

Analyse des capacités d'infiltration potentielle
aux périodes à risque sur des parcelles cultivées
en Techniques Sans Labour et en Labour

**Résultats des Mesures
de ruissellement et d'érosion
diffuse sur blé d'hiver en semis
sans labour versus en semis sur
labour**

Expérimentations sous
simulation de pluie
réalisées en Pays de Caux,
Rapport détaillé.

Réalisation : AREAS - CA76
Période : Novembre 2014 - mai 2016.

**J.F. OUVRY
M. SAUNIER
N. COUFOURIER
JB. RICHT**

Décembre 2016



Ce programme d'expérimentation a été soutenu par l'AESN et par les Départements de la Seine Maritime et de l'Eure, dans le cadre de 2 programmes de recherche appliquée complémentaires 2014-2015 et 2015-2016 intitulés :

Mesures comparatives des ruissellements en techniques de semis direct sous couverts (TSDSC) et techniques culturales sans labour (TCSL) optimales versus Labour en Normandie.

Et conditions pour obtenir les meilleurs résultats en période à risque pour les collectivités.

Ce programme a été réalisé par l'AREAS en collaboration avec la Chambre d'Agriculture de la Seine-Maritime - Nicolas COUFOURIER - qui a notamment assuré l'examen des systèmes de culture, le comptage des vers de terre et a apporté son aide aux expérimentations.

Remerciements

L'AREAS remercie toutes les personnes ayant contribué à la réalisation des 11 expérimentations en Blé et en Betterave, à commencer par les 9 agriculteurs qui ont permis la réalisation des expérimentations sur leurs parcelles :

- **JC. Barret** sur 1 parcelle à Benesville ;
 - **J. Bellet** sur 3 parcelles à Goderville ;
 - **M. Bouquet** sur 1 parcelle à Biville la Baignarde ;
 - **H. Blondel** sur 1 parcelle à Gonneville sur Scie ;
 - **A. Chedru** sur 1 parcelle à Goderville ;
 - **G. Dalibert** sur 1 parcelle à Trouville ;
 - **A. Blondel** sur 1 parcelle à Bretteville du Grand Caux ;
 - **JP. Lecaron** sur 1 parcelle à Bolbec ;
 - **M. Roussel** sur 1 parcelle à Gonzeville.
- Et tous les techniciens qui ont participé et aidé à la réalisation des expérimentations,
 - les membres du comité de pilotage,
 - ainsi que les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce rapport et à la relecture.

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans le soutien des partenaires financiers et de leurs techniciens, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et les Départements de Seine-Maritime et de l'Eure, qu'ils en soient remerciés.

Réalisation : Association de recherche du Ruissellement, l'Erosion et l'Aménagement du Sol, 2 avenue Foch, 76460 St Valery en Caux 02.35.97.25.12. www.areas.asso.fr – décembre 2016

Crédit photos : AREAS - CA76

Reproduction soumise à autorisation

SOMMAIRE :

1. CADRE ET OBJECTIFS DES EXPERIMENTATIONS	page
1.1. Cadre de l'intervention	4
1.2. Objectifs des expérimentations	5
2. SITES DE MESURES	
2.1. Localisation	7
2.2. Types de techniques d'implantation du Blé d'hiver testées avec le simulateur de pluie.	8
2.3. Sols sur les parcelles testées	9
2.4. Processus érosif testé avec un simulateur de pluie	9
3. MATERIEL et METHODES - Protocole expérimental pour la simulation de pluie	
3.1. Le dispositif de mesure du ruissellement et de l'érosion diffuse sous pluie artificielle	11
3.2. Les surfaces testées	12
3.3. Types d'enregistrements bruts et de mesures réalisés	12
3.4. Les pluies appliquées	14
3.5. Informations et Résultats tirés de chaque essai	16
4. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DES PARCELLES ET DES EXPERIMENTATIONS	17
4.1. Localisation et caractéristiques particulières des 8 parcelles comparées	20
4.2. Type de Sol sur les parcelles testées	20
4.3. Pentés des parcelles testées	20
4.4. Taux de couvert végétal des parcelles lors des simulations de pluie.	22
4.5. Etats de surface des parcelles	23
4.6. Analyse complémentaire de dénombrement des vers de terre	26
4.7. Points importants	31
4.8. Premiers éléments de compréhension tirés des états de surface des parcelles	32
5. RESULTATS GENERAUX DES SIMULATIONS DE PLUIE SUR BLE D'HIVER	35
5.1. Résultats des ruissellements sur Blé d'hiver : phases d'imbibition et transitoire	35
5.1.1. Illustration de la complexité des courbes de réponse	36
5.1.2. Phase d'imbibition ou Pluie sans ruissellement	38
5.1.3. Hauteur de pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent : (phase d'imbibition +phase de régime transitoire)	41
5.2. Analyse des Résultats de ruissellement-Infiltration à saturation	43
5.2.1. Analyse des intensités de ruissellement à saturation en régime permanent	47
5.2.2. Analyse des intensités d'infiltration à saturation en régime permanent	50
5.2.3. Analyse des lames ruisselées cumulées en fonction de la pluie	55
5.2.4. Résultats des lames ruisselées après 30 mm de pluie cumulée.	58
5.2.5. Résultats des lames ruisselées après 10 mm de pluie cumulée.	60
5.3. Analyse des Résultats sur l'érosion diffuse par le biais des concentrations en MES	62
6 RESULTATS COMPLEMENTAIRES SOUS PLUIES NATURELLES EN 2015	64
6.1. Matériel – Méthode et Pluies analysées	64
6.2. Analyse des résultats de ruissellements cumulés en hiver	67
6.3. Analyse des résultats de ruissellements individuels sur les événements significatifs	68
6.4. Bilan des enregistrements sous pluies naturelles	69
6.5. Examen comparé entre le semis sous couvert et le semis après travail superficiel	70
7 BILAN sur les résultats en blé d'hiver	71
7.1. Pour les semis après Labour avec un précédent colza ou lin	71
7.2. Pour les Semis Directs Sous Couvert	73
7.3. Pour le semis après Travail Superficiel	77
7.4. Résumé général des principaux résultats	78
8. CONCLUSION GENERALE SUR BLE ET PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS	83

1. CADRE ET OBJECTIFS DES EXPERIMENTATIONS

1.1. Contexte et cadre de l'expérimentation

Cette expérimentation s'inscrit dans le cadre du programme de recherche appliquée porté par l'AREAS en collaboration avec la Chambre d'Agriculture de Seine-Maritime.

Sur le territoire de la Normandie, les techniques culturales sans labour prennent de plus en plus d'importance.

Depuis une 30 d'années, un petit nombre d'agriculteurs haut-normands exploitent leurs terres de cette façon. Mais à l'heure actuelle, vu les améliorations des outils de travaux du sol et l'augmentation des savoir-faire techniques, nous constatons un réel engagement d'un nombre croissant d'exploitants agricoles. Ainsi, l'Association Sol en Caux, créée en 2014 par un groupe de 20 agriculteurs, sont en cours de changement de système de production en s'engageant dans ces techniques. D'autres agriculteurs sont en passe de suivre cette orientation technique.

La volonté de ces acteurs est de développer ces techniques en visant une triple performance :

1. Economique ;
2. Environnementale, en mettant en avant les questions de préservation de la ressource en eau et des inondations, grâce aux effets escomptés sur les ruissellements, l'érosion des terres, l'élévation de la teneur en matière organique, l'amélioration de la stabilité structurale et la vie du sol ;
3. Sociétale, en ayant de moins en moins recourt aux produits extérieurs.

En matière de réduction de l'érosion et du ruissellement, la bibliographie internationale et française démontre des effets tantôt positifs, tantôt négatifs (ADEME 2007). Il faut garder en mémoire que les processus érosifs du nord de la France sont essentiellement dus au ruissellement concentré (Boiffin et al 1987). Aussi, si l'érosion diffuse est limitée sur les parcelles amont grâce à ces Techniques Culturales Sans Labour (dites TCSL), sans que le ruissellement ne soit réduit, alors ce dernier pourra se concentrer dans les talwegs, les éroder (surtout si ces parcelles restent en labour) et générer toujours autant de boue pour le milieu récepteur aval ! : Le ruissellement est bien le principal problème de la Région.

Les effets positifs des techniques sans labour sont largement diffusés, **pour autant, les limons battants de la région Normandie et les cultures en rotation ne permettent pas forcément de réunir les conditions favorables à une réduction des lames ruisselées, ni de l'érosion, notamment en période hivernale.** Ce travail n'a pas pour objet de détailler les raisons pour lesquelles ces conditions ne sont pas atteintes (voir le détail dans le rapport ADEME 2007), mais d'acquérir des références solides et de présenter les résultats d'essais régionaux.

Conscient des enjeux de ruissellement, de transferts de MES et de produits associés, et par ailleurs connaissant le potentiel de ces techniques pour améliorer la situation dans certaines conditions, l'AREAS a proposé de réaliser des campagnes de mesures sur les principales cultures en place aux périodes à risque, afin d'obtenir des données pertinentes. Les données recherchées doivent permettre de répondre aux questions suivantes :

- Avec les techniques sans labour, quels sont les potentiels d'infiltration aux périodes où les perméabilités sont minimales ;
- A ces périodes, quels impacts ont ces techniques sur les lames ruisselées et l'érosion diffuse.
- Quelles conditions réunir pour que les TCSL aient de fortes chances de réduire tant le ruissellement que l'érosion diffuse en région de limons battants du nord de la France.

Le but général final est de déterminer si les nouveaux systèmes de pratiques culturales à base de techniques de semis sans labour peuvent réellement limiter les ruissellements en région de grande culture du nord de la France sur limons battants et de définir les principes permettant d'obtenir des résultats positifs.

En particulier, il s'agit de déterminer les Potentiels d'Infiltration obtenus avec ces techniques aux périodes où les perméabilités sont minimales.

Ce travail d'expérimentation n'a pas pour but une étude comparative des résultats entre Labour et Non Labour ; mais de caractériser les potentiels des techniques dans un contexte ruisselant d'hiver sous des pluies longues et d'intensités faibles.

1.2. Objectifs précis de ces expérimentations

Parmi les actions possibles, le choix a été fait d'effectuer une série d'expérimentations sur 2 types de conduite de culture, l'une classique à base de labour et l'autre dite de conservation des sols qui repose soit sur le semis direct sous couvert, soit sur le travail superficiel.

Après analyse, il a été choisi de retenir la méthode expérimentale basée sur les simulations de pluie. Ces simulations sont conduites aux saisons qui correspondent aux grandes périodes de ruissellement observées sur les bassins versants et sur des cultures représentatives. Ainsi, le choix des cultures expérimentées s'est porté sur :

- **Le Blé d'hiver**, car il représente en moyenne 45 à 60 % des terres labourables, et c'est à cette période que l'on enregistre la majorité des volumes ruisselés annuels (*source : Pesticéros*), c'est donc la culture qui présente un état de surface le plus susceptible de ruisseler.

En outre, sur la campagne de Blé 2014-2015, les sites de mesures ayant pu être installés de façon précoce, un suivi sous pluies naturelles a pu être réalisé, ce qui apporte quelques enseignements complémentaires.

Afin d'atteindre l'objectif de « mesurer **les potentiels d'infiltration** aux périodes où les perméabilités sont minimales », l'AREAS a réalisé une partie des simulations de pluie et des mesures d'érosion sur des couples de parcelles en labour et en semis sans labour sur des parcelles conduites depuis de très nombreuses années avec ces techniques. Les valeurs de « **potentiel** » d'infiltration minimale sont obtenues par des mesures de la capacité d'infiltration à saturation sur des états de surface fermés par des croûtes de battance généralisées en plein hiver. De plus, pour mesurer des valeurs de « **potentiel** » d'infiltration minimale, le choix a été fait de retenir certaines parcelles en labour et en non labour chez des agriculteurs maîtrisant très bien leurs techniques culturales.

Les objectifs précis de ces expérimentations sont les suivants :

- Mesures des ruissellements et leur évolution sous pluie intense simulée sur des placettes de 10 m².
- Mesures de l'érosion diffuse et leur évolution sous pluie intense simulée sur des placettes de 10 m².

Enfin, pour représenter les régions de grandes cultures du nord de la France sur limons battants très sensibles aux ruissellements, il a été choisi de réaliser l'ensemble des expérimentations en Pays de Caux.

Concrètement, l'organisation a été la suivante :

AREAS

- Choix des parcelles,
- Mise en place du matériel,
- Réalisation des simulations de pluies sur les placettes avec différentes pluies érosives,
- Prélèvements des échantillons pour analyses de MES,
- Interprétation des résultats,
- Rédaction du rapport d'expérimentation.

Chambre d'Agriculture de Seine-Maritime

- Enregistrement des pratiques culturales et des systèmes de cultures,
- Comptage des vers de terre,
- Appui lors de la réalisation des simulations de pluie sur les placettes,
- Rédaction des parties correspondantes du rapport.

- Réalisation et description des profils pédologiques sur les 8 parcelles.

Les mesures ont été réalisées sur 8 parcelles différentes. Pour chacune, 2 placettes ont été testées, soit 16 couples de placettes. Enfin sur chaque placette, 2 intensités de pluie ont été réalisées à l'exception de 2 parcelles de 2015.

Cela représente un total de 32 simulations de pluies qui permettent de tirer des conclusions relativement fiables.

Les dates de simulations ont été choisies pour évaluer au mieux les potentiels d'infiltration à saturation sur des états de surface fermés par des croûtes de battance généralisées,

Pour les blés, **les dates retenues sont en milieu ou en fin d'hiver**, quand les croûtes sont en place, bien développées et que les résidus de culture ou mulch ont beaucoup diminués : **la pire des situations**. De même, les différences de comportement qui pourraient exister pendant les phases de développement des encroûtements plus ou moins rapides, ne peuvent pas être mises en évidence. Aussi les résultats ne reflètent que le stade ultime de la dégradation des états de surface des sols selon les modalités d'implantation des cultures.

2. SITES DE MESURES EN PAYS DE CAUX

2.1. Localisation générale de tous les sites

Les 8 sites de mesures ont été implantés sur des parcelles situées sur le plateau du Pays de Caux (Figure N°1). Ce territoire essentiellement agricole est constitué de sols majoritairement limoneux épais, non hydromorphes et de pente inférieure à 3%.



Figure N° 1 : localisation schématique des parcelles testées en Pays de Caux. En rouge les parcelles de Blé et en jaune celles en Betteraves (source du fond de plan : ViaMichelin.fr).

Le tableau N°1 donne le nom des communes de localisation des 8 sites expérimentaux en blé d'hiver :

		Blés d'hiver		
		Labour	Travail superficiel	SDSC
2015	Gonneville sur scie			Biville la Baignarde
	Bretteville du Grand Caux		Goderville	
2016	Bénesville			Gonzeville
	Goderville			

Tableau N° 1 : Localisation des 8 sites expérimentaux en Blé d'hiver.

La localisation précise de chaque site est donnée en annexe sur orthophoto.

2.2. Types de techniques d'implantation du Blé d'hiver testées avec le simulateur de pluie.

Le potentiel d'infiltration a été recherché en simulation de pluie sur 3 types de techniques d'implantation des cultures très différentes :

1. **En premier, pour avoir un élément de référence connu, la technique dite classique de semis a été testée. Il s'agit d'un semis après labour.** Classiquement le semis est réalisé en un passage, avec un tracteur équipé d'un tasse-avant, de roues larges, d'une herse rotative suivi du semoir en ligne et d'un rouleau Parker.
2. **En second, une technique de Non Labour, sans travail du sol, juste un Semis Direct Sous Couvert a été testée.** Il s'agit d'une technique de Non Labour très aboutie. Sur céréales, elle est mise en œuvre directement dans un couvert de mulch de pailles de colza ou de céréales, ou dans un couvert vivant d'interculture, avec un semoir en ligne spécial.
3. **En troisième, une technique de Non Labour, avec un semis classique après un simple travail superficiel par un outil à dents.**

Le détail de chaque train d'outils utilisés par chaque exploitant agricole est présenté en annexes.

Le tableau N° 2 suivant présente les sites par technique d'implantation de chaque culture.

		Implantation du Blé		
		Après Labour	Semis Direct Sous Couvert	Sur Travail Superficiel
2015	Gonneville sur scie		Biville la Baignarde	Goderville
	Bretteville du grand Caux			
2016	Bénesville		Goderville 1(après colza)	
			Goderville 2 (après interculture)	
			Gonzeville	

Tableau N° 2 : liste des communes où les simulations de pluies ont été réalisées.

2.3.Sols sur les parcelles testées

Les sols de toutes les parcelles présentent des caractéristiques pédologiques semblables :

- Texture de surface de limons moyens-sableux très battants avec 15 % d'argile en moyenne ($\pm 3\%$) ;
- Limons profonds, avec une activité biologique variable.



La photo, ci-contre, illustre la battance en surface le 02/02/2016 dans un champ de blé.

2.4.Processus érosif testé avec un simulateur de pluie

La bibliographie précise que toute particule arrachée par l'érosion hydrique, pourrait être issue de 3 différents processus érosifs :

- Erosion diffuse sur chaque m^2 des sols nus soumis à des pluies plus ou moins intenses, avec des variantes dans les processus selon la teneur en argile des agrégats et leur degré de dessiccation (hiver ou printemps),
- Erosion linéaire sur les versants dont la pente est supérieure à 3%,
- Erosion linéaire concentrée dans les talwegs en culture (terre ameublie) avec des vitesses d'écoulement supérieures à 0,16 m/s, ce qui suppose soit d'avoir des pentes supérieures à 1%, soit de gros débits en lien avec des surfaces de bassin versant de plusieurs dizaines d'hectares en culture ou imperméabilisées.

