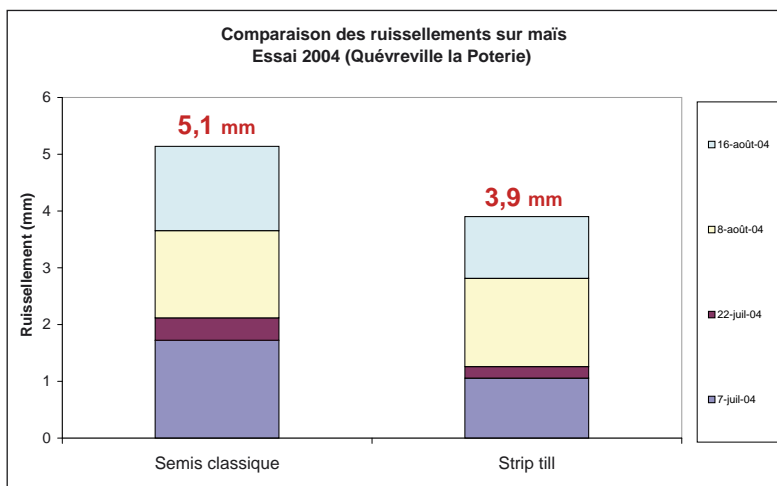
A noter que le décompactage de printemps avec un semis classique (sans mulch), noté « travail superficiel » sur la Figure 11, a augmenté les ruissellements de 69 %. La même observation a été faite sur un essai mis en place dans la Somme.

Du point de vue des rendements, sur cet essai de 2005, ceux obtenus avec le semis direct sur décompactage d'automne ne sont pas significativement différents de ceux obtenus en semis classique sur labour de printemps. Ce ne fut pas le cas en 2006, à cause d'une attaque de limaces plus importante qui a pénalisé les rendements pour la conduite en semis direct.

2.3.1.4. Le semis sur billon : Strip till

Cette technique se rapproche de la technique du semis sur bandes fraîsées. L'objectif est de ne travailler qu'une bande étroite correspondant à la ligne de semis, en laissant un mulch dans l'inter-rang. Le strip till est conçu de façon à travailler en profondeur dans l'axe de la ligne de semis tout en formant un petit billon sur lequel le semoir viendra positionner les graines. L'inter-rang est conservé intact avec le mulch en surface.

Le strip till a réduit les ruissellements de 24 % en moyenne, pour des pluies de 9 à 20 mm, par rapport au semis classique en lignes réalisé après un décompactage et un travail superficiel (Cf. Figure 12).



► **Figure 12** : Effet du semis de maïs avec un strip till sur les ruissellements totaux

(Source : Chambre d'agriculture 76)

Cependant, même avec de bonnes conditions de ressuyage du sol, le travail réalisé par le strip till n'a pas été concluant : le billon formé était constitué de mottes de terre compactes, trop grossières, laissant une

surface pas du tout homogène. Ensuite, le travail du semoir n'a pas été satisfaisant. Des répercussions négatives sur le rendement en ont découlé. En 2004, la technique ne semblait pas au point. Depuis des outils plus adaptés existent sur le marché, mais ils n'ont pas été testés dans le cadre de ces essais.

2.3.1.5. Recherches en cours sur la création de micro-dépressions dans l'inter-rang

Des tests ont été réalisés avec des disques crantés prototypes. Les premiers résultats montrent une bonne collecte des eaux de ruissellement vers les dépressions créées, qui présentent une capacité moyenne de 3 à 6 l/m². Lorsque les motifs sont bien réalisés, l'infiltration est correcte en dehors des traces de roues et le ruissellement est fortement diminué.

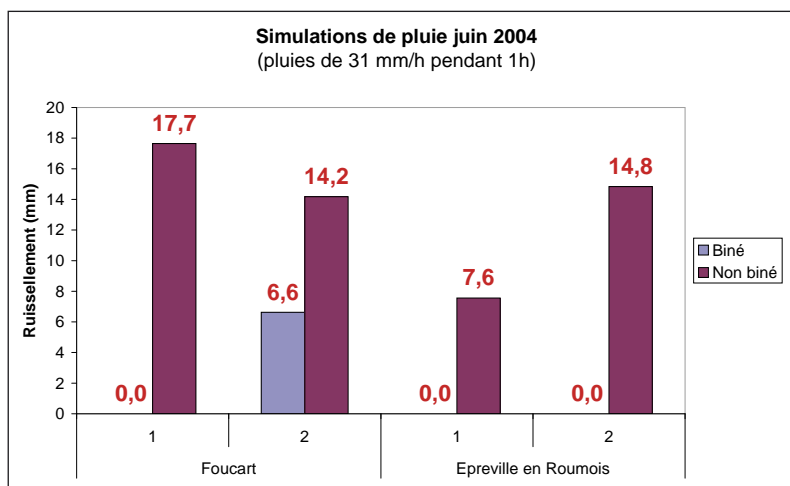
Des points restent à améliorer : lors de la réalisation des micro-dépressions pendant le semis, certains bourrelets sont écrasés par les roues du semoir et les dépressions localisées dans les traces de roues du tracteur sont plus petites. Pour plus d'information sur ces recherches, contacter l'AREAS.

2.3.2. Le binage

Lorsque la croûte de battance est formée, le binage redonne de la porosité au sol et contribue au désherbage. Le Tableau 4 et la Figure 13 donnent les résultats des mesures de ruissellement sous pluie artificielle de 31 mm/h.

Modalité	Non biné	Biné	
		Hors passage de roues	Zones de passage de roues
Pluie nécessaire avant le début du ruissellement	3 à 5 mm	> 41 mm	> 13 mm
Ruissellement après environ 1 h de pluie soit 31 mm	8 à 18 mm	0 mm	7 mm
Coefficient de ruissellement après environ 1 h de pluie soit 31 mm	25 % à 59 %	0 %	22 %
Infiltrabilité à saturation	7 à 22 mm/h	18 à plus de 33 mm/h	

► **Tableau 4 :**
Résultats de ruissellement en simulation de pluie sur maïs biné en 2004
(Source : AREAS)



► **Figure 13 :**
Résultats de ruissellement en simulation de pluie sur maïs biné en 2004
(Source : AREAS)

Des mesures effectuées sous pluie naturelle dans la Somme ont également montré une diminution du ruissellement grâce au binage.

Remarque annexe : pour les parcelles de maïs qui sont suivies d'une culture de printemps, le binage permet également d'implanter simultanément une plante de couverture de sol qui se développera pendant l'hiver. Les essais hauts-normands confirment les résultats obtenus en Bretagne par l'INRA, à savoir que le binage et l'implantation d'un Ray-Grass dans l'inter-rang n'étaient pas préjudiciables à la culture de maïs. Au contraire, une amélioration du rendement a même été mise en évidence sur certaines parcelles.

2.3.3. Enseignements

Avertissement : sur l'ensemble des essais, le taux de réduction des ruissellements apparait relativement élevé, cependant ces résultats sont à relativiser compte tenu de la faiblesse des pluies concernées.