Compte tenu des caractéristiques géomorphologiques des parcelles testées, avec des pentes faibles de 2 à 4,5% et des longueurs de pente de 5 m, seul le premier processus érosif a été mesuré par ces expérimentations en simulation de pluie.



Auget basculeur et enregistreur (à l'extérieur).

Gouttière de récupération du ruissellement et de l'érosion diffuse

Buse en cours de pulvérisation

Placette : 2x5 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

Figure N° 2 : le simulateur de pluie de l'AREAS en fonctionnement, sans son toit



Figure N° 3 : Auget basculeur avec enregistreur et fosse de sortie en aval

3. MATERIEL ET METHODE - PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR LA SIMULATION DE PLUIE

3.1. Le dispositif de mesure du ruissellement et de l'érosion diffuse sous pluie artificielle

Le simulateur de pluie est présenté sur les photos, ci-contre, figures N° 2 et 3. Il est constitué d'un cadre métallique portant 2 rangées de 3 buses disposées à 2 m de hauteur. Un double manomètre permet de régler précisément la pression dans les rampes, afin de délivrer un débit constant pendant plusieurs heures. Un filet brise vent assez étanche entoure la zone d'essai, afin d'éviter toute dérive due au vent. Le ruissellement est récupéré par une gouttière et le débit est mesuré dans un auget basculeur. Ces augets ont été mis au point par l'INRA de Grignon (Ph Martin). Ils ont été passés au banc d'étalonnage, en janvier 2015, avant l'expérimentation pour valider chaque courbe d'étalonnage. Une pompe électrique, branchée sur un générateur électrique, vide en permanence la fosse de sortie des ruissellements. Des échantillons d'écoulements sont prélevés toutes les 10 mn en sortie de gouttière, pour des analyses de MES. Des contrôles manuels réguliers sont réalisés toutes les 10 mn pour vérifier les débits sortants. Enfin, l'intensité pluvieuse est mesurée pour chaque essai, dans les conditions de vent locales avant ou après chaque simulation de pluie *stricto sensu*. Si les conditions de vent changent en cours d'essai, la procédure est répétée immédiatement après la simulation de pluie. L'intensité pluvieuse de chaque expérimentation est contrôlée précisément à l'aide de tôles ondulées directement disposées sur la surface totale et exacte de la placette. Ainsi, c'est l'intégralité de la pluie reçue par la placette qui est envoyée vers les augets basculeurs et mesurée 2 ou 3 mm/h près.

Choix des buses :

Le jeu de buses à 55 mm/h (± 7 mm/h) est souvent utilisé (buses à cône plein de type tangentiel, soumises à une pression de 0,9 bars ; fabricant PNR, modèle ATW1780T1). Il donne une forte intensité pluvieuse, mais avec une répartition de la pluie au sol assez hétérogène (voir annexe 1). Si les pluies depuis le dernier travail du sol ont été trop faibles pour développer une croûte de battance sur la parcelle d'expérimentation, ce jeu de buses est utilisé pour dégrader les agrégats de surface afin d'augmenter la battance. Ainsi, même si les conditions de l'année ont été sèches, on peut approcher une mesure d'infiltration à saturation en conditions défavorables (croûte de battance généralisée).

Avec le jeu de buses à 35 mm/h (± 5 mm/h), les gouttes de pluie sont fines ce qui conduit à de faibles énergies cinétiques des pluies. Aussi, l'état de surface de la placette n'évolue pas ou peu au cours de l'expérimentation. Dans ces conditions, au bout de quelques dizaines de minutes, un débit de ruissellement stable peut être atteint, ce qui est synonyme de saturation. La différence entre l'intensité de la pluie et l'intensité du ruissellement donne alors l'infiltration minimale à saturation. Il peut y avoir encore de l'érosion diffuse sur les surfaces nues, mais elle devient minimale.

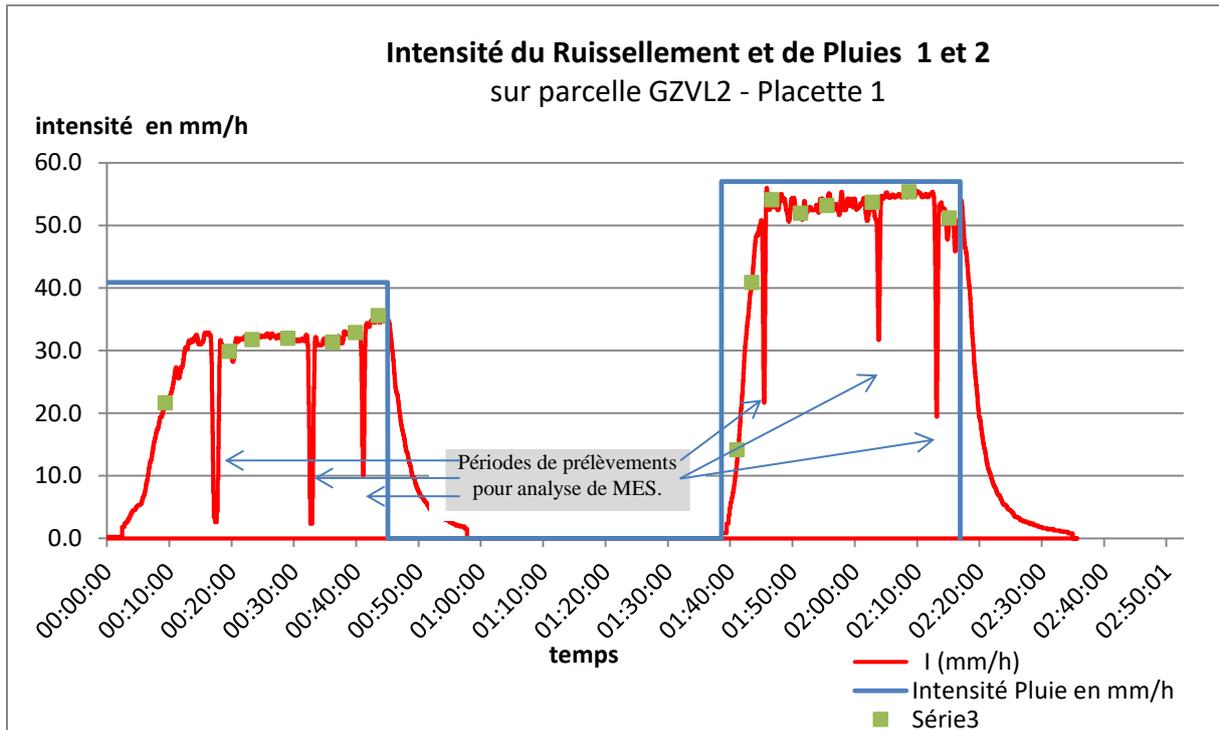


Figure N° 4 : Exemple d'enregistrement brut de la pluie, du ruissellement et des prélèvements sur une placette en Semis direct sous couvert (SDSC) à Gonzeville pendant la succession des 2 phases de la pluie à 40 et 55 mm/h.



Figure N° 5 : Exemple d'une installation pour effectuer une mesure précise de l'intensité de pluie délivrée sur la surface exacte d'une placette (GDVL 1 le 25/02/2016)

3.2. Les surfaces testées

Les surfaces sur lesquelles sont effectuées les mesures sont dénommées placettes, et sont constituées comme suit :

- pente entre 1.8 % et 4.4%,
- largeur de 2,0 m (± 0.02 m),
- longueur de 5,0 m (± 0.05 m).

La largeur de la placette et son implantation correspondent à $\frac{1}{2}$ passage de tracteur + semoir ce qui rend la surface représentative du motif agraire laissé en surface du champ. La surface totale, de l'ordre de 10,0 m², permet d'intégrer une part de l'hétérogénéité spatiale de la parcelle. La surface de chaque placette a été mesurée avec une précision de 0,01 m².

Les mesures ont été réalisées sur deux placettes différentes pour chaque modalité, afin d'avoir une répétition. Pour chaque modalité, elles sont notées P1 et P2. Toutes ces placettes étaient situées sur des passages différents du semoir.

3.3. Types d'enregistrements bruts et de mesures réalisés

Pendant la réalisation de la simulation de pluie, plusieurs informations sont enregistrées. La figure N°4, ci-contre, illustre les données brutes essentielles obtenues. Il s'agit de l'intensité de la pluie, de l'intensité du ruissellement au pas de temps de 1mn, des dates de prélèvements pour des analyses de la teneur en MES et les dates des contrôles manuels sur les mesures de débits.

Parallèlement sur le terrain, on enregistre aussi :

- La taille exacte et la pente de chaque placette,
- Les états de surface initiaux
- Les taux de couverts, vivants et morts,
- Les heures de chaque intervention (début, fin, prélèvements,...)
- L'intensité réelle de chaque pluie, illustration figure N°5 ;
- Toute observation utile à la compréhension des résultats et des photos.

Au bureau, toutes les données brutes sont traitées en fonction des courbes de tarage, voir complétées si l'enregistreur automatique a présenté une défaillance ponctuelle.

3.4. Les pluies appliquées

Conformément aux objectifs, afin d'atteindre la capacité d'infiltration à saturation, chacune des 2 placettes a été soumise à deux pluies successives d'intensités différentes, dans les conditions d'humidité initiale naturelles. Voir figure N°6 ci-dessous.

- Une pluie battante d'intensité constante pendant chaque expérimentation. En moyenne l'intensité des pluies battantes a été de 55 mm/h. Mais pour chaque placette, l'intensité réelle est comprise entre 51 mm/h et 64 mm/h compte tenu des difficultés de réglage de la pression. La durée totale de la pluie a été adaptée entre 30 et 90 mn, afin que chaque placette puisse atteindre le palier de ruissellement maximum pendant suffisamment de temps pour mesurer la capacité d'infiltration à saturation. La plupart du temps une durée de 60 mn a suffi. Les buses émettent des gouttes de pluie de forte énergie cinétique, capables de dégrader la surface du sol et d'arracher des particules de terre sous forme d'érosion diffuse. Mais comme la répartition au sol des gouttes n'est pas homogène, sur les sols non battus du labour, il a été nécessaire de déplacer de quelques dizaines de centimètres les rampes de buses à la moitié de la pluie afin d'obtenir une dégradation homogène sur la placette. Cette étape a nécessité une interruption d'aspersion sans conséquence sur les résultats. A cette intensité de pluie, l'érosion diffuse est plus importante que pour la pluie suivante.
- Une pluie moyenne d'intensité constante pendant chaque expérimentation. En moyenne l'intensité de ces pluies a été de 35 mm/h. Mais pour chaque placette, l'intensité réelle est comprise entre 31 mm/h et 38 mm/h pour les mêmes raisons. La durée totale de la pluie a été de 76 mn à 96 mn, afin que chaque placette reçoive la même quantité de pluie totale, soit 57 mm (± 1 mm).

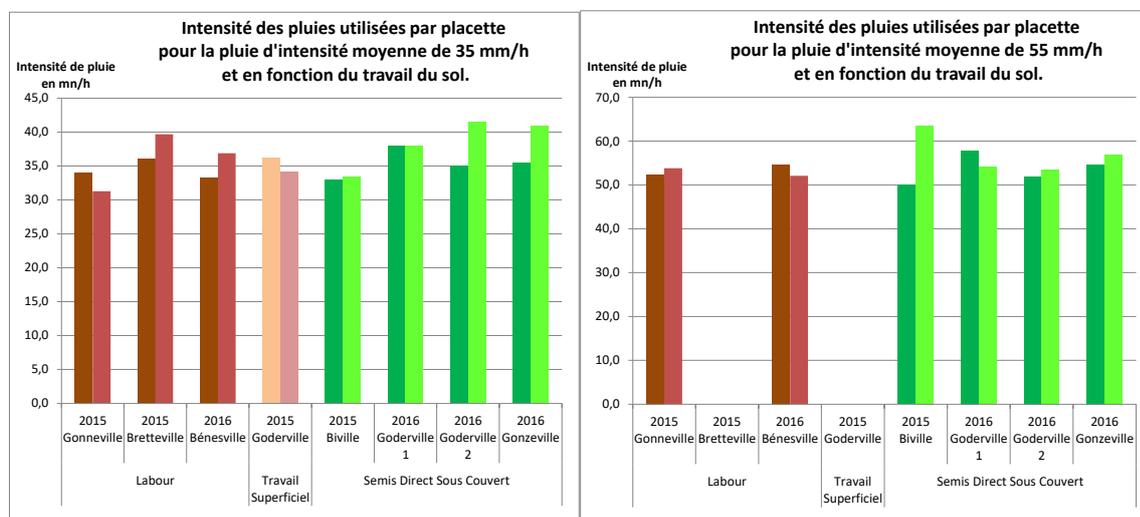


Figure N°6 : intensités des 2 séries de pluies utilisées sur chaque placette.

Ordre de succession des pluies :

- Pour les Blés, la succession a été : en premier la pluie à 35 mm/h de moyenne et en second une pluie à 54 mm/h de moyenne. **A noter que pour des raisons climatiques, les 2 sites 2015 de Goderville et Bretteville du Grand Caux n'ont pas eu de seconde pluie. Néanmoins, la pluie de 35 mm/h à Bretteville a été poursuivie pendant 2 heures.**

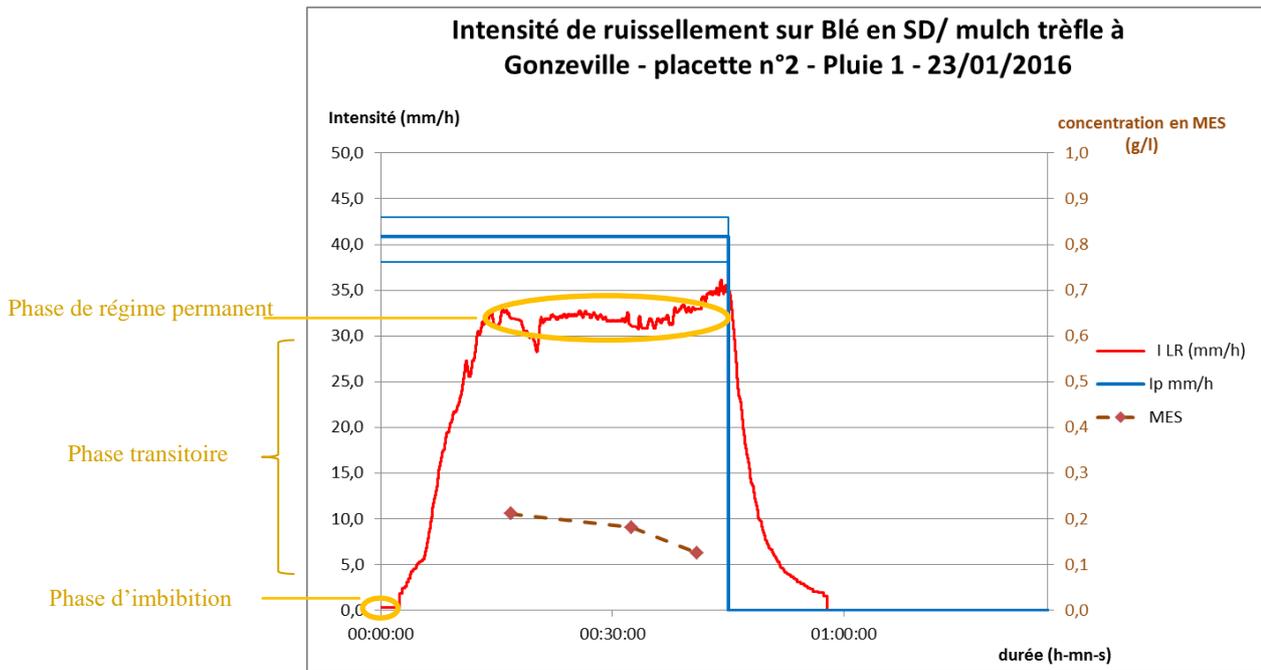


Figure N° 7 : Placette en SDSC à Gonzeville : Intensités de Pluie à 40,9 mm/h et de ruissellement, Taux de MES.