On ne peut retenir que des tendances générales :

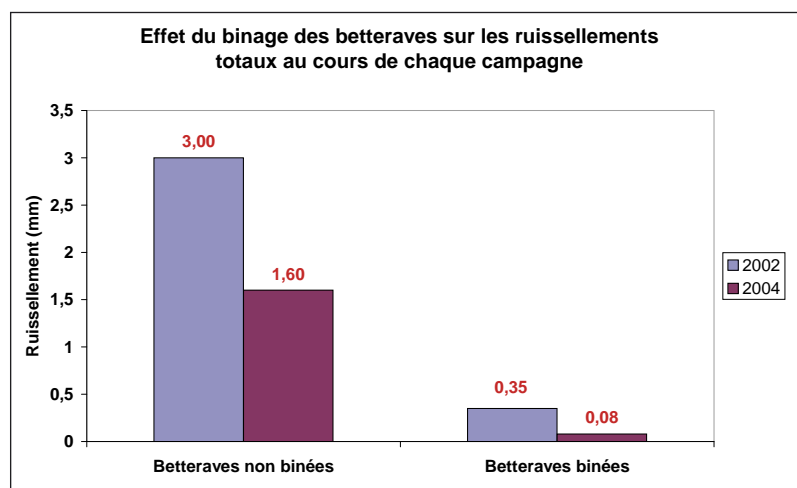
- ▶ l'intérêt de réaliser des **états de surface motteux au semis** a été de nouveau mis en évidence, tout comme celui du semis direct sous mulch avec décompactage, qui est particulièrement efficace. Le rôle du décompactage en cas de non labour occasionnel est aussi favorable. Les recherches en cours visant à créer au semis des micro-dépressions dans l'inter-rang sont une autre voie ;
- ▶ la technique de **semis du maïs au semoir à céréales**, et donc « en réparti », semble être une piste intéressante. Elle permet notamment de limiter la vitesse du ruissellement sur les parcelles en faible pente. Pour cette technique, c'est principalement l'absence de traces de roues et de sillons le long du rang qui joue un rôle positif. Il faut néanmoins faire très attention au degré d'affinement du lit de semence pour atteindre l'effet bénéfique recherché sur les ruissellements ;
- ▶ une fois la culture implantée, le **binage** constitue une solution très efficace pour doubler ou tripler les valeurs d'infiltrabilité, et pour retarder l'apparition des premiers écoulements.

2.4. BETTERAVE SUCRIERE

La betterave est une culture sarclée implantée en avril. D'avril à mi-juin, les risques d'orage sont très élevés et le développement foliaire ne permet pas une couverture du sol. Les essais ont porté sur la comparaison des techniques culturales permettant : soit de conserver un mulch par le semis direct (6 essais en non labour occasionnel), soit de briser la croûte de battance par le binage (3 essais).

2.4.1. Le binage

Globalement pour les deux années de mesures, après le binage effectué autour du 15 juin, les ruissellements ont été réduits de 88 à 95 % par rapport à une conduite classique (Cf. Figure 14). En l'absence de binage, toutes les pluies supérieures à 10 mm ont conduit à des ruissellements, alors que seulement la moitié de ces pluies ont généré des écoulements sur les parcelles binées. Les ruissellements issus des parcelles binées ont toujours été plus faibles que ceux provenant des parcelles non binées.



▶ **Figure 14** : Effet du binage des betteraves sur les ruissellements totaux à Grainville
(Source : Chambre d'agriculture 27)

Pour les pluies les plus importantes (> 10 mm) de la campagne 2002, les coefficients de ruissellement varient de 0 à 2,2 % pour la partie binée, et de 0 à 9,5 % pour les témoins. En 2004, les coefficients de ruissellement étaient de l'ordre de 0,1 % après binage, et de 1 à 3,6 % sur le témoin.

L'idéal est de pouvoir biner juste avant la couverture complète du sol par la végétation, de façon à ce que la rugosité ainsi créée soit protégée des futures pluies par la plante.

Les mesures de rendement ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre la partie binée et la partie non binée. Les essais mis en place ont mis en évidence que le binage entraînait une meilleure propreté de la parcelle.

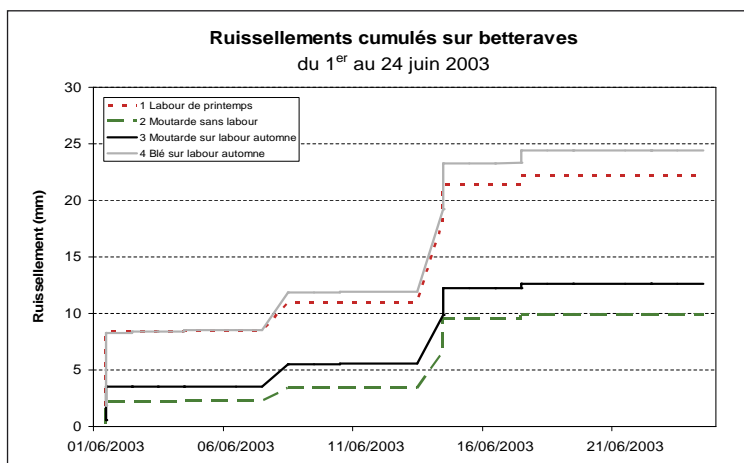
2.4.2. Le semis direct sous mulch

Sur les 6 ans de mesures, seules les années 2003 et 2004 ont permis d'obtenir des résultats de ruissellement fiables.

Les essais conduits en 2003 et 2004 ont comparé la technique de semis classique des betteraves après un labour de printemps (modalité témoin), à diverses techniques de semis sous couvert. Les semis sous couvert ont été réalisés sans labour de printemps, dans des couverts de moutarde ou de blé (2003). L'implantation des couverts a été réalisée à l'automne, soit après un labour, soit après un décompactage profond, soit sans travail profond. Lors du semis des betteraves, le couvert est constitué des résidus d'une culture intermédiaire (en cas de labour d'automne), ou des résidus de la culture intermédiaire plus ceux de la culture précédente (en cas de non labour d'automne). Aucun travail du sol préparatoire au semis n'est réalisé au printemps, pour conserver le maximum de résidus en surface. Le semis direct a été effectué avec un semoir adapté.

Les meilleurs résultats sont obtenus par le semis direct des betteraves dans un mulch de moutarde.

Les résultats de 2003 (Cf. Figure 15) montrent que le ruissellement cumulé sur le mois de juin, période la plus sensible, passe de 22 mm pour le témoin à 10 mm pour le semis sous mulch de moutarde sans labour, et à 12,5 mm pour le semis sous mulch de moutarde implantée sur un labour d'automne. Le ruissellement cumulé est donc réduit de 55 % dans le premier cas et de 43 % dans le second.



► **Figure 15** : Effet des différents modes d'implantation de la betterave sucrière sur le ruissellement cumulé (en mm) du 1^{er} au 24 juin 2003
(Source : ITB)

En 2004, les ruissellements ont été réduits de près de 75 % pendant les épisodes pluvieux de fin avril-début mai (sachant que le ruissellement cumulé sur la modalité témoin était de l'ordre de 5 mm seulement).