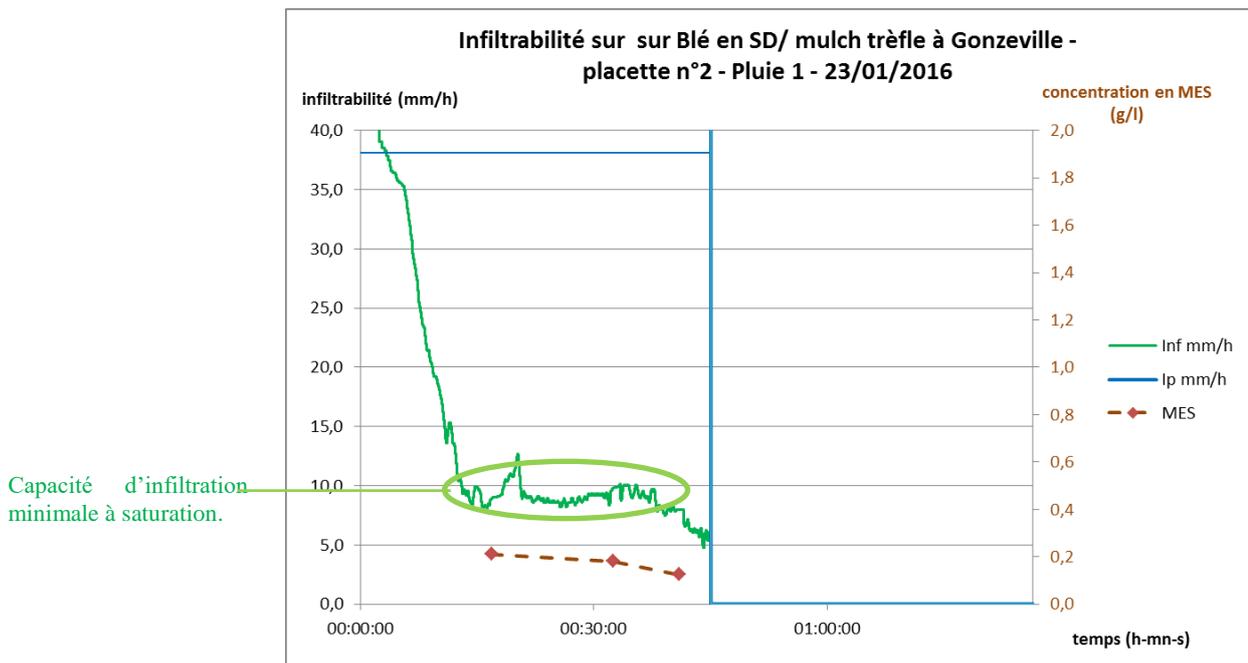


Figure N° 8 : Zoom sur la capacité d'infiltration du sol à saturation (mm/h) pour la Placette en SDSC à Gonzeville : Intensités de Pluie à 40,9 mm/h et de ruissellement, Taux de MES

3.5. Informations et Résultats tirés de chaque essai

1) Pour chacune des simulations de pluies, les résultats sont analysés et présentés de la façon suivante :

- Analyse de réponse à la pluie :
 - Durée de la phase d'imbibition (mn : s) et pertes initiales (mm) ;
 - Durée de la phase transitoire (mm : s) ;
 - Temps du début du régime permanent (mn : s) ;
 - Intensité moyenne de ruissellement en régime permanent (mm/h) ;
 - Capacité d'infiltration moyenne à saturation en régime permanent (mm/h), par différence entre l'intensité de pluie moyenne et l'intensité de ruissellement moyenne ;
 - Teneur en MES des ruissellements : évolution, moyenne, variabilité (g/l)
 - Teneur moyenne en MES pendant la phase de régime permanent (g/l).

Les graphiques N° 7 et 8, ci-contre, illustrent les résultats obtenus sur chaque essai, afin d'en déduire (1) les capacités d'infiltration à saturation, (2) de visualiser l'évolution des ruissellements et (3) des teneurs en MES au cours du temps.

2) Pour l'ensemble des simulations de pluies, les résultats sont analysés selon :

- L'effet des pratiques culturales sur les ruissellements et sur la capacité d'infiltration ;
- La comparaison des lames de ruissellement cumulées, exemple figure N°9.
- L'effet de l'intensité de la pluie sur l'érosion diffuse et comparaison entre pratiques culturales.

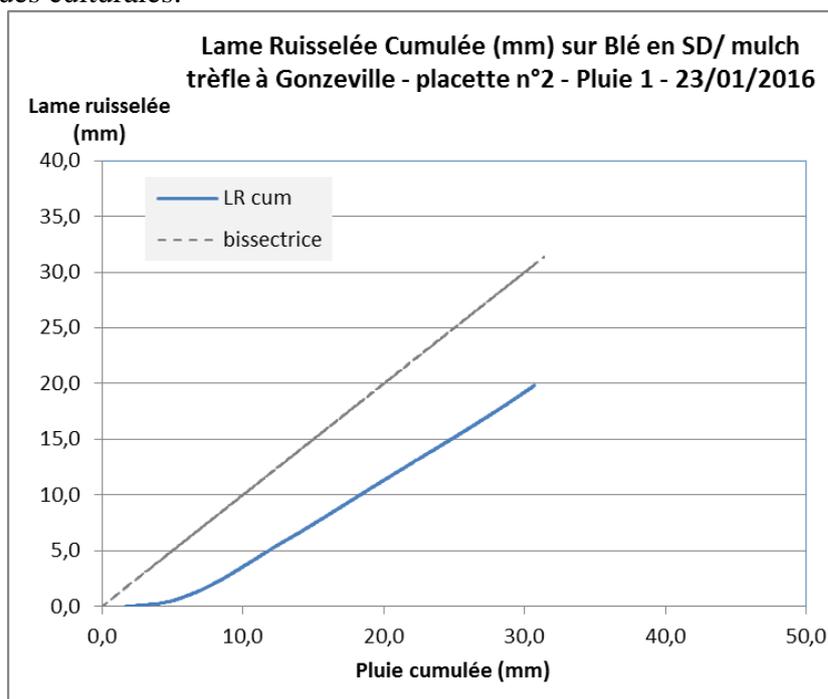


Figure N° 9 : Lame de ruissellement cumulée (mm) pour la Placette en SDSC à Gonzeville : Intensités de Pluie à 40,9 mm/h

Dans la suite du rapport, les résultats généraux issus de l'ensemble des expérimentations par culture sont présentés en premier. Ils permettent de tirer tous les enseignements possibles de ce travail, car les réponses sont finalement très voisines dans les conditions expérimentales définies. Pour information complémentaire, les graphiques de détail de chaque simulation sont placés dans le chapitre suivant.

4. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DES PARCELLES ET DES EXPERIEMENTATIONS

Le tableau N°3 ci-dessous, présente les caractéristiques essentielles des simulations de pluies et il indique la dénomination de chaque expérimentation et les caractéristiques générales.

Afin de se repérer le plus aisément possible sur les graphiques et les grands tableaux, le nom de chaque expérimentation est constitué d'un acronyme composé de 4 parties :

1. Type de technique d'implantation de la culture : **Lab** = semis classique après labour ; **SDSC**= semis direct sous couvert ; **TS**=semis sur travail superficiel (sans labour).
2. **Abrégé du nom de la commune** d'expérimentation (avec 3 ou 4 consonnes)
3. Culture en place, suivi si besoin du type de couvert : **Blé**
4. Numéro de la placette : **P1** ou **P2**
5. Si besoin, la hauteur de pluie et l'année sont parfois ajoutées en fin de numérotation : **2015** ou **2016**.

Exemple : le nom de l'expérimentation : **TS GDVL Blé P2-2015** correspond à la parcelle en semis sur Travail Superficiel, sise à Goderville, cultivée en blé, et pour la Placette n°2 testée en 2015.

Dénomination des expérimentations			Pluie 1	Pluie 2	
Technique	sites		Placette		
			35- 38 mm/h.	53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonneville	GSS	P1	<i>Lab-GSS P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>Lab-GSS P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>Lab-GSS P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>Lab-GSS P2 Pluie 55 - 2015</i>
	2015 Bretteville	BTVL	P1	<i>Lab-BTVL P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>Lab-BTVL P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>Lab-BTVL P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>Lab-BTVL P2 Pluie 55 - 2015</i>
	2016 Bénesville	BNVL	P1	<i>Lab-GBNVL P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>Lab-BNVL P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>Lab-BNVL P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>Lab-BNVL P2 Pluie 55 - 2015</i>
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	P1	<i>TS-GDVL P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>TS GDVL P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>TS-GDVL P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>TS GDVL P2 Pluie 55 - 2015</i>
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	P1	<i>SDSC-BBD P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC BBD P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>SDSC-BBD P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC BBD P2 Pluie 55 - 2015</i>
	2016 Goderville 1	GDVL1	P1	<i>SDSC-GDVL1 P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC GDVL1 P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>SDSC-GDVL1 P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC GDVL1 P2 Pluie 55 - 2015</i>
	2016 Goderville 2	GDVL2	P1	<i>SDSC-GDVL2 P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC GDVL2 P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>SDSC-GDVL2 P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC GDVL2 P2 Pluie 55 - 2015</i>
	2016 Gonzeville	GZVL	P1	<i>SDSC-GZVL P1 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC GZVL P1 Pluie 55 - 2015</i>
			P2	<i>SDSC-GZVL P2 Pluie 35 - 2015</i>	<i>SDSC GZVL P2 Pluie 55 - 2015</i>

Tableau N° 3 : Dénomination des 8 placettes expérimentales sous blé d'hiver.

	2015				2016			
Code AREAS essai	GDV2	BBD2	BTVL2	GSS2	GDVL1	GDVL2	GZVL	GZVLL
Nom expérimentation 2016	TS-GDV-Bié	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza	Lab-BTVL-Bié	Lab-GSS-Bié	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle	Lab-BNVLL-Bié
Lieu	Goderville	Biville la Baignarde	Bretteville du Gd Caux	Gonneville / scie	Goderville 1	Goderville 2	Gonzeville	Bénesville
type	Travail superficiel	Semis Direct sous couvert de mulch	Labour	Labour	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Labour
Exploitants	A. Chedru	M. Bouquet	A. Blondel	H. Blondel	J. Bellet	J. Bellet	M. Roussel	JC. Barret
Culture en place	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé / Trèfles	Blé
date de semis	10/10/2014	fin 09/2014	17/10/2014	10/10/2014	25/09/2014	26/09/2015	02/10/2015	25/10/2015
Précédent	lin	Blé / colza	lin	Colza	colza	Lin	colza	Colza
Sens semis par rapport à la pente	//	//	//	//	//	Semis perpendiculaire à la pente	//	//
pente (%)	4,44%	1,98%	3,87%	1,78%	2,15%	4,23%	2,60%	2,05%
teneur en Argile %	12	14,5	13,20	18,1	16,2	15,6	14,10	14,2
teneur en MO %	2,20	1,67	2,47	1,69	1,92	2,43	1,53	1,69
pH	-	6,20	6,10	7,50	7,30	6,40	6,70	6,7
Nb moyen de vers de terre/m².								
matériel utilisé pour le semis	semoir de semis direct à dents après destruction chimique des repousses de lin	semoir de semis direct sous mulch de paille de colza.	Semis classique : tracteur avec tasse-avant, et d'un prépar-sol + semoir en ligne	Semis classique : tracteur avec tasse-avant et d'une herse rotative + semoir pneumatique et rouleau packer	Herse magnum après moisson du colza. Redémarrage du couvert de trèfle blanc. 24/09 glyphosate. semis direct (Séméato) sous mulch de paille de colza. Roulage du couvert le 26/09	fin 07 semis couvert dense. 25/09 glyphosate. semoir de semis direct sous mulch d'interculture très développée.	semoir à disques Lemken de semis direct sous mulch de paille de colza et de trèfle blanc.	Semis avec herse rotative + semoir en ligne+ rouleau packer
Remarques	parcelle en travail superficiel et semis direct depuis 2001.	parcelle sans labour depuis 2003 et en semis direct depuis 2012.	prairie retournée il y a moins de 5 ans ?	parcelle toujours en labour. Expé en zone limoneuse, mais sol hétérogène avec des zones plus argileuses.	parcelle en non labour depuis 1991.	parcelle en non labour depuis 1991 et semis perpendiculaire à la pente	parcelle en non labour depuis 2007 (sauf PDT) et semis direct depuis 2014.	parcelle toujours en labour avec une rotation Blé/Orge/colza.
Date expérimentation	28/01/2015	06/03/2015	03/02/2015	26/02/2015	26/02/2016	16/03/2016	23/02/2016	08/04/2016
% couvert	blé 40%	blé 40%	blé 45%	blé 45%	blé 30%	blé 50%	blé 15%	Blé 60%
		Mulch de colza 10%			résidus colza et de trèfle 20-30%	residu 5%	trèfle 15%	
total	40%	50%	45%	45%	55%	55%	70%	60%

Tableau N° 4 : Résumé des principales caractéristiques des parcelles testées

		2015				2016			
Code AREAS essai		GDV2	BBD2	BTVL2	GSS2	GDVL1_P2	GDVL2_P2	GZVL_P2	GZVLL_P2
Nom expérimentation 2016		TS-GDV-Blé	SDSC-BBD-Blé/Mulch colza	Lab-BTVL-Blé	Lab-GSS-Blé	SDSC-GDVL1-Blé/Mulch Co	SDSC-GDVL2-Blé/Mulch Interc	SDSC-GZVL-Blé/Mulch Trèfle	Lab-BNVLL-Blé
Lieu		Goderville	Biville la Baignarde	Bretteville du Gd Caux	Gonneville / scie	Goderville 1	Goderville 2	Gonzeville	Bénesville
type		Travail superficiel	Semis Direct sous couvert de mulch	Labour	Labour	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Labour
Exploitants		A. Chedru	M. Bouquet	A. Blondel	H. Blondel	J. Bellet	J. Bellet	M. Roussel	JC. Barret
Date expérimentation		28/01/2015	06/03/2015	03/02/2015	26/02/2015	26/02/2016	16/03/2016	23/02/2016	08/04/2016
Couvert		Blé / lin	Blé / colza	Blé / lin	Blé / Colza	Blé / colza	Blé / interculture sur Lin	Blé / Colza et Trèfles	Blé / Colza
% couvert		blé 40%	blé 40%	blé 45%	blé 45%	blé 30%	blé 50%	blé 15%	Blé 60%
			Mulch de colza 10%			colza residu 20-30%	residu 5%	trèfle 15%	
								colza residu + mousse 40%	
		40%	50%	45%	45%	55%	55%	70%	60%
Sens semis par rapport à la pente		//	//	//	//	//	Semis perpendiculaire à la pente	//	//
pente (%)		4,44%	1,98%	3,87%	1,78%	2,15%	4,23%	2,60%	2,05%
auget		AREAS	AREAS	AREAS	AREAS	AREAS	AREAS	AREAS	AREAS
Surface IP1 (m²)		7,60		7,60		11,23	11,24	9,89	8,06
S placette (m²)		7,53	7,50	7,39	7,50	10,94	11,40	9,977	7,91
IP0	pluie inf IC 70%								52,9
	pluie moyenne (mm/h)								53,3
	pluie sup IC 70%								53,7
IP1	pluie inf IC 70%	33,5	32,3	39,1	30,9	37,5	41,1	38,1	51,2
	pluie moyenne (mm/h)	34,2	33,5	39,7	31,3	38,0	41,5	40,9	52,1
	pluie sup IC 70%	34,8	34,5	40,2	31,8	38,4	42,0	43	52,9
IP2	pluie inf IC 70%		61,0		52,2	53,4	52,7	55,5	36,4
	pluie moyenne (mm/h)		63,6		53,8	54,1	53,5	57,0	36,9
	pluie sup IC 70%		65,8		55,0	55,0	54,4	58,7	37,5
pluie naturelle des dernières 48 h		#NA	#NA	#NA	#NA	#NA	#NA	13.4 mm	6.8 mm
pluie naturelle des 10 derniers jours		#NA	#NA	#NA	#NA	#NA	#NA	36 mm	13 mm
Etat de surface initial, Faciès type (nomanclature INRA 1986):		F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F3 avec fentes de rétraction

Les 4 sites de 2015 ont aussi fait l'objet de mesures sous pluies naturelles en hiver.

Tableau N° 5 : Dénomination des 8 placettes expérimentales sous blé d'hiver et caractéristiques des pluies appliquées.

4.1. Localisation et caractéristiques particulières des 8 parcelles comparées

Les sites de mesures ont été implantés sur des parcelles situées sur le plateau du Pays de Caux. Le détail de la localisation de chaque site est donné en annexes dans les fiches des parcelles.

Les tableaux de synthèse N° 4 et 5, donnent les principales caractéristiques des parcelles testées : pente, teneur en argile, taux de Matière Organique, outils utilisés à l'implantation de la culture, précédent cultural et couvert, durée de la technique d'implantation utilisée sur chaque parcelle et taux de couvert le jour de l'expérimentation.

4.2. Type de Sol sur les parcelles testées

Chaque parcelle a fait l'objet d'une description pédologique détaillée qui est placée en annexes.

Les sols sont tous très homogènes. Ils sont constitués de limons profonds avec des caractéristiques pédologiques très semblables (figure N° 10 ci-dessous) :

- Texture de surface de limons moyens-sableux,
- Elles sont battantes à l'exception des parcelles non battantes de TS-GDVL de 2015, de Lab-BTVL de 2015 et de SDSC-GDVL2 de 2016 qui ont des teneurs en MO élevées de 2,2 à 2,4%.

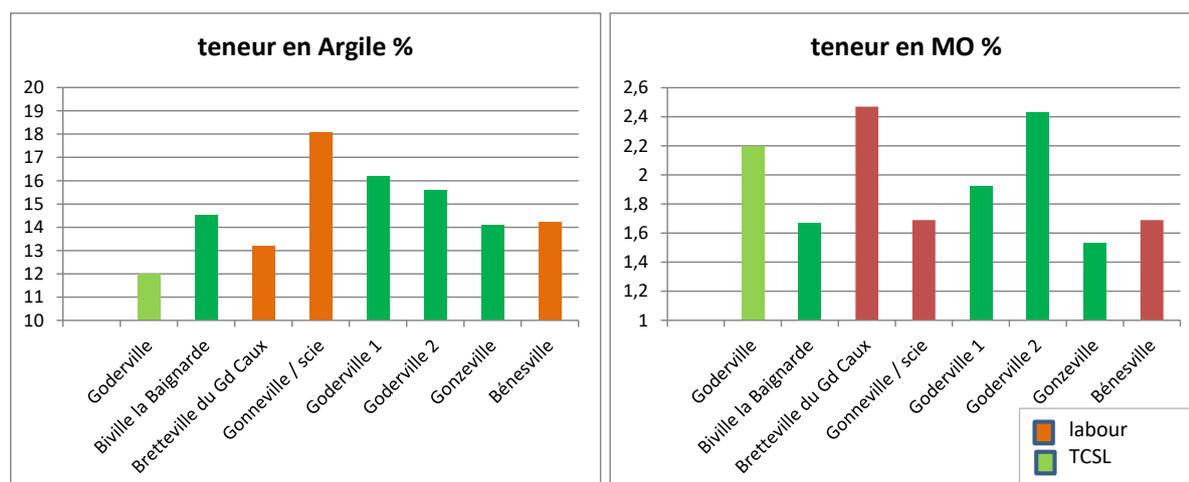


Figure N° 10 : Comparaison des teneurs en argile et en Matière Organique.