Pour le semis direct sous mulch dans des sols de limon, il paraît nécessaire de réaliser l'implantation de la culture intermédiaire derrière un travail profond du sol pour que le rendement des betteraves soit maintenu. Le travail profond peut être un labour ou réalisé avec un outil à dents type décompacteur. Le semis direct dans un mulch sans travail du sol au printemps nécessite un semoir bien adapté pour bien placer la graine dans le sol et éviter les problèmes de levée très préjudiciables sur le rendement.

Les parasites du sol et en particulier les limaces nécessitent un contrôle tout particulier pour ne pas avoir de destructions de plantules. Tout comme sur les essais maïs, l'absence de travail du sol au printemps laisse apparaître davantage de dégâts de limaces sur la culture. De même, le désherbage des betteraves n'est

pas facilité par la présence du mulch qui protège les adventices. Il nécessite l'application d'un herbicide total juste après le semis. Pour plus d'information sur ces techniques, consulter les fiches détaillées (voir p. 8) et contacter l'ITB 76.

2.5. POMME DE TERRE

La pomme de terre est une plante qui couvre lentement le sol au printemps. La plantation se fait en général autour de la mi-avril et le peuplement végétal ne couvre efficacement le sol qu'à compter de mi-juin. Ceci génère donc une période de 60 jours pendant laquelle le sol n'est pas protégé contre la battance. Le travail a été orienté dans deux directions :

- ▶ comparaison de l'effet de différentes techniques d'implantation : buttage conventionnel ou tamisage (3 essais) ;
- ▶ recherche de techniques améliorant la capacité d'infiltration du champ en aménageant l'entre-butte (4 essais). Ceci a conduit à l'élaboration d'un nouvel outil capable de créer des micro-barrages.

2.5.1. Les techniques d'implantation : buttage conventionnel ou tamisage

Pendant trois ans, les deux principaux modes d'implantation des pommes de terre ont été comparés. La première technique, dite « Conventionnelle », est le buttage, où la butteuse intervient quelques jours après la plantation pour donner aux buttes leur forme définitive. La seconde est l'implantation utilisant au préalable une tamiseuse, technique dite « Tamisée », où les buttes sont définitives dès l'implantation. Aujourd'hui, l'usage de la tamiseuse est répandu.

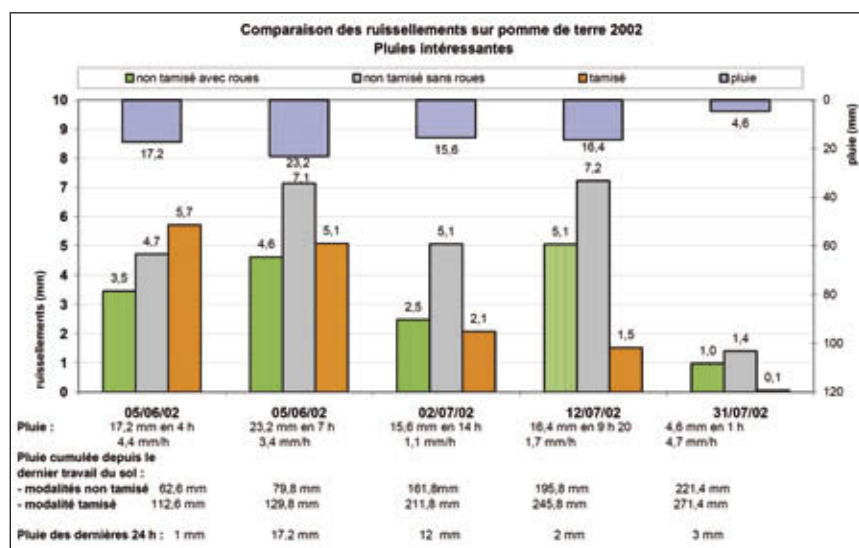
Au cours des 3 ans, les ruissellements totaux de chaque campagne ne permettent pas de trancher quant à l'effet marqué de l'une ou l'autre de ces techniques sur le ruissellement (Cf. Tableau 5).

Année	2002	2003	2004
Conventionnelle	46	5,5	12,5
Tamisée	25	9,4	8,7

▶ **Tableau 5 :**
Lame ruisselée en mm selon les 2 modalités sur 3 années
(Source : ARPTHN)

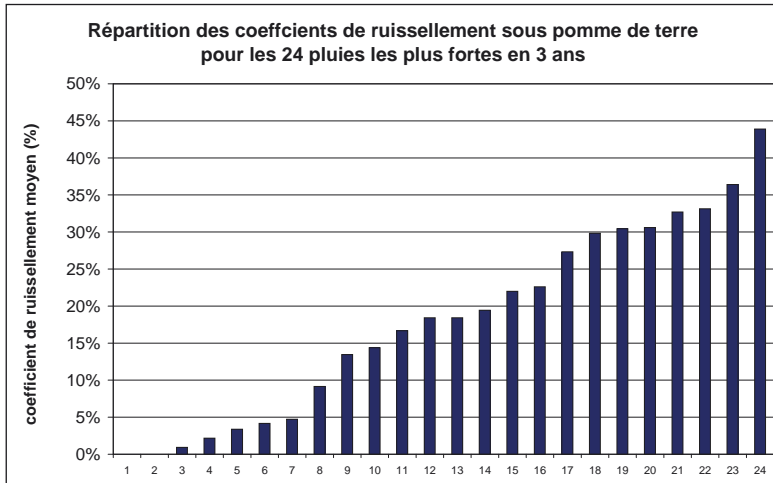
Il a aussi été constaté des inversions de comportement au cours de la saison, notamment sur les pluies les plus significatives (Cf. Figure 16). L'ensemble des valeurs moyennes cache une forte variabilité intramodalité, variabilité qui peut être supérieure à la variabilité entre les modalités et à la variabilité interannuelle.

En conclusion, il n'y a pas de différences significatives entre la technique dite « conventionnelle » et la technique dite « tamisée ».

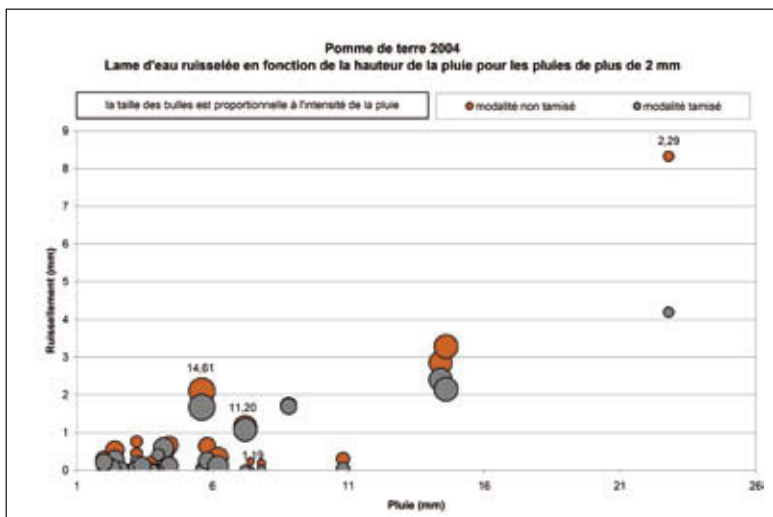


▶ **Figure 16 :** Exemple de variabilité du comportement des parcelles de pomme de terre conventionnelles (non tamisées sans roues) et des parcelles tamisées, vis-à-vis du ruissellement
(Source : ARPTHN)

Pour les pluies de hauteur supérieure à 10 mm, les deux tiers des coefficients de ruissellement moyens, quelles que soient les modalités, s'échelonnent entre 14 et 44 % avec une moyenne à 26 %. Un tiers est inférieur à 14 % (Cf. Figure 17). La Figure 18 illustre l'impact de la hauteur des pluies sur les lames ruisselées en 2004.