A noter que la parcelle en labour de Bretteville du Grand Caux a un bon taux de MO, qui semble résulter un retournement récent de prairie. Les autres valeurs élevées correspondent à des parcelles en non labour depuis longtemps ce qui reste conforme à la bibliographie. Quant à la parcelle Gonzeville récemment conduite en semis direct, elle reste avec un faible taux de MO, comme prévu par la théorie.

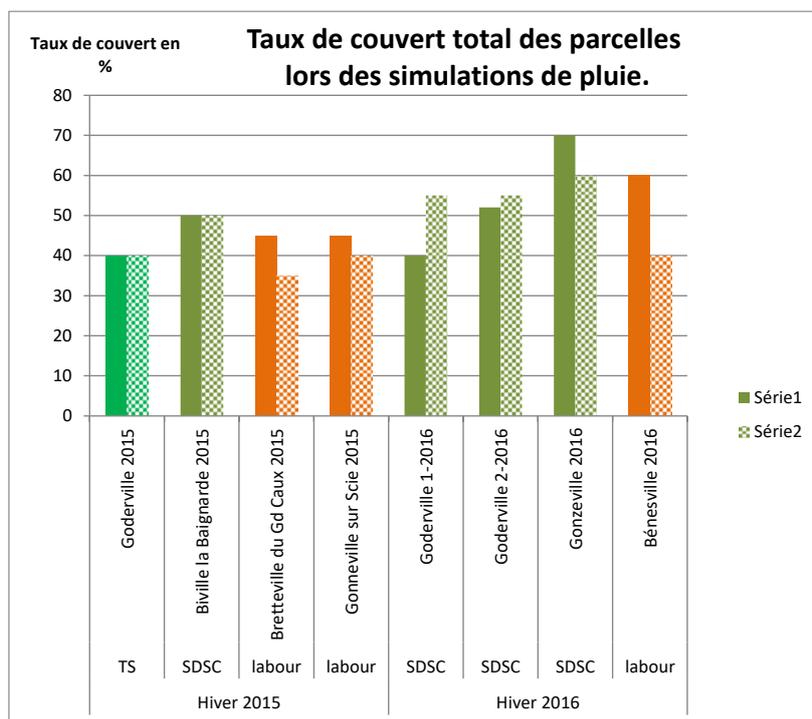
4.3. Pentés des parcelles testées

La pente de chaque placette a été mesurée avec précision. Toutes les pentes sont comprises entre 1,8 et 4,4% et les semis ont été réalisés dans le sens de la pente, à l'exception de parcelle de Goderville 2 en semis direct sous couvert de 2016 pour laquelle le semis de blé est perpendiculaire à la pente de 4,4%.

Année	sites	% de Faciès de battance F2 (INRA)	Rugosité hors trace de roue	% de traces de roues en surface	Porosité superficielle (abondance)	Taux de couvert global %	Observations remarquables lors des mesures et lors de l'examen des profils de sol
2015	Lab-GSS P1	40 % F2	R 1		+	45	Etat de surface du sol très motteux et non fermé. Très nombreuses flaques non connectées avec une infiltration dans la porosité localisée au fond des flaques.
	Lab-GSS P2		R 1		+	40	
	Lab-BTVL P1	70 % F2	R 1 / R 2		+	45	Sol partiellement fermé et couvert de très nombreuses flaques non connectées avec une infiltration dans la porosité localisée au fond des flaques.
	Lab-BTVL P2		R 1 / R 2		+	35	
	SDSC-BBD P1	80% F2	R 0		+	50	Sol refermé en surface. Mais le couvert constitue une rugosité de surface de maille décimétrique.
	SDSC-BBD P2	70% F2	R 0		+	50	
	TS-GDVL P1	65% F2	R 1 (R0 interrgr)		+	40	Sol partiellement fermé et porosité constituée de fissures. Existence de vastes dépressions de surface de maille métrique, dont quelques-unes ont été coupées par l'installation de la gouttière.
	TS-GDVL P2		R 0		+	40	
2016	Lab-BNVL P1	90% F2/F3	R 0 / R 1		+++	60	Sol refermé en surface avec une porosité constituée de grandes fissures au départ avant re-fermeture par la pluie d'humectation.
	Lab-BNVL P2		R 0 / R 1		+++	40	
	SDSC-GDVL1 P1	70% F2	R 0 / R 1		+	40	Sol partiellement fermé. Existence de dépressions de surface de maille décimétrique, dont plusieurs ont été coupées par l'installation de la gouttière.
	SDSC-GDVL1 P2	40% F2	R 1		+	55	
	SDSC-GDVL2 P1	55% F2	R 0 / R / 1		+	52	Sol partiellement fermé. Existence de dépressions de surface de maille décimétrique et connectées entre-elles, jusqu'à la gouttière.
	SDSC-GDVL2 P2		R 0 / R 1		++	55	
	SDSC-GZVL P1	100% F2	R 0	17%	++	70	Sol globalement fermé et tassé par des roues. Existence de dépressions de surface de maille décimétrique connectées entre-elles jusqu'à la gouttière. Blé peu développé, fort développement de mousse en surface (couvert # 40%).
	SDSC-GZVL P2	50% F2	R 0	19,5%	++	60	

Tableau N° 6 : Etats de surface des Blés le jour de l'expérimentation - Résumé des points remarquables des parcelles testées.

4.4. Taux de couvert végétal des parcelles lors des simulations de pluie.



Compte tenu des dates choisies pour obtenir des états de surface dégradés et des capacités d'infiltration minimales, la culture de Blé était déjà assez développée.

Pour la première série d'essais en 2015, le taux de couvert total était compris entre 35 et 50%, (voir figure N°11). En 2016, ce taux était un peu plus élevé : de 40 à 80%.

Figure N° 11 : Taux de couvert des parcelles lors des essais en fonction des itinéraires techniques.

Néanmoins il faut faire 2 remarques :

- 1- Le feuillage reste très vertical et souple et n'offre pas une protection efficace du sol ;
- 2- Pour les semis directs sous couvert, il reste 2 à 25 % de couvert par les résidus, comme le montre la figure N°12. Dans le cas de Gonzeville, on note aussi une part importante de couvert par des mousses et le trèfle blanc associé à la culture.

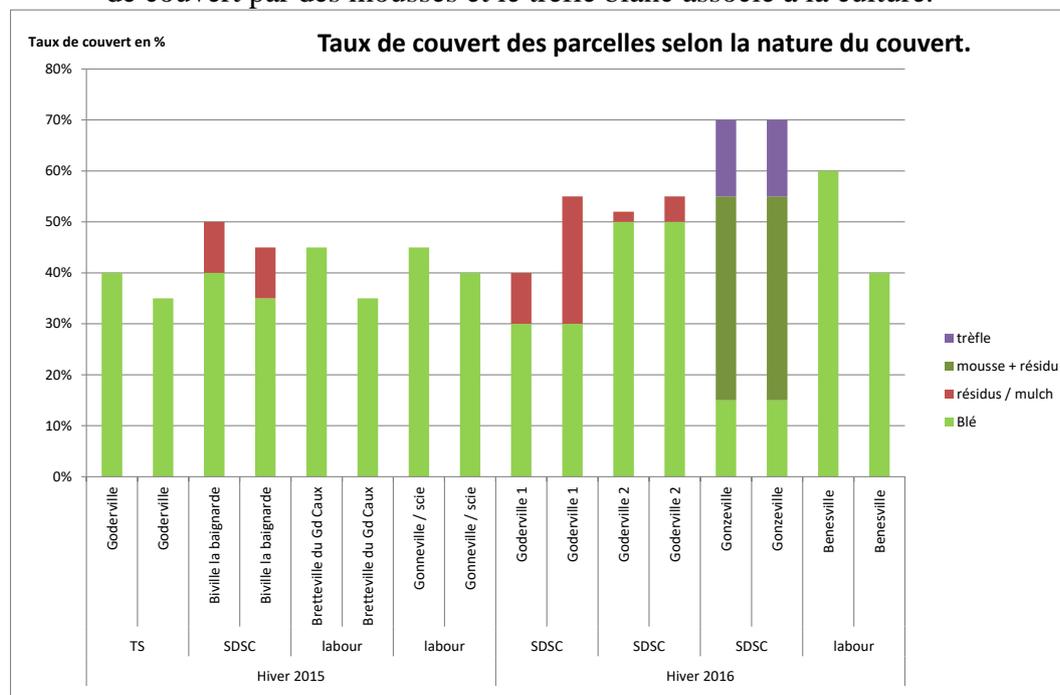


Figure N° 12 : Taux de couvert des parcelles par type de couverts lors des essais en fonction des itinéraires techniques.

4.5. Etats de surface des parcelles

Comme indiqué précédemment, le choix des dates de simulation de pluie a été décidé afin de se placer dans les conditions ruisselantes critiques et typiques de l'hiver en Normandie. Ainsi, les expérimentations ont toutes été réalisées en hiver entre fin janvier et début mars, à l'exception de celles sur Labour à Gonzeville du début avril 2016.

Dans ces conditions, les résultats scientifiques permettent de prévoir que toutes les parcelles en sol battant (type Pays de Caux), quel que soit leurs itinéraires techniques, aient des croûtes de surface assez généralisées en fin d'hiver, après plus de 200 mm de pluie cumulée, comme le montre ce schéma ci-dessous. Mais, ces croûtes peuvent avoir des caractéristiques variables d'infiltrabilité, elles peuvent être plus ou moins perforées par l'activité biologique et la présence de mulch en surface modifie la capacité de flaquage. Les mesures réalisées en simulation de pluie sont représentatives de ces états de surface.

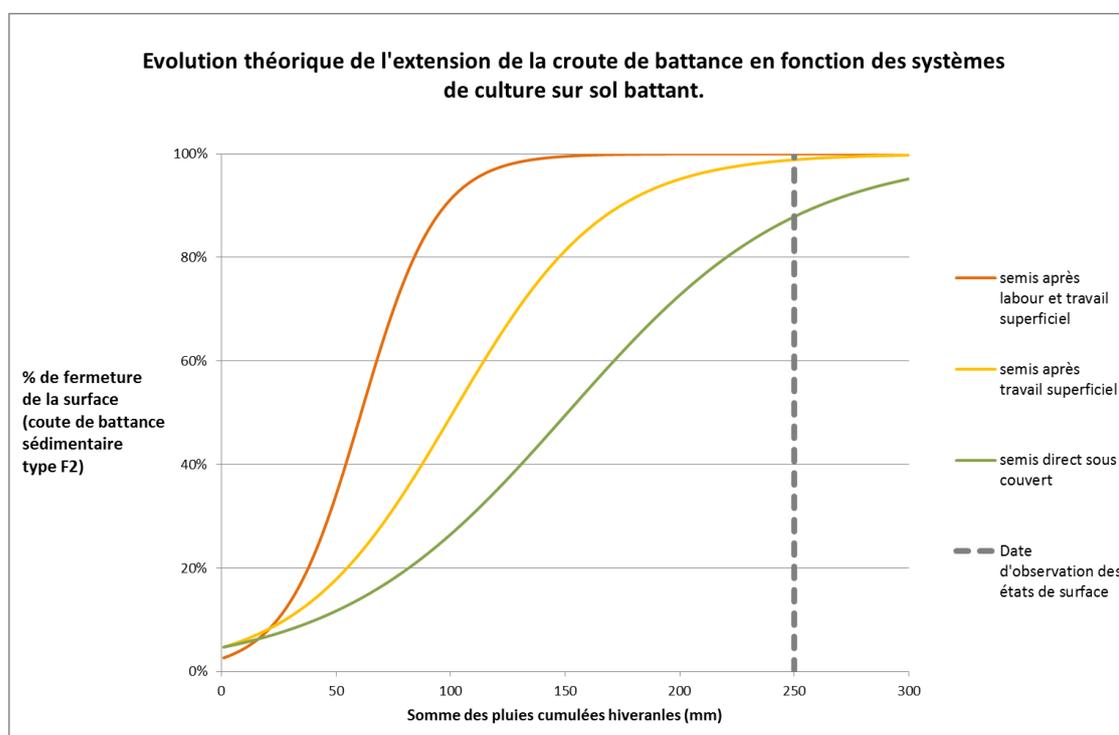


Figure N°13 : Courbes d'évolution théorique de la surface des sols battants en fonction du cumul pluviométrique et selon les itinéraires techniques.

Ainsi, lors de la réalisation des expérimentations, il a été fait plusieurs observations importantes résumées dans le tableau N°6 ci-contre.

On a ainsi noté que :

- les états de surface sont tous partiellement dégradés avec des croûtes de battance généralisées à plus de 50 % des surfaces. Selon la nomenclature de l'INRA, il s'agit de faciès caractéristique de type F2 plus ou moins généralisé à toutes les zones non couvertes.
- Les taux de couvert totaux des sols par la culture et les résidus sont tous voisins et entre 40 et 50%.
- Les taux de couvert par les blés sont de l'ordre de 30 à 40 %, sauf le blé en SDSC à Gonzeville de 2016 qui ne couvre que 15 % du sol, mais pour lequel la mousse couvre 40% de la surface et le trèfle blanc 15%.
- Par contre les rugosités et porosités de surface diffèrent significativement. Les systèmes en labour et en travail superficiel ont conservé une rugosité et une porosité de surface beaucoup plus importante que dans les systèmes en semis direct. La porosité des systèmes en labour et en travail superficiel résulte du travail du sol, ce qui n'est pas le cas en semis direct où elle résulte de l'activité des vers de terre, des cultures plus ou moins anéanties par les tassements. Ainsi, les parcelles en semis direct sous couvert qui ont le moins d'ancienneté, notamment à Gonzeville SDSC GZVL présentent une faible porosité en plus d'une faible rugosité, de trace de compactage par les roues et d'un faible taux de matière organique.
- Et comme indiqué précédemment, la parcelle Lab-BNVLL de 2016 en labour dispose de fentes de retrait importantes qui ont dû être refermées par 2 pluies d'humectation la veille. Cela étant, l'état de surface de la parcelle était très battu et de faible rugosité, ce qui est assez classique pour les céréales sur labour.

Les photos des états de surface sont placées sur la page suivante figure N° 14 pour donner une idée des états de surface lors des expériences de simulations de pluie.

Un plus grand nombre de photos des placettes et des états de surface est placé en annexes dans les fiches de chaque parcelle.



Figure N°14 : Planche Photos des états de surface des différentes parcelles testées.

4.6. Analyse complémentaire de dénombrement des vers de terre

4.6.1. Intérêt des mesures :

Les galeries creusées par les vers de terre contribuent à la bonne aération du sol.

Les galeries verticales creusées par les vers de terre sont celles qui contribuent le plus à empêcher le ruissellement et l'érosion. En effet, elles améliorent l'absorption, le stockage, l'infiltration et le drainage de l'eau dans le sol.

Dans les sols cultivés, on peut rencontrer principalement 3 catégories de vers de terre à savoir :

- les **anéciques**, qui creusent des galeries verticales et profondes ;
- les **endogés**, qui creusent des galeries superficielles, souvent horizontales et instables ;
- les **épigés**, qui vivent dans la litière de surface, en général moins nombreux dans les sols labourés faute de litière durable.

De ces trois catégories, les anéciques semblent être les plus intéressants pour augmenter la capacité du sol à absorber l'eau.

Pour chacune des parcelles de blé ayant fait l'objet d'une mesure de ruissellement, un échantillonnage de vers de terre a été réalisé. Pour les parcelles de betteraves, l'échantillonnage n'a pas été effectué. En effet, le travail du sol pour l'implantation de la culture était trop proche de la date de prélèvement, ce qui aurait pu biaiser les résultats obtenus, notamment sur les parcelles conduites avec labour.

4.6.2. Déroulement du protocole de terrain :

Les échantillonnages de vers de terre ont été effectués selon la méthode mise en place par l'OVPT (Observatoire Participatif des Vers de Terre) qui est un outil d'évaluation simplifié de la biodiversité des sols à l'aide des vers de terre. La figure N°15 ci-après illustre ce protocole.

Cette méthode d'échantillonnage permet de classer les vers de terre selon les 3 principales catégories (épigés, anéciques et endogés). De plus, après rinçage, dénombrement et identification, une pesée de l'ensemble des vers de terre récoltés sur chaque placette a également été effectuée.

Les limaces présentes à la surface de chaque placette ont également été dénombrées.

Pour chaque parcelle, 3 zones d'échantillonnage ont été définies, faisant chacune une surface de 1 m², représentatives de la parcelle et homogènes du point de vue agronomique et pédologique (hors passages de roues et sur une surface plane)

Pour chacune des 3 zones de 1 m² étudiées, à 15 minutes d'intervalle 2 épandages de moutarde diluée ont été effectués (moutarde *Amora Fine et Forte* soit 300 g dans un arrosoir de 10 L d'eau).

L'arrosage a été effectué de façon homogène sur chaque placette grâce à une rampe d'arrosage.

Entre les deux épandages et environ un quart d'heure à la suite du deuxième, tous les vers de terre remontant à la surface ont été récoltés dans la zone délimitée de 1m².



Préparation de la placette de prélèvement (coupe rase de la végétation)



Arrosage à la moutarde diluée



Ramassage des vers de terre remontant à la surface du sol



Rinçage des vers de terre ramassés avant dénombrement, identification puis pesée de l'échantillon

Figure N° 15 : Illustration de la méthode utilisée pour la récolte et le comptage des vers de terre sur les parcelles.