► **Figure 17** : Evolution des coefficients de ruissellement des 24 pluies les plus fortes sur parcelles de pomme de terre conduites en technique conventionnelle ou tamisée (Source : ARPTHN)



► **Figure 18** : Evolution des hauteurs de lames ruisselées en fonction des hauteurs de pluie, sur parcelles de pomme de terre conduites en technique conventionnelle ou tamisée, campagne 2004 (Source : ARPTHN)

En matière d'infiltrabilité, les résultats de début juin 2002 semblent indiquer des valeurs faibles, de l'ordre de 7 mm/h, qui correspondent à des sols de limon battu et peu couverts. L'analyse détaillée des plus fortes pluies de 2004 indiquent une évolution au cours de la campagne, avec des valeurs moyennes de 25 à 30 mm/h en avril, qui diminuent à des valeurs moyennes voisines de 15 mm/h après plus de 300 mm de pluie cumulée en fin de végétation.

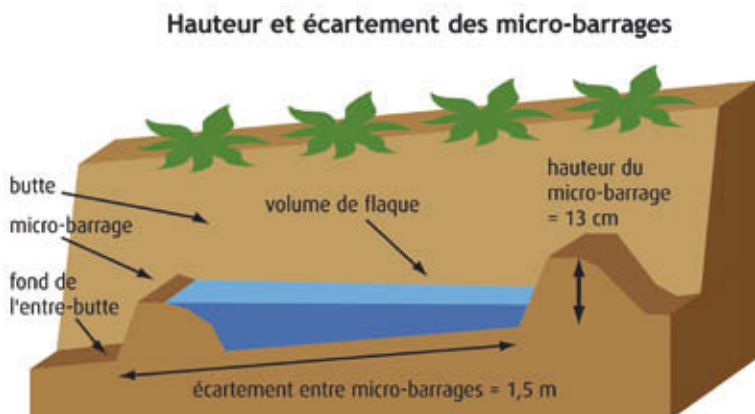
En matière de rendement, peu de différences ont été constatées en 2003 du fait d'une année très sèche. En 2004, le rendement de la modalité « tamisée » était supérieur, ce qui est conforme aux mesures de rendement comparatives pour ces deux modes d'implantation, effectuées par ailleurs.

2.5.2. Interventions sur l'entre-butte

Pour réduire le ruissellement, nous avons cherché à améliorer les capacités d'infiltration du sol et de flaquage en surface, en intervenant sur l'entre-butte. Trois outils ont été testés : les pelles créatrices de micro-barrages, les « roues anti-ravine » et les Dyckers.

2.5.2.1. Création de micro-barrages

L'outil est constitué de pelles raclant le fond de l'entre-butte par intermittence, laissant un tas de terre lorsque la pelle se relève. Ces tas de terre constituent des micro-barrages permettant de stocker l'eau de ruissellement dans l'entre-butte jusqu'à son infiltration totale (Cf. Figure 19). En bloquant tout mouvement d'eau concentré, l'érosion est stoppée tant qu'il n'y a pas de débordement. L'outil est commercialisé sous l'appellation « barbutte ».

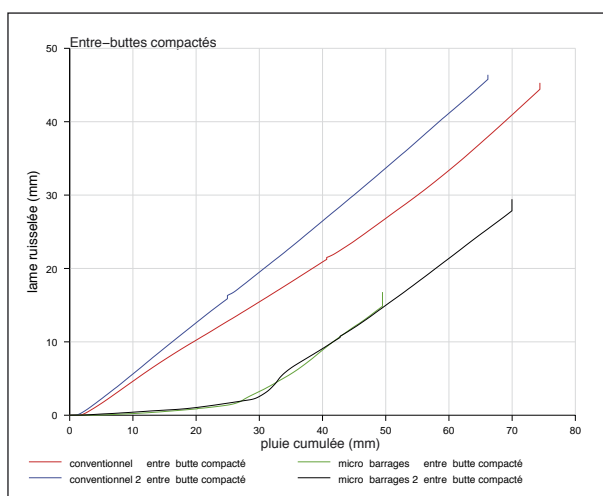


► **Figure 19** : Schéma d'une coupe parallèle aux buttes au niveau de l'entre-butte
(Source : AREAS)

Les mesures de ruissellement ont été réalisées de 2005 à 2007, en simulation de pluie (25 à 30 mm/h) sur deux placettes différentes, pour chacune des modalités « avec micro-barrages » et « conventionnelle » (Cf. Figure 20). Les résultats obtenus montrent que le gain majeur de la technique réside dans le retard de l'apparition des ruissellements (autrement dit l'augmentation des pertes initiales par infiltration et stockage dans les flaques). Ces pertes initiales sont inférieures à 2 mm pour la modalité sans micro-barrages, et supérieures à 24 mm pour la modalité avec micro-barrages.

On peut noter par ailleurs les taux de ruissellement compris entre 50 et 70 % sur la modalité conventionnelle.

Les observations ont clairement montré que l'entre-butte ne réagit pas de la même façon selon qu'il ait été compacté par les passages de roues ou non.



► **Figure 20** : Lame ruisselée en fonction de la pluie cumulée sous une pluie artificielle de 52 à 73 mm/h, essai de 2007
(Source : AREAS)

Dans cet essai, jusqu'à 30 mm de pluie cumulée, les micro-barrages ne débordent pas, le ruissellement reste très faible pour cette modalité. Ensuite, les vitesses de ruissellement deviennent semblables qu'il y ait ou non des micro-barrages. Après 39 mm de pluie cumulée, les lames ruisselées sont en moyenne de 23,0 mm pour le témoin et de 8,4 mm avec les micro-barrages de hauteur comprise entre 8 et 15 cm. D'autres essais avec des hauteurs de micro-barrages plus faibles, de 4 à 8 cm, n'ont pas montré de différences significatives de ruissellement avec le témoin.

Il existe donc une relation positive entre la hauteur des micro-barrages et la quantité de pluie nécessaire pour les faire déborder. La modélisation de la capacité de stockage des micro-barrages nous a permis de définir les objectifs **pour garantir une efficacité optimale : il convient d'obtenir une distance entre deux micro-barrages de 1,5 m environ et une hauteur de 13 cm.**

Les mesures de charges solides indiquent que les micro-barrages réduisent les départs de terre. Après 30 mm de pluie cumulée (avant de voir les micro-barrages commencer à déborder), le taux d'érosion diffuse est compris entre 1 300 et 2 300 kg/ha sur la modalité conventionnelle, et nulle en présence des micro-barrages. Ensuite, les départs de terre apparaissent aussi sur la modalité micro-barrages tout en étant plus faibles que pour le témoin. Ainsi après 39 mm de pluie cumulée, le taux moyen d'érosion diffuse atteint 2 400 kg/ha pour le témoin et 700 kg/ha en présence de micro-barrages.