4.6.3. Analyse des résultats :

Les résultats des prélèvements effectués sont présentés dans le tableau N° 7 et les figures N° 16 à 19 suivantes :

site		Printemps 2015				Printemps 2016			
		Goderville	Biville la Baignarde	Bretteville du Gd Caux	Gonneville sur Scie	Goderville 1	Goderville 2	Gonzeville	Bénesville
référence de la parcelle		TS GDVL	SDSC BBD	Lab BTVL	Lab GSS	SDSC GDVL 1	SDSC GDVL 2	SDSC GZVL	Lab BNVL
culture en place		blé	blé	blé	blé	blé	blé	blé	blé
précédent		lin	colza	lin	colza	colza	lin	colza	colza
technique culturale		TCSL	SD	labour	labour	SD	SD	SD sous couvert	labour
Nombre de vers de terre /m ²	épigés	0	44	4	0	9	6	0	1
	anéciques	13	6	0	0,3	13	8	6	12
	endogés	73	7	7	0	33	40	13	13
	Total	86	57	10	0	55	53	19	25
poids de vers de terre g/m ²		37	27	< 5	< 5	37	30	55	44
nombre de limaces/m ²		20	90	35	4	25 à 50	25 à 50	2	> 100

Tableau N° 7 : Dénombrement et pesée des vers de terre par catégorie sur chaque parcelle.

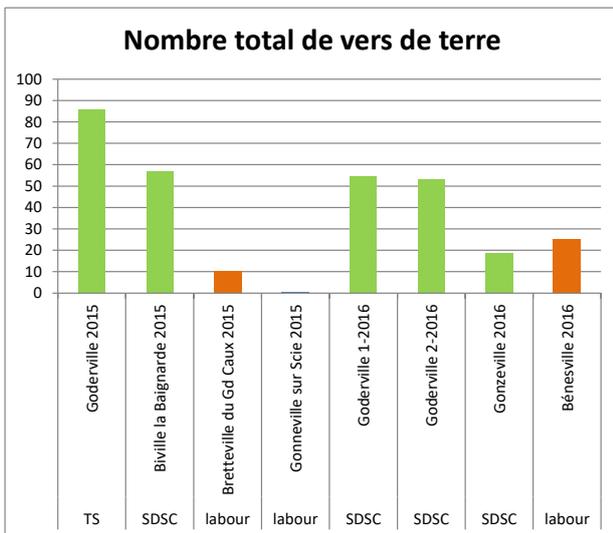


Figure N°16 : Comparaison du nombre total de vers de terre par type de pratiques culturales : labour et TCSL.

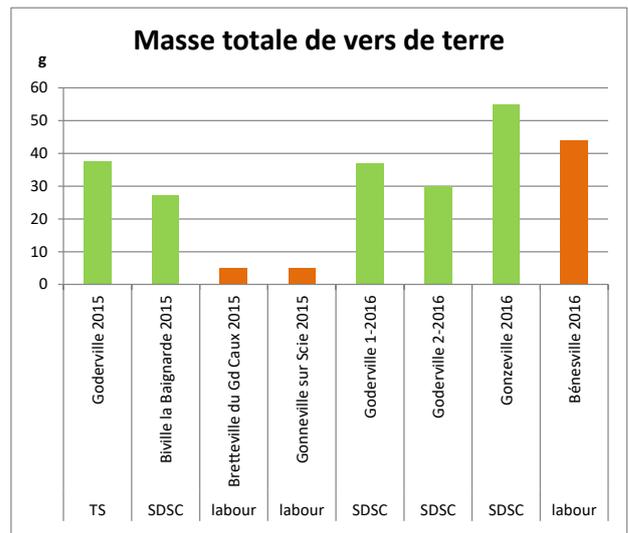


Figure N°17 : Comparaison des masses totales de vers de terre par type de pratiques culturales : labour et TCSL.

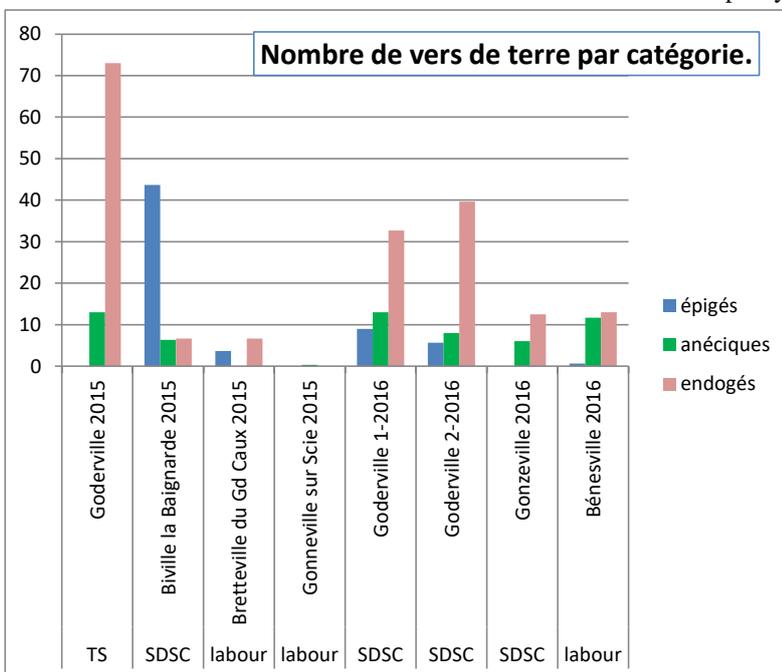


Figure N°18 : Comparaison du nombre de vers par type en fonction des pratiques culturales : labour et TCSL.

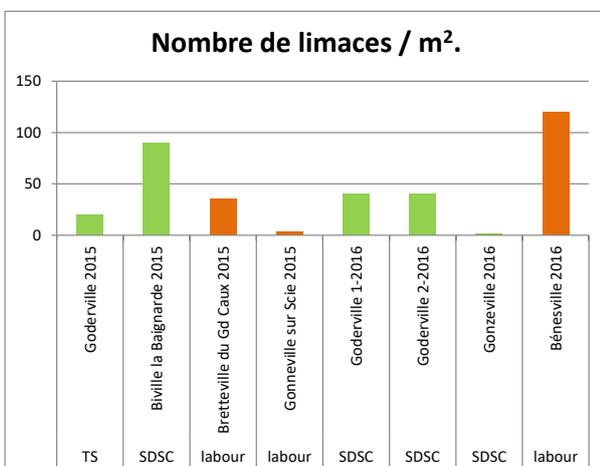


Figure N°19 : Comparaison du nombre total de limaces par type de pratiques culturales : Labour et TCSL.

Les résultats montrent une variabilité importante des quantités de vers de terre présents selon les sites.

- Globalement, les **épigés** sont assez peu présents (0 à 6/m²) sauf sur le site de Biville la Baignarde (44/m²). Les vers épigés vivant dans la litière de surface, il est logique d'en trouver peu ou pas du tout dans les systèmes ne favorisant pas cette accumulation de matière à la surface du sol (labour et travail simplifié).
- Concernant les **anéciques** (les plus intéressants pour la porosité du sol), leur présence varie de 0 à 12/m² (moyenne : 2/m²) pour les parcelles avec labour, contre 6 à 13/m² (moyenne : 9/m²) pour les parcelles en travail simplifié ou en semis direct sous mulch ou sous couvert.
- Concernant les **endogés**, on les rencontre également de façon plus abondante dans les parcelles conduites en travail simplifié ou en semis direct sous mulch ou sous couvert (7 à 73/m² avec une moyenne de 33/m²) que dans les parcelles en système labour (0 à 13/m² avec une moyenne de 7/m²).

Globalement, la présence totale de vers de terre observés (toutes catégories confondues) varie de 0 à 25/ m² avec une moyenne de 12/m² pour les parcelles en labour alors qu'elle va de 19 à 86/ m² avec une moyenne de 54/m² pour les parcelles en travail simplifié ou en semis direct sous mulch ou sous couvert.

De plus, si l'on compare les poids de vers de terre observés selon les conduites, ils varient de moins de 5 à 44 g/m² avec une moyenne de 17g/m² en labour, et de 27 à 56 g/m² avec une moyenne à 37g/m² en travail simplifié ou en semis direct sous mulch ou sous couvert.

4.6.4. Ce qu'il faut retenir :

Les échantillonnages de vers de terre réalisés sur les parcelles suivies montrent une variabilité assez importante des résultats obtenus par rapport à une même conduite. Toutefois, les quantités moyennes de vers de terre (à la fois en nombre et en poids) semblent plus importantes sur les parcelles sans labour. Ces observations sont cohérentes avec le fait que les systèmes sans labour ont tendance à moins perturber le sol étant donné les passages d'outils en profondeur moins nombreux ou moins fréquents, voire absents.

4.6.5. Observations concernant les limaces :

Les quantités de limaces observées sur les placettes de mesures ont été importantes. Cependant, il ne semble pas y avoir de corrélation entre la quantité de limaces présentes et la conduite de la parcelle. En effet, le nombre de limaces observées varie de 4 à plus de 100/m² en système labour, et de 2 à 90/m² en système sans labour.

4.7. Points importants :

On remarquera les points particuliers importants suivants qui aident à interpréter les résultats :

1. Les techniques d'implantation du Blé, laissent des modelés de microtopographie en surface très différents. Ceci a des conséquences sur la mesure même du ruissellement. En effet, après Labour, on constate que le sol est plus motteux, avec une croûte de battance plus ou moins développée entre les mottes. Finalement les motifs créés par le travail du sol (passage de la charrue, du semoir et des roues) donnent naissance à des flaques nombreuses et de petite taille. Par contre avec le non labour, c'est un peu l'opposé. Il n'y a pas beaucoup de mottes, le sol est fortement rattaché et au fil des années le modelé de surface fait apparaître des flaques de grande à très grande taille bordées par les résidus de culture. Tout ceci a un impact sur la mesure, car l'installation de la gouttière de collecte vient couper ce modelé de surface. Dans le cas des semis après labour, on peut couper des petites flaques et de faibles surfaces connectées (cas de Bretteville du grand Caux BTVL et de Gonzeville GSS) et dans le cas des semis en non labour, on vient couper des surfaces de flaques de grande taille et de plus grande surface connectées (Goderville GDVL et Biville BBD). En bilan, à cause de cet état de fait, on peut enregistrer plus de ruissellement sur les parcelles de mesures de 10 m² en non labour que pour sur celles semées après labour, notamment lorsque toute la surface de la placette n'est pas connectée à la gouttière. Ceci est particulièrement vrai sur :
 - la parcelle en semis après travail superficiel à Goderville en 2015 (TS DGVL), où la partie ruisselante ne couvre que la moitié avale de la placette.
 - la parcelle en Labour à Bretteville du Grand Caux en 2015, où la partie ruisselante ne concerne que les quelques rares dépressions coupées par l'installation de la gouttière. Cela représente quelques dépressions dans une bande de 0,5 m de large maximum.
2. La Parcelle de Goderville-2015 (TS-GDVL) est en non labour depuis de nombreuses années. Le blé a été implanté en technique de Travail Superficiel (TS), il n'y avait pas de résidu de culture en surface, mais comme précisé au paragraphe précédent, la surface était couverte de grandes flaques dont seulement la moitié avale était connectée à la gouttière.
3. Les 2 parcelles de Goderville-2016, 1 et 2 (SDSC-GDVL1 et SDSC-GDVL2) sont conduites en Semis Direct Sous Couvert (SDSC) depuis de nombreuses années. La seconde parcelle présente un taux de matière organique particulièrement élevé. Pendant les simulations de pluie, la surface était couverte de grandes flaques délimitées par les résidus en périphérie.

A noter que pendant l'expérimentation sur la placette N° 2 avec la pluie à 35 mm/h d'intensité moyenne, deux pannes sur la pompe ont interrompu la pluie pendant quelques minutes. Aussi les écoulements se sont arrêtés puis sont repartis rapidement en retrouvant leur niveau antérieur. Seule la durée de la phase transitoire en est un peu impactée.

4. Les 2 parcelles de Biville la Baignarde-2015 (SDSC-BBD) et de Gonzeville-2016 (SDSC GZVL) sont exploitées en Semis Direct Sous Couvert (SDSC) que depuis peu d'années seulement. Les teneurs en matière organique restent faibles de même que l'activité biologique et la vie du sol. Le couvert de trèfle de la parcelle SDSC-GDVL

reste très très modeste avec un taux de couvert de 3 à 5 %, seuls les résidus de pailles de colza ont pu jouer un rôle. Là aussi, pendant les simulations de pluie, la surface était couverte de grandes flaques délimitées par les résidus en périphérie.

5. La parcelle de Bénesville-2016 (Lab-BNVLL) en Labour (Lab) a été expérimentée en avril 2016 alors que des fentes de retrait importantes s'étaient formées. Pour obtenir des résultats sur des états de surface comparables, il a été nécessaire de refermer les fissures en surface en réalisant la veille des essais 2 pluies d'humectation importantes (la première pluie à 35 mm/h n'a pas produit de ruissellement et la seconde pluie à 55 mm/h a atteint un régime constant de ruissellement. Les résultats de cette seconde pluie d'humectation seront présentés). Le lendemain, les fissures étant pratiquement refermées ou saturées, les mesures ont été réalisées correctement.

En outre, la placette N°P 2 a eu un problème d'écoulement après ¼ d'heure de fonctionnement sous pluie à 35 mm/h d'intensité, qui a conduit à un débordement pendant 20 minutes jusqu'à ce qu'il soit réparé. Ainsi le palier apparent de ruissellement entre 15 et 40 mn est erroné et sous-estime la capacité d'infiltration. Les bonnes valeurs sont obtenues après 45 mn. Par contre, les pertes initiales sont correctes. Le temps pour obtenir le régime permanent a été recalculé pour cette placette.

4.8. Premiers éléments de compréhension tirés des états de surface des parcelles

A partir de la connaissance des caractéristiques physiques des états de surface des parcelles le jour des simulations de pluie, on peut en déduire des informations très utiles pour l'interprétation des résultats à suivre et sur le risque potentiel de ruissellement.

Ces éléments sont présentés sous forme de tableau N°7.

Parcelles		Eléments clés dans les processus d'infiltration et de ruissellement.		Typologie de risque de ruissellement
Labour	2015 Gonneville	GSS	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 40%. Mais rugosité encore bien présente (R1). Absence de trace de roues. Forte porosité structurale. Taux de couvert du Blé de 45%.	Très peu ruisselant
	2015 Bretteville	BTVL	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 70%. Mais très forte rugosité (R2/R1). Absence de trace de roues. Teneur en MO de 2.4%. Forte porosité biologique au fond des dépressions. Taux de couvert du Blé de 40%.	Très peu ruisselant
	2016 Bénesville	BNVL	Croûte de battance généralisée : Faciès F2/F3 sur 90%. Très faible rugosité (R0/R1). Présence de nombreuses traces de roues. Très faible porosité structurale. Taux de couvert du Blé de 50%. Les fissures ont été colmatées par deux premières pluies d'humectation.	Très ruisselant
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 65%. Rugosité moyenne (R1/R0). Absence de trace de roues en surface. Taux de couvert du Blé de 35%.	Moyennement ruisselant
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 75%. Faible rugosité (R0). Présence de tassements dans les traces de roues. Forte porosité biologique mais pas toujours connectée avec la profondeur et localisée sur les buttes. Taux de couvert du Blé de 40%. 10 % de résidus encore présents et situés dans les dépressions.	Moyennement ruisselant
	2016 Goderville 1	GDVL1	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 55%. Faible rugosité (R0/R1). Présence de traces de roues Bonne porosité biologique connectée avec la profondeur. Taux de couvert du Blé de 30%. 25 % de résidus encore présents et situés dans les dépressions.	Moyennement ruisselant
	2016 Goderville 2	GDVL2	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 55%. Faible rugosité (R1/R0), le couvert a bien disparu. Teneur en MO de 2.4%. Traces de roues présentes mais peu marquées Forte porosité biologique connectée avec la profondeur. Taux de couvert du Blé de 50% et 5 % de résidus encore présents. Pente plus forte de 4% plus élevée que les autres SDSC mais semis perpendiculaire à la pente.	Moyennement ruisselant
	2016 Gonzeville	GZVL	Croûte de battance généralisée : Faciès F2 sur 75%. Faible rugosité (R0) du sol mais fort taux de résidus. Nombreux tassements dans traces de roues. Faible porosité biologique. Taux de couvert du Blé de 15% + 15% de trèfle + 40 % de mousse et de résidus de colza encore présents.	Très ruisselant

Tableau N° 8 : Eléments clés des parcelles dans les processus d'infiltration et de ruissellement le jour des expérimentations.