L'infiltrabilité à saturation des différentes modalités reste du même ordre de grandeur. Sur l'essai de 2005, l'infiltrabilité était inférieure à 6 mm/h en technique conventionnelle et inférieure à 10 mm/h avec les micro-barrages.

Quant aux mesures de rendement effectuées, elles n'ont pas révélé de différences significatives avec ou sans micro-barrages. Dans un contexte d'évolution climatique, il est à noter qu'en période de faibles précipitations ou mal réparties en cours d'été, un tel outil permet d'assurer une meilleure utilisation de l'eau (accroissement de l'infiltration sur l'ensemble de la parcelle).

2.5.2.2. Autres techniques

La technique utilisant des « roues anti-ravine » a été mise en œuvre lors de l'implantation conventionnelle. Il s'agit d'une roue crantée qui vise à casser le lissage du fond de l'entre-butte. Cet outil a été utilisé sur nos essais en 2002 et en 2003 sans apporter l'efficacité attendue. Peu concluant, il a été abandonné. Ces résultats ont été confirmés par des expérimentations menées dans la cadre du projet belge SWAP CPP.

Les Dyckers sont des outils disponibles sur planteuse ou sur butteuse. Chacun d'eux est muni d'une dent verticale, suivie de trois bèches obliques sur un axe horizontal perpendiculaire à l'avancement, qui travaillent le fond de l'entre-butte en l'ameublissant et en créant des reliefs. L'effet sur le ruissellement et l'érosion n'a pas pu être étudié faute de précipitations significatives. Néanmoins, quelques observations effectuées en 2009 montrent une certaine efficacité pour la réduction du ruissellement, grâce à l'accroissement de l'infiltrabilité du fond de l'inter-rang, en ré-ameublissant le sol très compacté par les tracteurs et engins de préparation et de plantation. Il y a aussi un effet plus limité de création de flaques. Ainsi en limon battant, les Dyckers devraient avoir un effet positif tant que la croûte de battance ne s'est pas constituée au fond de l'inter-rang.

2.5.3. Enseignements

Après trois années de mesures, il s'avère que le mode d'implantation des pommes de terre, en technique conventionnelle ou avec une tamiseuse, n'a pas de conséquence sur le ruissellement qui reste très élevé.

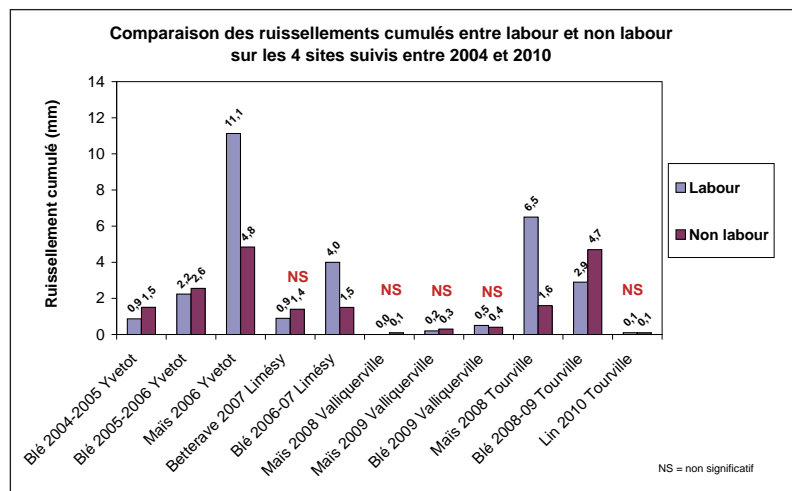
La plus forte réduction des ruissellements dans l'entre-butte a été obtenue avec les micro-barrages. Il est possible d'éviter tout ruissellement lors d'une pluie d'orage de 25 à 40 mm, avec des micro-barrages d'une hauteur supérieure à 13 cm, répartis tous les 1,5 m, lorsque le terrain a une pente inférieure à 4 %. A la récolte, il est indispensable d'utiliser un outil complémentaire pour effacer les micro-barrages, outil nommé « efface-diguettes ».

Les « Dyckers » semblent être une autre solution intéressante pour limiter le ruissellement, en redonnant une meilleure infiltrabilité aux zones compactées dans l'inter-rang, notamment celles où les engins ont circulé.

2.6. TECHNIQUES CULTURALES SANS LABOUR PERMANENT

L'arrêt du labour devrait permettre au fil des années d'accumuler la matière organique en surface, et ainsi d'accroître la stabilité structurale et de limiter le phénomène de battance, sous réserve que la préparation du lit de semence ne produise pas d'excès de terre fine et qu'une attention particulière soit apportée aux risques de compactage. Les expérimentations comparent les conduites avec labour et sans labour

(TCSL) sur les mêmes parcelles, avec un nombre d'années de non labour plus ou moins important selon les parcelles. Les essais ont été conduits pendant 5 années sur 4 sites par la Chambre d'agriculture de Seine-Maritime avec l'appui de l'AREAS, pour mesurer les ruissellements tant en hiver qu'au printemps. La Figure 21 donne les principaux résultats.



► **Figure 21** : lame ruisselée cumulée en TCSL et labour sous blé, maïs, betterave et lin (Source : Chambre d'agriculture 76)

A noter que pour les parcelles de Limésy et de Tourville, en non labour depuis moins de 3 ans, l'accumulation de matière organique en surface était encore faible et l'activité biologique n'avait pas encore pu atteindre son plein développement. Aussi, ces parcelles en TCSL ont fait généralement l'objet d'un décompactage en remplacement du labour.

Dans ces conditions, **les résultats obtenus sur l'ensemble des parcelles ne permettent pas d'affirmer que le « sans labour » produise moins de ruissellement ou plus de ruissellement que le labour.**

2.6.1. Effet des TCSL sur les ruissellements en hiver sous céréales

Compte tenu des processus de constitution des croûtes de battance en hiver, de leur généralisation sur 100 % des surfaces lorsque l'affinement du lit de semence est élevé et que la couverture du sol hivernale reste malgré tout modeste, il n'est pas surprenant que les résultats entre TCSL et labour soient assez identiques (Cf. Figure 21). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus en Bretagne.

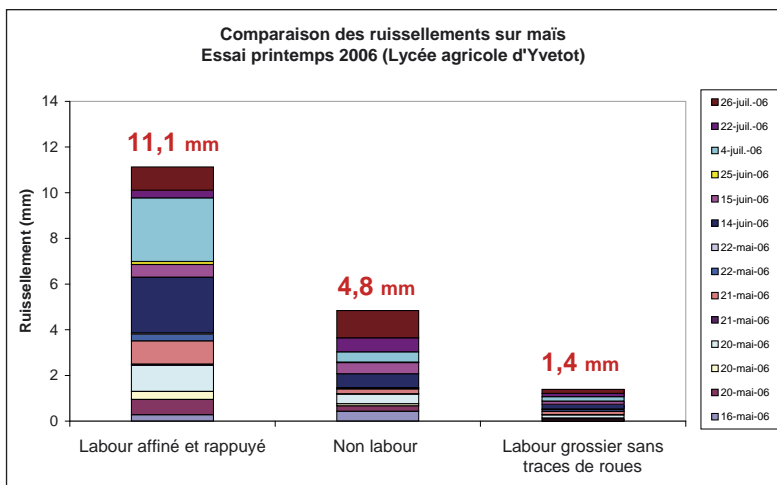
Pour les blés, les coefficients de ruissellement des pluies les plus importantes, quel que soit le type de travail du sol, sont compris dans une fourchette de 0,1 à 17,4 % en hiver (ils sont de 0,1 à 15,4 % au printemps).

2.6.2. Effet des TCSL sur les ruissellements au printemps : maïs

Les 2 essais conduits à Valliquerville en 2008 et 2009 sans résidus de culture (Cf. Figure 21) ont généré très peu de ruissellement (lame ruisselée < 0,2 mm), et les deux techniques donnent des résultats semblables. Même si le non labour est récent (2008), la forte teneur en matière organique (2,6 %) du fait de l'apport régulier de fumier et lisier tous les deux ans, peut expliquer en grande partie ces résultats.

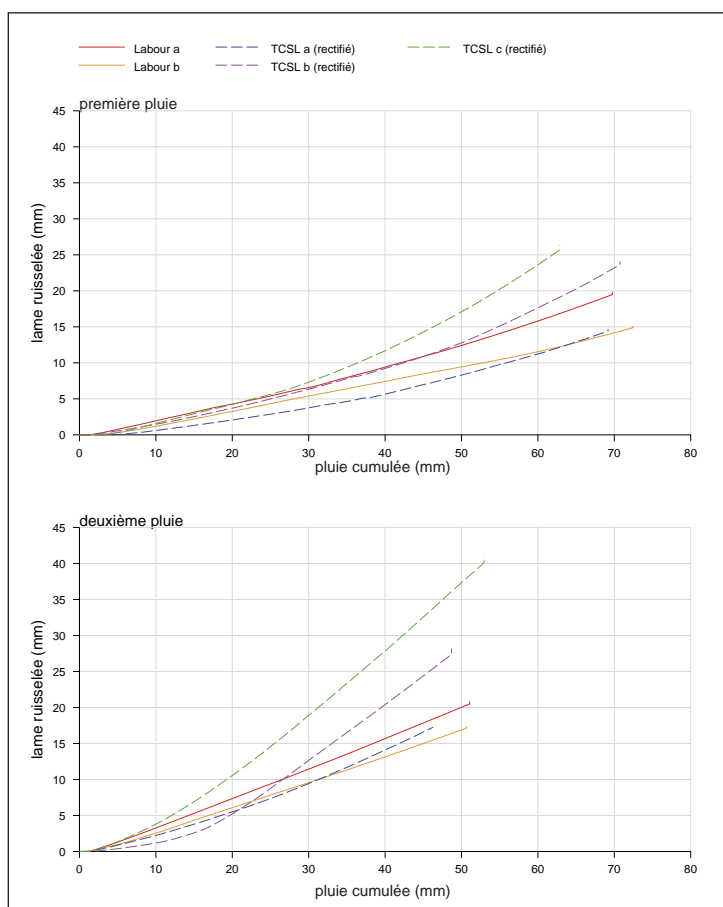
L'essai de 2008 à Tourville-la-Chapelle avec un taux de matière organique de 1,7 % et un précédent lin, montre une réduction des ruissellements cumulés de 75 % en TCSL par rapport au labour. Pour ce cas, les coefficients de ruissellement vont de 9,4 à 12,0 % en labour, et de 1,9 à 3,0 % en TCSL.

L'essai de 2006 à Yvetot montre apparemment une réduction des ruissellements de 57 % de la modalité non labour par rapport au témoin labouré (Cf. Figure 21). Mais le labour pris pour la comparaison y est qualifié « d'affiné et rappuyé » (Cf. Figure 22). Si l'on cherche à réaliser à côté un labour « grossier et sans traces de roues », il s'avère que c'est ce dernier qui est le moins ruissellant. Ces résultats illustrent le problème de la situation du témoin qui sert de référence : selon que le labour est affiné ou motteux, le jugement de l'efficacité du « sans labour » varie !



► **Figure 22** : Comparaison des lames ruisselées cumulées en TCSL et labour affiné ou motteux sous céréales (Source : Chambre d'agriculture 76)

Des mesures complémentaires ont été réalisées avec des pluies artificielles en 2006 et 2007. Les différences observées sont très faibles et variables selon les conduites (Cf. Figure 23).



► **Figure 23** : Evolution des lames ruisselées cumulées sous 2 pluies simulées successives avec une intensité de 30 à 34 mm/h sur maïs conduit en TCSL et en labour en 2006 (Source : AREAS)

Les ordres de grandeur des coefficients de ruissellement sont les suivants :

	Pluie N°1 = 33,0 mm/h (± 2 mm/h)		Pluie N°2 = 31,5 mm/h (± 2 mm/h)	
Pluie mm	Après 30 mm	Après 60 mm	Après 20 mm	Après 40 mm
Labour	20,0 %	22,7 %	33,5 %	36,0 %
TCSL	19,2 %	29,1 %	35,5 %	51,9 %

► **Tableau 6** : Comparaison des coefficients de ruissellement sur maïs en labour et en TCSL
(Source : AREAS)

Dans l'essai de 2006, les infiltrabilités à saturation sont comparables (30 mm/h) lors de la première pluie. Mais pour la seconde, elles sont de l'ordre de 20 mm/h sous labour et de 2 à 6 mm/h en TCSL. Par contre en 2007, les infiltrabilités à saturation de la deuxième pluie étaient du même ordre de grandeur : 2 à 3 mm/h sous labour et 2 à 6 mm/h sous TCSL.

Ceci illustre bien le fait que le simple NON labour ne suffit pas à lui tout seul pour réduire les ruissellements, il faut considérer l'ensemble du système de culture (passages, tassement ou compactage, précédent, taux de résidus...).

2.6.3. Effet des TCSL sur les ruissellements au printemps : betteraves

Sous pluie naturelle, les ruissellements cumulés du printemps 2007 ont été plus faibles sur la partie « labour » que sur la partie « sans labour », tout en restant extrêmement faibles pour les deux modalités (Cf. Figure 21). A noter aussi que la maîtrise du désherbage n'a pas été réussie sous TCSL, ce qui a entraîné un salissement plus important.

En complément, on pourra se reporter au chapitre 2.4 sur la betterave, où les résultats de l'ITB en « sans labour occasionnel » sont présentés.

2.6.4. Effets des TCSL sur la structure du sol et intérêt du décompactage en TCSL

Les profils culturaux réalisés sur les différents essais ont souvent mis en évidence un développement racinaire moins important en TCSL qu'en labour, à cause de la présence de zones plus compactes en TCSL qu'en labour. L'impact des zones tassées sur le rendement de la culture est resté relativement limité grâce à l'humidité du sol assez constante. C'est typiquement ce que l'on observe sous les TCSL relativement « jeunes » où l'activité biologique n'est pas suffisamment développée pour participer à la structuration du sol.