2016									2015												
Code AREAS essai	GDVL1_P1	GDVL1_P2	GDVL2_P1	GDVL2_P2	GZVL_P1	GZVL_P2	GZVLL_P1	GZVLL_P2	Code AREAS essai	GDV1	GDV2	BBD1	BBD2	BTVL1	BTVL2	GSS1	GSS2				
Nom expérimentation	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P1-	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P2-	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P1-	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P2-	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P1-	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P2-	Lab-BNVLL-Bié -P1-	Lab-BNVLL-Bié -P2-	Nom expérimentation	TS-GDV-Bié-P1-	TS-GDV-Bié-P2-	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P1-	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P2-	Lab-BTLV-Bié-P1-	Lab-BTLV-Bié-P2-	Lab-GSS-Bié-P1-	Lab-GSS-Bié-P2-				
Lieu	Goderville 1	Goderville 1	Goderville 2	Goderville 2	Gonzeville	Gonzeville	Benesville	Benesville	Lieu	Goderville	Goderville	Biville la baignarde	Biville la baignarde	Bretteville du Gd Caux	Bretteville du Gd Caux	Gonneville / scie	Gonneville / scie				
Placette N°	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	Placette N°	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2				
type	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Labour	Labour	Travail du sol / semis	Travail superficiel	Travail superficiel	Semis Direct sous couvert de mulch	Semis Direct sous couvert de mulch	Labour	Labour	Labour	Labour				
Exploitants	J. Bellet	J. Bellet	J. Bellet	J. Bellet	M. Roussel	M. Roussel	JC. Barret	JC. Barret	Exploitants	A. Chedru	A. Chedru	M. Bouquet	M. Bouquet	X. Blonde1	X. Blonde1	H. Blonde1	H. Blonde1				
Date expérimentation	24/02/2016	26/02/2016	15/03/2016	16/03/2016	26/01/2016	23/02/2016	07/04/2016	08/04/2016	Date expérimentation	27/01/2015	28/01/2015	04/03/2015	06/03/2015	02/02/2015	03/02/2015	27/02/2015	26/02/2015				
Couvert	Blé / colza	Blé / colza	Blé / interculture sur Lin	Blé / interculture sur Lin	Blé / Trèfles	Blé / Trèfles	Blé / Colza	Blé / Colza	Couvert	Blé / colza	Blé / colza	Blé / colza	Blé / colza	Blé	Blé	Blé / Colza	Blé / Colza				
% couvert	blé 30% colza residus 10%	blé 30% colza residus 20-30%	blé 50% interculture residus 3%	blé 50% residus 5%	blé 15% trèfle 15%	blé 15% trèfle 15%	60%	40%	% couvert	blé 40%	blé 35%	blé 40% Mulch de colza 10%	blé 35% Mulch de colza 10%	blé 45%	blé 35%	blé 45%	blé 40%				
Sens semis par rapport à la pente	//	//	Semis perpendiculaire à la pente	Semis perpendiculaire à la pente	//	//	//	//	Sens semis par rapport à la pente	//	//	//	//	//	//	//	//				
pente (%)	2,07%	2,15%	4,28%	4,23%	2,05%	2,60%	1,91%	2,05%	pente (%)	4,57%	4,30%	2,10%	1,85%	4,15%	3,59%	1,70%	1,85%				
Etat de surface initial, Faciès type (nomenclature INRA 1986):	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F3 avec fentes de rétraction	F3 avec fentes de rétraction	Etat de surface initial, Faciès type (nomenclature INRA 1986):	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2				
Plu-0	Nom essai	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P1-	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P2-	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P1-	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P2-	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P1-	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P2-	Lab-BNVLL-Bié -P1- Pu Hum	Lab-BNVLL-Bié -P2- Pu Hum	Plu-I	Nom essai	TS-GDV-Bié-P1-Plu35	TS-GDV-Bié-P2-Plu35	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P1-Plu35	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P2-Plu35	Lab-BTLV-Bié-P1-Plu35	Lab-BTLV-Bié-P2-Plu35	Lab-GSS-Bié-P1-Plu35	Lab-GSS-Bié-P2-Plu35		
	première pluie d'humectation (mm)	-	-	-	-	-	-	19 mm (35 mm/h pendant 32 mn)	0		durée entre les 2 pluies PII et PI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ruissellement pendant la pluie d'humectation (mm)	-	-	-	-	-	-	0 mm	-		intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	36,3	34,2	33,0	33,5	36,1	39,7	34,1	31,3		
	Seconde Pluie : intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	-	-	-	-	-	-	54,5	53,3		durée	90	65	90	105	130	102	52	53		
	durée (min)	-	-	-	-	-	-	53	59		pluie totale (mm)	54,5	37,1	49,5	58,6	78,2	67,5	29,6	27,6		
	pluie totale (mm)	-	-	-	-	-	-	48,1	52,4		pertes initiales (mm)	1,4	2,9	2,2	3,1	0,8	1,3	34,0	31,0		
	pertes initiales (mm)	-	-	-	-	-	-	5,8	24,9		Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	54,0	57	> 90,0	100	83,0	3	> 52,0	> 53,0		
	temps nécessaire pour atteindre le régime permanent	-	-	-	-	-	-	41,5	33		pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	33	32,5	> 49,5	55,8	49,9	2,0	> 30	> 28		
	pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	-	-	-	-	-	-	37,7	29,3		ruissellement en régime permanent (mm/h)	17,4	15,8	> 22,2	30,7	5,6	2,1				
	ruissellement en régime permanent (mm/h)	-	-	-	-	-	-	36,8	28		infiltration en régime permanent (mm/h)	18,9	18,4	< 10,8	2,8	30,5	37,6	> 34,1	> 31,3		
infiltration en régime permanent (mm/h)	-	-	-	-	-	-	17,8	25,3	lame ruisselée pour 30mm de pluie	11,2	7,7	6,1	5,9	1,3	1,3	0	0				
lame ruisselée pour 30mm de pluie	-	-	-	-	-	-	8,4	0,8	lame ruisselée pour 10mm de pluie	2,4	1,0	1,0	0,4	0,4	0,4	0	0				
lame ruisselée pour 10mm de pluie	-	-	-	-	-	-	23,3	11,5	lame ruisselée pour 10mm de pluie	23,2	11,2	17,1	29,5	7,6	3,4	0	0				
lame ruisselée totale (mm)	-	-	-	-	-	-	23,3	11,5	lame ruisselée totale (mm)	23,2	11,2	17,1	29,5	7,6	3,4	0	0				
Plu-I	Nom essai	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P1-Plu38	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P2-Plu38	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P1-Plu38	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P2-Plu38	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P1-Plu38	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P2-Plu38	Lab-BNVLL-Bié -P1- Plu38	Lab-BNVLL-Bié -P2- Plu38	Plu-II	Nom essai	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P1-Plu53	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P2-Plu53	Lab-GSS-Bié-P1-Plu53	Lab-GSS-Bié-P2-Plu53						
	durée entre les 2 pluies PII et PI	-	-	-	-	-	-	1h23mn après Plu I	2h35 mn après Plu II		durée entre les 2 pluies PI et PII	20:41	17:05	16:38	16:56						
	intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	38,0	38,0	35,1	41,5	35,5	40,9	33,3	36,9		intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	0,0	0,0	50,0	63,6	0,0	0,0	52,3	53,8		
	durée	116	120	105	135	60	45	60	60		durée	0	0	71	85	30	38	89	81		
	pluie totale (mm)	73,5	76,0	61,4	93,4	35,5	30,7	33,3	36,9		pluie totale (mm)	0,0	0,0	59,2	90,1	0,0	0,0	77,6	72,6		
	pertes initiales (mm)	1,8	2,7	6,2	4,0	3,9	1,7	1,7	2,6		pertes initiales (mm)	0,0	0,0	1,4	2,3	0,0	0,0	17,7	14,0		
	Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	90,0	70	65,0	120	35,0	14	13,0	24		Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	0,0	0	60,0	55	0,0	0	62,0	76		
	pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	57	44,3	38	75,0	20,7	9,5	7	14,8		pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	0	0,0	50,0	58,3	0,0	0,0	54	68,1		
	ruissellement en régime permanent (mm/h)	25	17,7	13,5	24,6	32	32,2	27,6	31,9		ruissellement en régime permanent (mm/h)	0	0	43,7	61,1	0	0	29,9	34		
	infiltration en régime permanent (mm/h)	13	20	21,6	17	3,2	8,7	4,7	5		infiltration en régime permanent (mm/h)	0,0	0,0	6,3	2,5	0,0	0,0	22,4	19,8		
lame ruisselée pour 30mm de pluie	7,5	4,6	7,2	4,3	17,9	19,2	21,6	17,2	lame ruisselée pour 30mm de pluie	0	0	11,1	11,6	0	0	1,5	3,1				
lame ruisselée pour 10mm de pluie	1,0	0,6	0,8	0,6	1,3	3,5	4,9	2,6	lame ruisselée pour 10mm de pluie	0	0	1,5	1,6	0	0	0,1	0				
lame ruisselée totale (mm)	33	25	19,2	31,3	24	21,8	25,3	30,6	lame ruisselée totale (mm)	0	0	36,3	66,8	0	0	27,1	30,50				
Plu-II	Nom essai	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P1-Plu54	SDSC-GDVL1-Bié/Mulch Co-P2-Plu54	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P1-Plu54	SDSC-GDVL2-Bié/Mulch Interc-P2-Plu54	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P1-Plu54	SDSC-GZVL-Bié/Mulch Trèfle-P2-Plu54	Lab-BNVLL-Bié -P1- Plu54	Lab-BNVLL-Bié -P2- Plu54	Plu-III	Nom essai	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P1-Plu53	SDSC-BBD-Bié/Mulch colza-P2-Plu53	Lab-GSS-Bié-P1-Plu53	Lab-GSS-Bié-P2-Plu53						
	durée entre les 2 pluies PI et PII	16h52 après Plu I	43 mn après Plu I	10mn après Plu I	19 mn après Plu I	37 mn après Plu I	53 mn après Plu I	14h00 Après Plu 0	18h47 Après Plu 0		durée entre les 2 pluies PI et PII	20:41	17:05	16:38	16:56						
	intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	57,8	54,1	52,0	53,5	54,6	57,0	54,6	52,1		intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	0,0	0,0	50,0	63,6	0,0	0,0	52,3	53,8		
	durée	68	68	50	41	30	38	38	50		durée	0	0	71	85	30	38	89	81		
	pluie totale (mm)	65,5	61,3	43,3	36,6	27,3	36,1	34,6	43,4		pluie totale (mm)	0,0	0,0	59,2	90,1	0,0	0,0	77,6	72,6		
	pertes initiales (mm)	1,0	2,1	3,0	1,5	1,0	0,8	5,0	2,3		pertes initiales (mm)	0,0	0,0	1,4	2,3	0,0	0,0	17,7	14,0		
	Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	29,0	28	5,0	7	8,0	7	33,0	32		Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	0,0	0	60,0	55	0,0	0	62,0	76		
	pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	28	25,2	6	6,2	7,3	6,7	30	27,8		pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	0	0,0	50,0	58,3	0,0	0,0	54	68,1		
	ruissellement en régime permanent (mm/h)	50	47	44	40	52,6	53,6	42,6	49		ruissellement en régime permanent (mm/h)	0	0	43,7	61,1	0	0	29,9	34		
	infiltration en régime permanent (mm/h)	7,7	7	8	13,1	2,0	3,4	12	3,1		infiltration en régime permanent (mm/h)	0,0	0,0	6,3	2,5	0,0	0,0	22,4	19,8		
lame ruisselée pour 30mm de pluie	15,4	20,7	24,3	21,0	25,7	24,9	13,4	16,4	lame ruisselée pour 30mm de pluie	0	0	11,1	11,6	0	0	1,5	3,1				
lame ruisselée pour 10mm de pluie	2,0	4,1	7,4	6,0	5,8	6,2	0,5	1,1	lame ruisselée pour 10mm de pluie	0	0	1,5	1,6	0	0	0,1	0				
lame ruisselée totale (mm)	47,7	48	34,6	26,9	25,7	33,8	17,8	30,3	lame ruisselée totale (mm)	0	0	36,3	66,8	0	0	27,1	30,50				

Tableau N°9 : Synthèse de l'ensemble des résultats sur Blé 2015 et 2016

5. RESULTATS GENERAUX DES SIMULATIONS DE PLUIE SUR BLE D'HIVER

5.1. Résultats des ruissellements sur Blé d'hiver : phases d'imbibition et transitoire

Les pages suivantes donnent l'ensemble des résultats de synthèse et tous les graphiques individuels et synthétiques des expérimentations réalisées.

En annexes, on trouvera les figures qui présentent les résultats individuels, pour chacun des 8 sites, chacune des 2 placettes ou répétitions et chacune des 2 pluies, soit au total 28 expérimentations (car 2 sites n'ont reçu qu'un type de pluie. Et pour une expérimentation il y a 3 graphiques de sortie, à savoir :

- La courbe d'intensité de ruissellement en fonction du temps ;
- La courbe d'intensité de infiltration (=infiltrabilité) en fonction du temps ;
- La courbe de lame ruisselée cumulée en fonction de la hauteur de pluie reçue.

L'examen comparatif de 28 courbes individuelles de résultats pour chaque type de pluie est très fastidieux, voire impossible. Aussi, différentes analyses synthétiques sont proposées avec :

- des grandeurs caractéristiques de chaque expérimentation ;
- des regroupements de résultats par catégorie de travail du sol.

Néanmoins, au vu du grands nombre de données et malgré ces approches, l'analyse et l'interprétation sont complexes.

Pour commencer, le tableau N° 8 (page précédente), présente tous les résultats importants obtenus lors de ces expérimentations. Il est bien détaillé et sert de base pour présenter et discuter chacun des aspects importants suivants l'un après l'autre dans ce rapport :

- Analyse des pertes de pluie initiales avant l'apparition du premier ruissellement ;
- Analyse de la quantité de pluie nécessaire et de la durée de la période de transition avant d'atteindre le régime permanent ;
- Analyse du régime permanent par son intensité moyenne de ruissellement en fonction de l'intensité de la pluie ;
- Analyse du régime permanent par son intensité d'infiltration moyenne en fonction de l'intensité de la pluie ;
- Analyse de la lame ruisselée cumulée en fonction du cumul de pluie tombée ;
- Analyse des valeurs d'érosion diffuse en fonction du type de travail du sol.

Avec tout ceci et connaissant les caractéristiques d'état de surface et de profil pédologique, il est possible de tirer des conclusions et des enseignements pertinents.

Dans cette partie nous nous attachons à présenter des tableaux et des graphiques de synthèse pour faciliter la compréhension. Néanmoins, des graphiques complexes sont aussi insérés pour montrer que la réalité est plus complexe. Il faut toujours en tenir compte pour une interprétation fine des résultats.

5.1.1. Illustration de la complexité des courbes de réponse

Avant de procéder à l'analyse des principales caractéristiques, il convient d'illustrer la diversité et la complexité des réponses comparées toutes ensemble sur un même graphique. Les 2 graphiques, sur la figure N°20 ci-après, présentent les intensités de ruissellement (mm/h) en fonction du temps pour une gamme d'intensités de pluie donnée. Il y a une couleur pour chaque expérimentation (intensité de pluie - intensité de ruissellement).

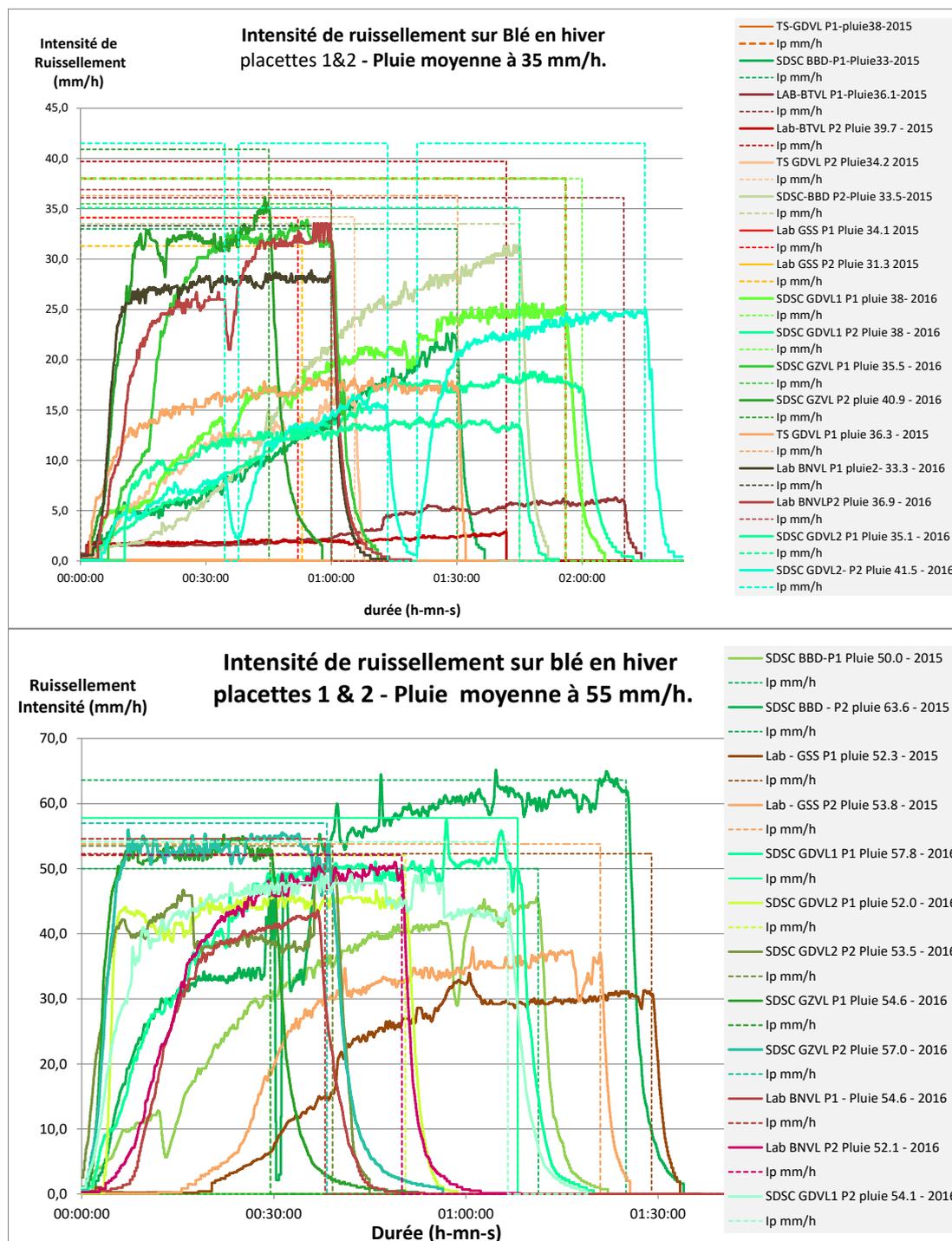


Figure N° 20 : Comparaison de toutes les courbes de réponses sur Blé pour les 2 intensités de pluie.