Cela illustre la nécessité en TCSL de réfléchir aux dates d'intervention pour éviter de compacter le sol, et au besoin d'utiliser les intercultures et les vers de terre pour assurer une structure du sol propice au développement racinaire.

2.6.5. Enseignements

Du point de vue de la maîtrise du ruissellement, les essais réalisés entre 2006 et 2010 n'ont pas mis en évidence d'amélioration nette, ni en hiver, ni au printemps, en TCSL avec un travail profond par rapport à une conduite en labour. Cela peut résulter soit :

- ▶ du jeune âge des parcelles en TCSL qui ne permet pas à l'effet « matière organique » de s'exprimer ;
- ▶ du degré d'affinement du lit de semence qui, s'il est trop poussé, annule tout autre effet dont celui de la matière organique ;
- ▶ d'une moins bonne porosité dans les profils culturaux sous TCSL « jeunes », ou lorsque le décompactage n'a pas été réalisé en conditions optimales.

Sous pluies artificielles, les formes des réponses des parcelles en TCSL sont parfois différentes de celles des surfaces labourées : moins de ruissellement au début et plus de ruissellement vers la fin. Cela peut provenir d'une meilleure infiltration en surface qu'en profondeur. Ainsi, après une saturation des horizons proches de la surface, l'infiltration se fait moins bien. Un tel processus repose sur la présence de zones plus tassées en profondeur sans que l'activité biologique ait pu assurer une continuité verticale à la porosité.

Par contre, si les parcelles ont eu des conditions d'implantation défavorables (sol très humide, orage long et intense, ou sur une préparation du sol favorisant le tassement du sol et l'affinement de la surface), les ruissellements peuvent alors être plus importants en TCSL.

Du point de vue agronomique, les essais ont mis en évidence davantage les difficultés à maîtriser le salissement sur les parcelles en TCSL qu'avec les approches classiques utilisées en labour. Il faudra ré-adapter la maîtrise du salissement à l'échelle de toute la rotation avec des techniques complémentaires et une vigilance particulière surtout les premières années.

2.7. DISPOSITIFS ENHERBES

Les dispositifs enherbés tels que fourrières enherbées et bandes enherbées sont depuis longtemps préconisés pour maîtriser l'érosion par les ruissellements concentrés. Le couvert végétal avec son système racinaire dense protège le sol de l'arrachement des particules par le ruissellement. Le couvert végétal ralentit aussi les écoulements qui le traversent, ce qui permet d'en réduire la charge solide par sédimentation. Ces connaissances générales ont été confirmées par des études locales (OUVRY 1989, CORPEN 1997 et CORPEN 2007).

Ces dispositifs enherbés peuvent aussi avoir un rôle dans la réduction du ruissellement par infiltration et dans la dépollution de ces eaux, dans certaines conditions : Thèse de Véronique Lecomte en 1999 ; et Expérimentation AREAS/Irstea (anciennement Cemagref) en 2005.

2.7.1. Infiltration des dispositifs enherbés

Sur les placettes expérimentales, l'herbe a été implantée à l'automne en même temps que le blé cultivé sur la parcelle, et ces bandes enherbées étaient préservées de tout passage d'engins au cours de la campagne culturale.

Sur l'ensemble des campagnes peu pluvieuses (1996-97 et 1997-98), les bandes enherbées de 6 mètres ont réduit en moyenne le ruissellement de 63 % en 1996-97, et de 84 % en 1997-98 (Cf. Figures 24 A et 24 B). Ceci donne donc une efficacité moyenne de 77 %, mais elle varie selon les événements de 42 à 100 % en hiver et de 7 à 100 % au printemps.

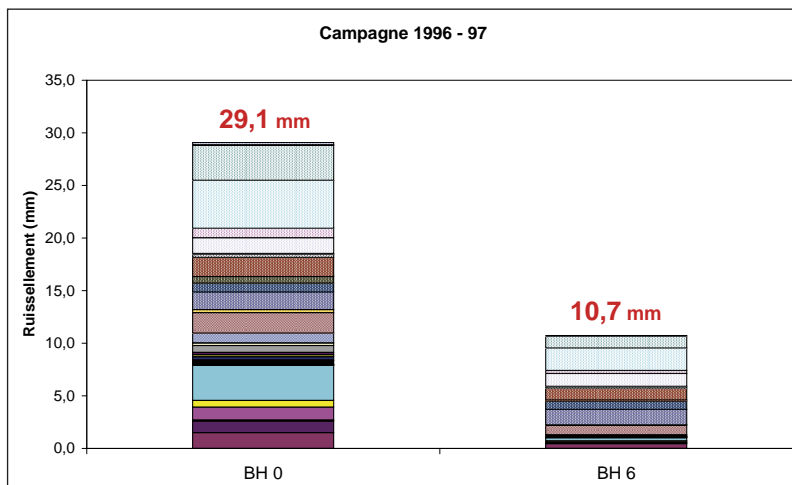


Figure 24 A : Ruissellements cumulés pour la campagne 1996-97 à l'aval des placettes de 54 m de blé sans bande enherbée (BH0) ou avec une bande enherbée de 6 m (BH6) hors périodes d'enregistrements défectueux

(D'après V. LECOMTE, 1999)

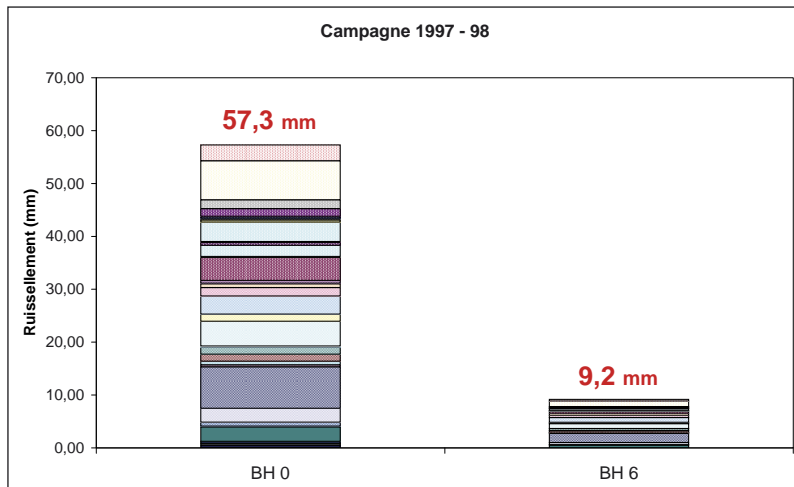


Figure 24 B : Ruissellements cumulés pour la campagne 1997-98 à l'aval des placettes de 54 m de blé sans bande enherbée (BH0) ou avec une bande enherbée de 6 m (BH6) hors périodes d'enregistrements défectueux

(D'après V. LECOMTE, 1999)

Les enregistrements des débits instantanés à l'amont et à l'aval des bandes enherbées ont permis d'évaluer la capacité maximum d'infiltration à 50 - 60 mm/h pour l'ensemble de ces bandes enherbées « récentes ». Au printemps 2005, l'AREAS et l'Irstea ont mesuré l'infiltration de dispositifs enherbés anciens soumis à un ruissellement artificiel. Ces dispositifs enherbés étaient en place depuis plus de 10 ans et leur éventuel tassement est dû au passage d'engins agricoles. Ces mesures ont été effectuées sur une fourrière enherbée tassée, une fourrière enherbée non tassée, ainsi qu'un chenal enherbé tassé.