L'analyse des résultats est facilitée lorsque les types de travail du sol sont séparés, comme cela sera présenté dans la suite du rapport.

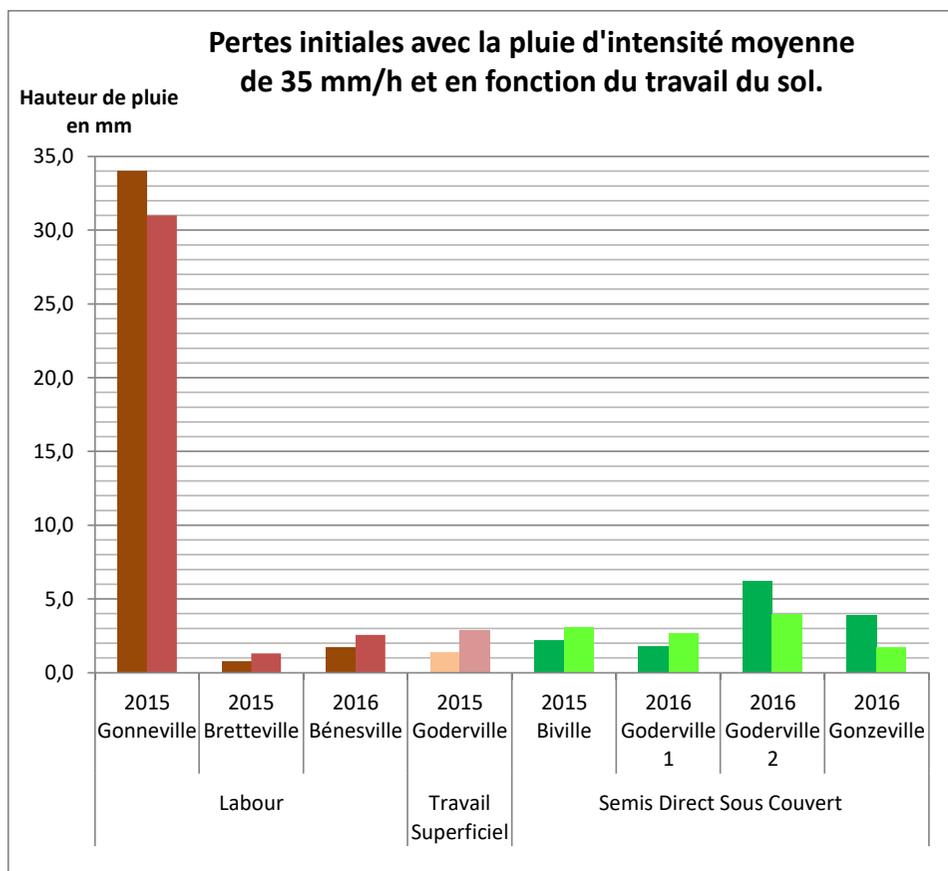


Figure N°21 : Comparaison des Pertes initiales (mm) pendant la phase d'imbibition pour les parcelles en Blé d'hiver et les premières pluies d'intensité moyenne entre 35 et 38 mm/h

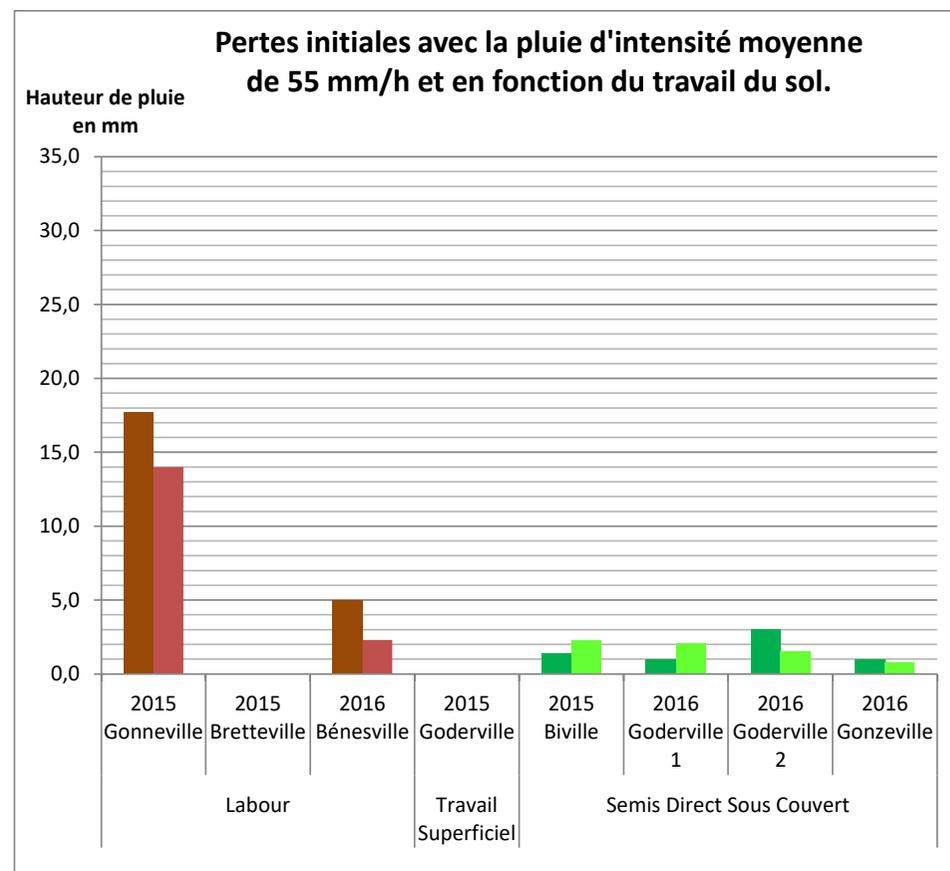


Figure N°22 : Comparaison des Pertes initiales (mm) pendant la phase d'imbibition pour les parcelles en Blé d'hiver et les deuxièmes pluies d'intensité moyenne entre 53 et 54 mm/h

Cette partie (n°5.1) présente les résultats lors des phases d'imbibition et transitoire.

5.1.2. Phase d'imbibition ou Pluie sans ruissellement

Comme le démontre les figures N° 21 et 22 ainsi que le tableau N° 9, ci-dessous, pour les différents modes d'implantation du blé, sous les 2 intensités de pluie et leur répétition, les pertes initiales sont globalement faibles, à l'exception de la parcelle en labour qui n'a pas ruisselé à Gonneville sur Scie 2015 (Lab-GSS). Elles varient seulement de 1 à 6 mm de pluie et les différences ne sont pas significatives.

pertes initiales (mm)			Pluie 1		Pluie 2	
			35- 38 mm/h.		53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonneville	<i>GSS</i>	34,0	31,0	17,7	14,0
	2015 Bretteville	<i>BTVL</i>	0,8	1,3	0,0	0,0
	2016 Bénesville	<i>BNVL</i>	1,7	2,6	5,0	2,3
Travail Superficiel	2015 Goderville	<i>GDVL</i>	1,4	2,9	0,0	0,0
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	<i>BBD</i>	2,2	3,1	1,4	2,3
	2016 Goderville 1	<i>GDVL1</i>	1,8	2,7	1,0	2,1
	2016 Goderville 2	<i>GDVL2</i>	6,2	4,0	3,0	1,5
	2016 Gonzeville	<i>GZVL</i>	3,9	1,7	1,0	0,8

Tableau N° 10 : Hauteur des pluies d'imbibition (mm) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation.

Pour la parcelle en labour à Gonneville sur Scie 2015 (Lab-GSS qui n'a pas du tout ruisselé), les pluies d'imbibition sont par définition supérieures ou égales aux pluies totales appliquées, soit respectivement 31 et 34 mm pour la pluie 1, puis 14 et 17,7 mm pour la pluie 2. Les caractéristiques d'état de surface de cette parcelle montrent faciès de forte rugosité (R2) avec une forte porosité structurale. Ceci explique l'absence de ruissellement sur les premières pluies des 2 répétitions.

Les pertes initiales pour la seconde pluie sont parfois légèrement inférieures à celles de la première pluie, mais pas systématiquement. Ceci est plutôt normal, puisque la seconde pluie ont eu lieu entre 10 mn et 1 h après la première pluie, et donc sur des sols très humides, voire saturés.

A noter que pour les expérimentations sur labour à Bénesville, l'ordre des pluies a été inversé. Ceci explique certainement la valeur un peu plus élevée de la pluie à 55 mm/h d'intensité moyenne par rapport à celle à 35 mm/h. Néanmoins les valeurs restent toujours faibles.

Les valeurs moyennes de pertes initiales sont les suivantes (tableau N° 10) :

pertes initiales (mm)	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	16,8	7,9	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	2,1	3,7	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	2,2		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	3,7	1,9	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	2,7	1,9	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	2,8	0,9	GZVL

Tableau N° 11 : Résumé des ordres de grandeur moyens des pluies d'imbibition (mm) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation et de pluies simulées.

- **Bilan : ces résultats signifient que tout ou partie des placettes génère très rapidement un ruissellement, parfois faible. Ce ruissellement apparaît à cause d'une zone de très faible perméabilité liée à un manque de porosité verticale qui résulte soit de tassements superficiels, vraisemblablement une ou des traces de roues, soit d'une faible activité biologique du sol.**

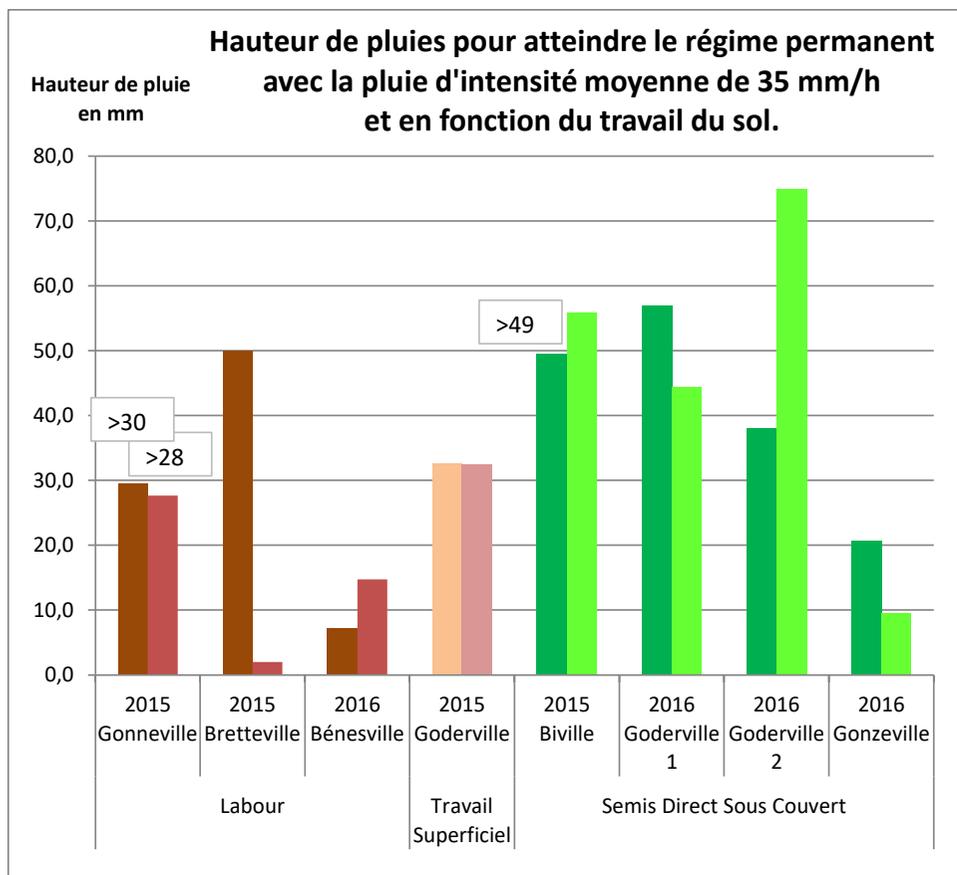


Figure N° 23 : Comparaison de la pluie cumulée (mm) lors des phases d'imbibition et transitoire pour les parcelles en blé d'hiver et les premières pluies d'intensité moyenne entre 35 et 38 mm/h

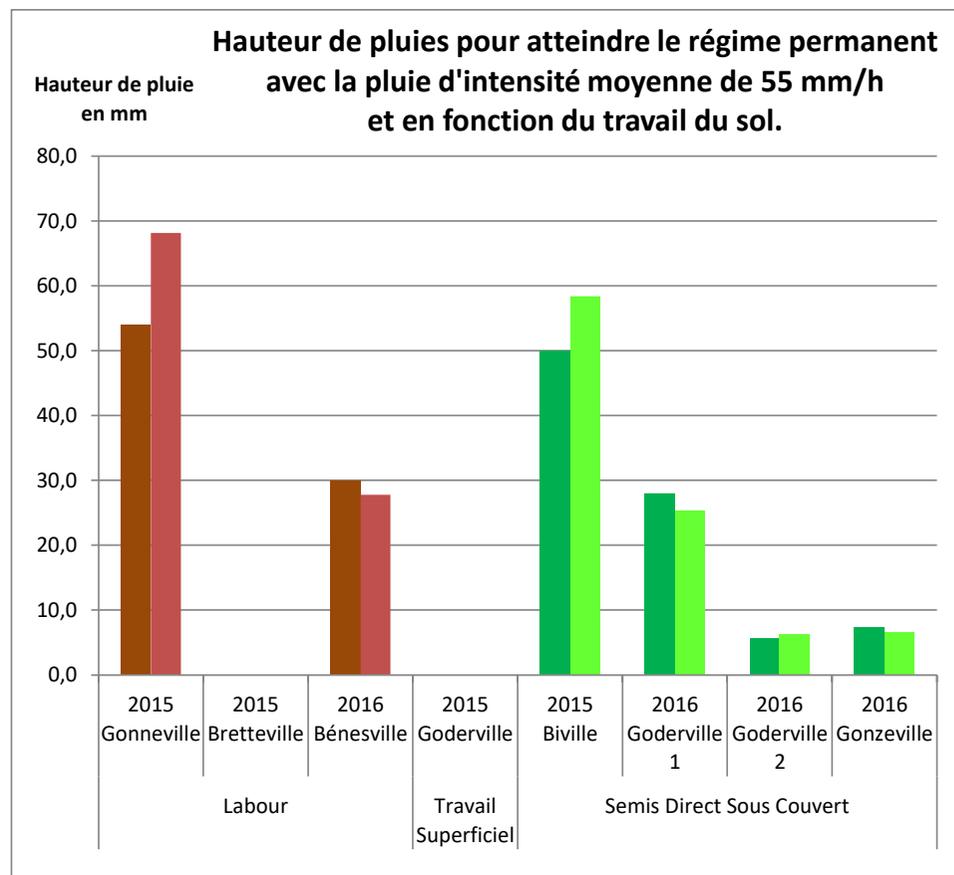


Figure N° 24 : Comparaison de la pluie cumulée (mm) lors des phases d'imbibition et transitoire pour les parcelles en blé d'hiver et les premières pluies d'intensité moyenne entre 53 et 54 mm/h

5.1.3. Hauteur de pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent : (phase d'imbibition + phase de régime transitoire)

Après la phase d'imbibition, l'intensité de ruissellement augmente progressivement à mesure que la pluie tombe jusqu'à atteindre un palier (ou plusieurs successifs) de régime de ruissellement constant et permanent. La durée et la hauteur de pluie nécessaires pour atteindre ce régime constant est variable selon le comportement des états de surface. La durée des expérimentations est faite pour essayer d'atteindre ce régime constant de ruissellement.

Pour les 8 parcelles de blé, **les hauteurs de pluie pour atteindre le régime permanent sont très variables**, comme le démontre les figures N° 23 et 24 ci-contre et le Tableau N°11, pour les différents modes d'implantation du blé, sous les 2 intensités de pluie et leur répétition.