Sur les dispositifs enherbés tassés, les infiltrations moyennes à saturation sont comprises entre 0 et 21 mm/h. Sur la fourrière enherbée non tassée, l'infiltration moyenne a été de 172 mm/h.

2.7.2. Sédimentation et dépollution par les dispositifs enherbés

Dans le dispositif expérimental, mis en place pour suivre les campagnes 1996-97 et 1997-98, 3 paramètres qualitatifs ont été suivis : la charge solide des ruissellements, les concentrations de l'isoproturon et celles du diflufenicanil.

Au cours des deux campagnes de mesure, l'érosion a été réduite de 76 % au cours de la saison 1996-97 et de 98 % au cours de la saison 1997-98 par la bande enherbée de 6 m. Cependant, l'efficacité diminue lorsque l'intensité du ruissellement augmente, et seules les particules les plus grossières (sables et limons grossiers) sont retenues. Par contre, l'efficacité augmente d'autant plus que les bandes enherbées sont larges et bien implantées.

Les concentrations en pesticides ne sont que légèrement plus faibles après que le ruissellement ait traversé la bande enherbée. L'essentiel de la réduction du flux de pesticides par les bandes enherbées est donc dû à l'infiltration.

2.7.3. Enseignements

Les travaux régionaux, comme les résultats internationaux, confirment le rôle des dispositifs enherbés dans l'infiltration et le piégeage efficace des sédiments transportés par le ruissellement. Les parcelles agricoles étant 8 à 10 fois plus longues que les placettes expérimentales, les estimations par modélisation indiquent que pour être efficaces, les fourrières enherbées doivent être proches de 20 m de large dans les régions de limon battant à fort risque d'érosion. La brochure du CORPEN 2007 intitulée « Zones Tampons » précise les conditions de mise en œuvre optimale des bandes enherbées.

Ces dispositifs enherbés ont aussi un rôle très positif dans la réduction des pollutions associées lorsqu'ils conservent une capacité d'infiltration élevée. Pour maintenir cette capacité d'infiltration, le dispositif enherbé ne doit pas être tassé. En particulier, si la zone enherbée sert au passage d'engins agricoles, alors la capacité d'infiltration est grandement amoindrie.

Tout ceci confirme l'intérêt des dispositifs enherbés en aval des zones d'érosion pour limiter le transfert de particules et le cortège d'éléments associés vers des secteurs vulnérables.

CHAPITRE 3 Conclusion

Les exploitants agricoles disposent de marges de manœuvre réelles pour limiter les ruissellements et l'érosion à la parcelle sur l'ensemble des cultures régionales. La soixantaine d'essais sur les pratiques culturales, conduits en Haute-Normandie pendant 10 ans par les 6 partenaires, le mettent bien en évidence. Un objectif de réduction de 50 % des ruissellements des événements pluvieux les plus courants (< 10 ans) est réalisable en moyenne.

Comment atteindre ou dépasser cet objectif ? Les résultats des expérimentations démontrent les points suivants :

- ▶ quelles que soient les cultures, toutes les expériences prouvent le rôle majeur de l'affinement de la surface des champs dans l'apparition du ruissellement. Plus les états de surface sont motteux et plus l'infiltration reste élevée. En sol de limon moyen ou sableux, avec un taux de matière organique inférieur à 2,5 %, il est primordial de ne pas faire de « farine » en surface. Des techniques existent, selon les cultures et les systèmes de production, pour limiter l'affinement excessif. En général, le gain est bien marqué pour les pluies les plus fréquentes, même de 10 à 30 mm, si leur intensité ne dépasse pas 5 à 10 mm/h en hiver, ou 20 mm/h au printemps ;
- ▶ la mise en place d'un couvert végétal en interculture, partout où cela est possible, s'avère très efficace dès lors que le taux de couverture dépasse 40 %. Le semis d'une culture intermédiaire est à généraliser après toutes les récoltes effectuées avant le 15 septembre. Pour les récoltes tardives, d'autres solutions sont à développer comme le semis de Ray-Grass sous couvert de maïs ensilage ;
- ▶ les techniques de binage des betteraves et du maïs, d'écroûtage des céréales et de création de micro-barrages dans l'inter-rang des pommes de terre, permettent de réduire significativement les ruissellements en cas de pluie intense printanière ;
- ▶ l'utilisation systématique d'effaceurs de traces de roues permet aussi de limiter les ruissellements ;
- ▶ en complément de ces interventions sur les états de surface, les essais ont démontré l'intérêt d'éviter tout tassement superficiel ou profond généré par les passages de roues, afin de préserver les capacités d'infiltration du sol en période humide. Cela est vrai pour tout système de culture ;
- ▶ les mesures effectuées sur des parcelles présentant des taux élevés de matière organique, correspondant généralement à des exploitations d'élevage, ont montré que les ruissellements étaient très faibles sur ces parcelles, qu'elles soient labourées ou non ;
- ▶ ainsi, outre le rôle déterminant du type de travail du sol sur les états de surface, les ruissellements et l'érosion, l'ensemble des essais montre toute l'importance des modes de gestion des parcelles et de l'ensemble du système de culture. La quantité de ruissellement produite sur une parcelle dépend de plusieurs conditions qui interagissent : types de cultures et leur succession, apport de matière organique, fréquence de travail et degré d'affinement du sol, vie du sol. Il suffit que l'une de ces conditions ne soit pas remplie pour que les ruissellements ne soient pas diminués ! Ceci confirme que la gestion de la parcelle a une incidence aussi forte sur la maîtrise des ruissellements que le mode de travail du sol lui-même ;
- ▶ en ce sens, les enseignements mitigés obtenus dans les essais sans labour, ne disent pas autre chose : une seule modification ou adaptation d'outil (suppression de la charrue) peut s'avérer sans effet si les autres conditions demeurent, en l'occurrence le maintien de la herse rotative qui génère beaucoup de terre pulvérisée en surface.

Au final, tous ces travaux de recherche appliquée donnent les voies des adaptations techniques possibles, illustrent les gains potentiels en matière de ruissellement et indiquent aussi les limites de leur efficacité. Compte tenu précisément de ces limites, **la mise en œuvre complémentaire d'aménagements dits « d'hydraulique douce » est indispensable en Haute-Normandie** pour réduire les impacts sur toutes les zones sensibles ou vulnérables, situées en aval dans les talwegs et les vallées. Ces aménagements sont nécessaires pour éviter le ravinement dans les terres agricoles mais aussi les transferts d'eaux boueuses vers : les bourgs, les ouvrages hydrauliques, les rivières, les réseaux, et les puits karstiques (ou bétoires) en relation avec la nappe phréatique.

Toutes ces acquisitions de références ont pu être réalisées grâce aux soutiens financiers de :



CAS.DAR