A noter que :

- lorsque le régime permanent est obtenu pour des faibles valeurs de ruissellement (=> fortes valeurs d'infiltration), alors la durée de régime transitoire peut être faible sans pour autant être un mauvais résultat : cas de la parcelle en labour de Bretteville du Grand Caux (Lab-BTVL) où les ruissellements enregistrés ne correspondent qu'aux petites zones en dépression situées en amont de la gouttière et dont les flaques ont été coupées par cette dernière. En réalité ces parcelles ne ruissellent pas, comme à Gonneville sur Scie.
- 2 parcelles (3 placettes) n'ont pas atteint ce régime constant sous 35 mm/h d'intensité de pluie pendant la durée de l'expérimentation qui pourtant a été prolongée : le Labour de Gonneville sur Scie et une placette en semis direct sous couvert à Biville la Baignarde.
- De la même façon que précédemment, pour les expérimentations sur labour à Bénésville où l'ordre des pluies a été inversé, il semble que les résultats obtenus avec la pluie à 55 mm/h d'intensité moyenne soient surestimés et ceux obtenus avec celle à 35 mm/h soient sous-estimés (les résultats semblent inversés).

pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)			Pluie 1		Pluie 2	
			35- 38 mm/h.		53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonneville	GSS	29,6	27,6	54,0	68,1
	2015 Bretteville	BTVL	49,9	2,0	0,0	0,0
	2016 Bénésville	BNVL	7,2	14,8	30,0	27,8
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	32,7	32,5	0,0	0,0
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	49,5	55,8	50,0	58,3
	2016 Goderville 1	GDVL1	57,0	44,3	27,9	25,2
	2016 Goderville 2	GDVL2	38,0	75,0	5,7	6,2
	2016 Gonzeville	GZVL	20,7	9,5	7,3	6,7

Le Tableau N° 12 : Hauteurs de pluies pour atteindre le régime permanent sur Blé (en mm)

Les valeurs moyennes des hauteurs de pluies et des durées pour atteindre le régime permanent sont données dans les tableaux N° 12 et 13 ci-dessous :

pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	27,3	30,5	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	11,0	28,9	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	32,6		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	53,6	16,3	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	52,7	54,2	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	15,1	7,0	GZVL

Tableau N° 12 : Résumé des hauteurs de pluies moyennes simulées (mm) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	47,8	34,5	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	18,5	32,5	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	55,5		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	86,3	17,3	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	95,0	57,5	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	24,5	7,5	GZVL

Tableau N° 13 : Résumé des durées moyennes avant d'atteindre le régime constant (mn) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

Globalement, ces résultats sur les phases transitoires indiquent 4 types de comportement distincts :

1. Les parcelles qui ruissellent vite et atteignent rapidement le régime permanent avec des valeurs très élevées :
 - Cas du Labour à Bénésville de 2016 (Lab BNVL), et du semis direct sous couvert à Gonzeville de 2016 (SDSC GZVL)
(Avec la pluie à 35 mm/h, le labour de Bénésville sur la placette 1 présente une réponse très vite et atteint rapidement le palier de ruissellement constant. Mais il faut garder à l'esprit que sur ce site la pluie à 35 mm/h a été réalisée après celle à 55 mm/h contrairement aux autres sites. Cela peut être un élément d'explication).
2. La parcelle qui ruisselle assez vite et atteint rapidement le régime permanent avec des valeurs moyennes :
 - Cas du semis après travail superficiel de Goderville en 2015 (TS GDVL)
3. Les parcelles qui ruissellent assez vite et atteignent lentement le régime permanent (ou pas) avec des valeurs moyennes à élevées :
 - Cas des semis directs sous couvert de Biville la Baignarde (SDSC BBD) et de Goderville 2016 (SDSC GDVL 1 et SDSC GDVL 2).

Manifestement, les surfaces de ces trois premiers types de sol ont des zones moins perméables, ce qui conduit à atteindre rapidement le régime permanent.

4. Les parcelles qui ne ruissellent pas ou peu et atteignent le régime permanent avec des valeurs très faibles.
 - Cas des Labours à Gonzeville sur Scie (Lab GSS) et à Bretteville du Grand Caux 2015 (Lab BTVL).

Cette partie (n°5.2) présente les résultats lors des phases en régime saturé.

5.2. Analyse des Résultats de ruissellement-Infiltration à saturation

Les figures suivantes N° 25 à 28 présentent les différentes courbes de réponse, toujours complexes, des sites en fonction des techniques d'implantation utilisées.

Tous les résultats et les graphiques de chaque expérimentation sont placés en annexes, et le tableau N° 8 (présenté page 34) synthétise tous les résultats importants obtenus.

C'est à partir des résultats en régime permanent que sont extraits les paramètres suivants qui vont être successivement analysés :

- intensité moyenne de ruissellement ;
- intensité d'infiltration moyenne, et effet de l'intensité de pluie sur l'infiltration moyenne ;
- Lames ruisselées cumulées en fonction de la hauteur de pluie ;
- lame ruisselée cumulée pour 30 mm de pluie.

Après ces examens sur les eaux, une dernière analyse est présentée sur les résultats d'érosion diffuse par les mesures des concentrations en MES.

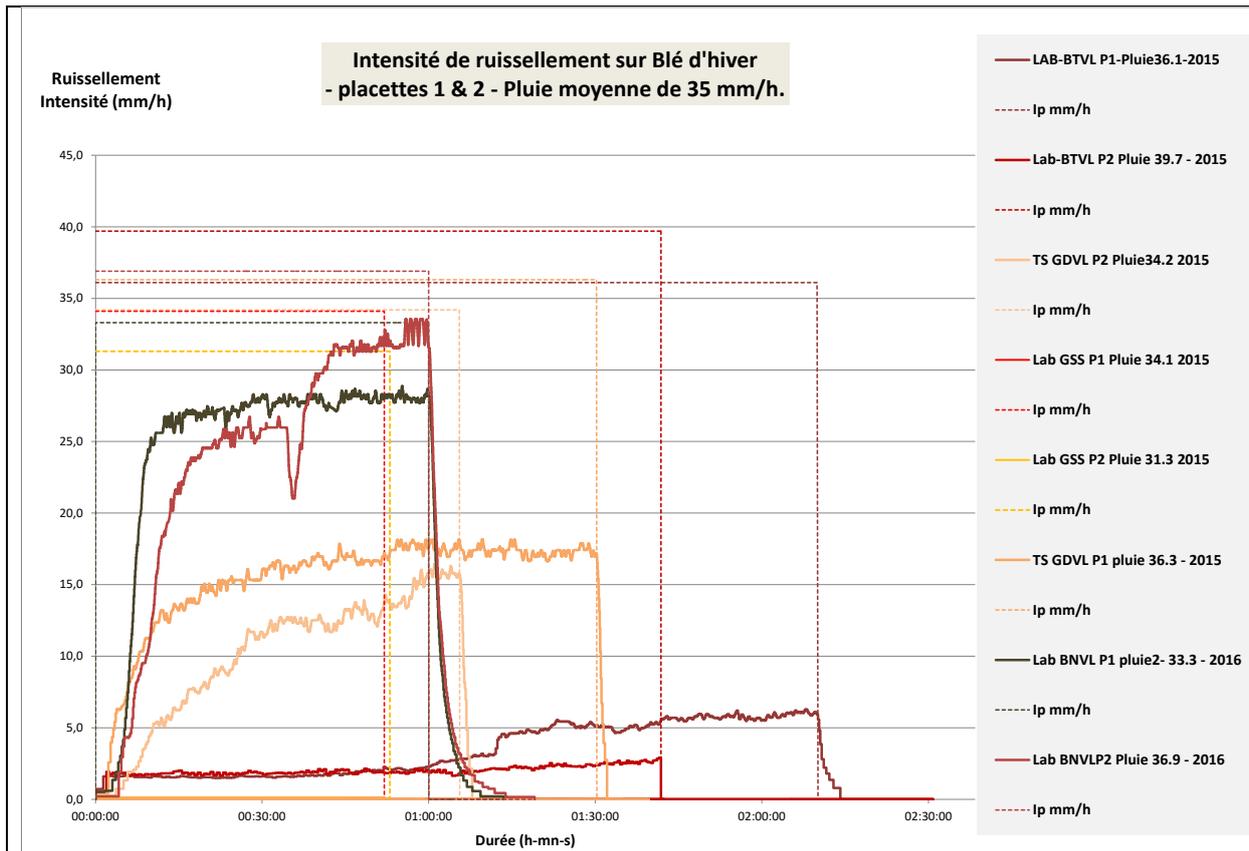


Figure N° 25 : Comparaison des courbes d'intensité de ruissellement sur Blé pour les parcelles en semis après labour ou travail superficiel avec la pluie de 35 mm/h de moyenne.

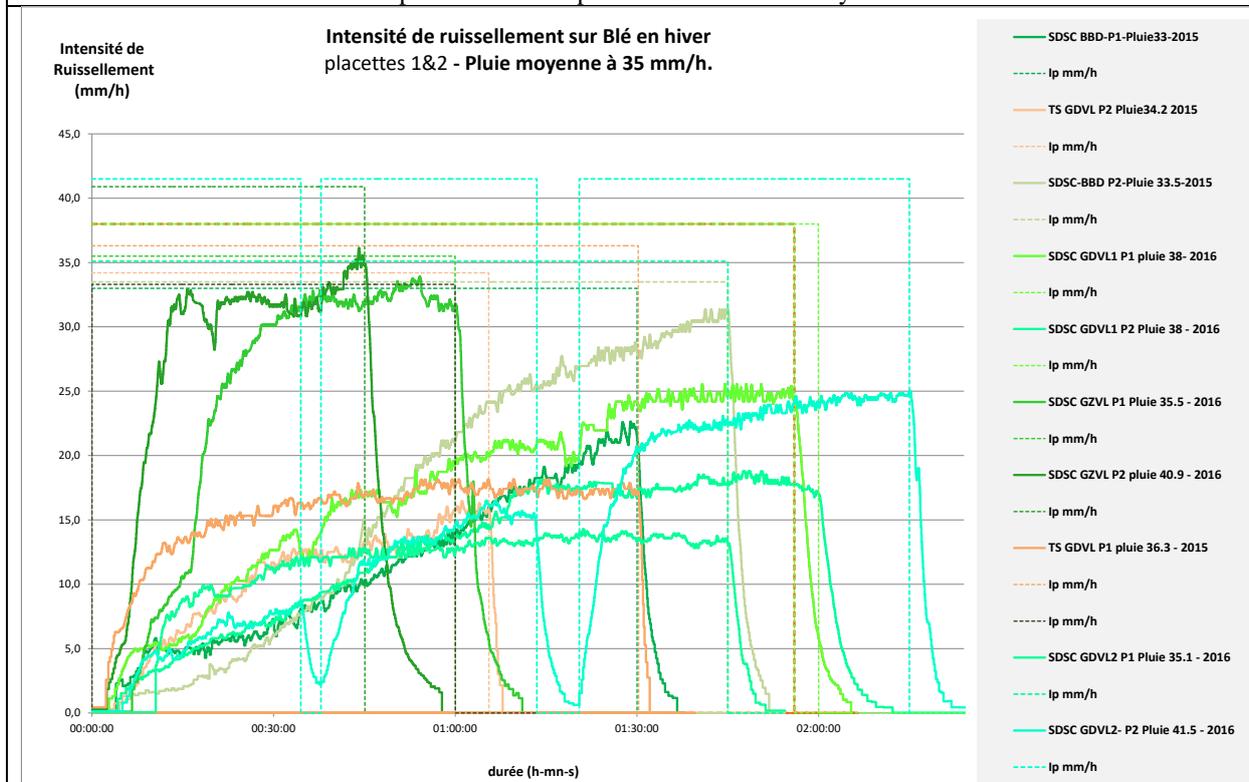


Figure N° 26 : Comparaison des courbes d'intensité de ruissellement sur Blé pour les parcelles en semis direct sous couvert avec la pluie de 35 mm/h de moyenne.

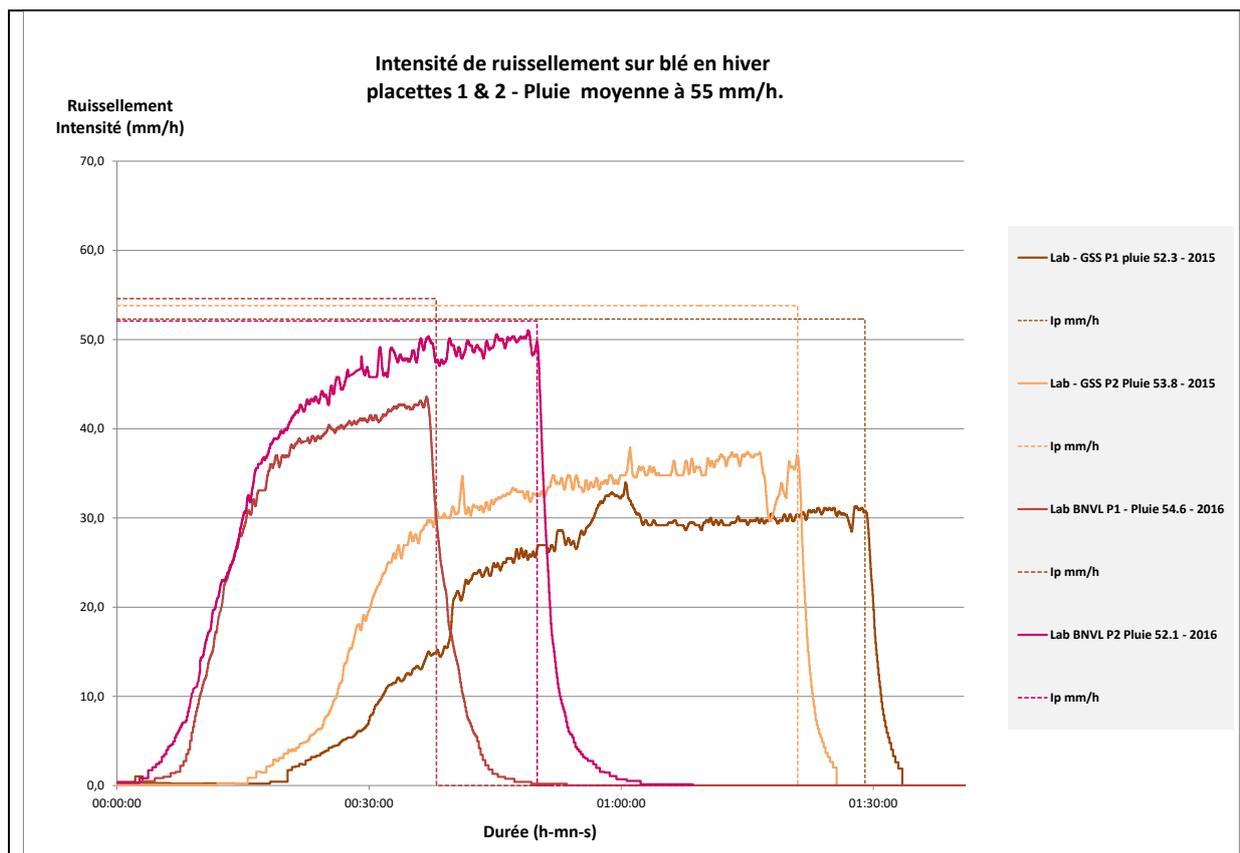


Figure N° 27 : Comparaison des courbes d'intensité de ruissellement sur Blé pour les parcelles en semis après labour ou travail superficiel avec la pluie de 55 mm/h de moyenne.

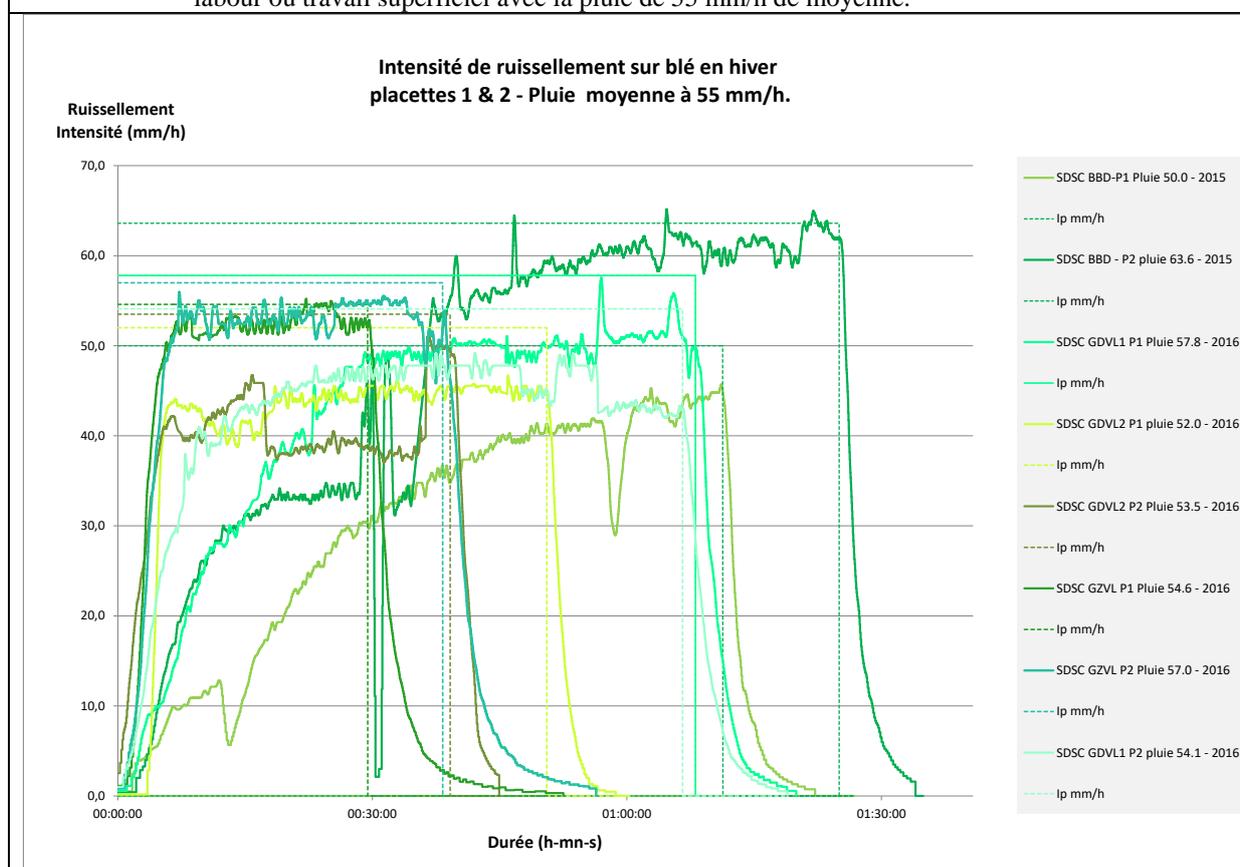


Figure N° 28: Comparaison des courbes d'intensité de ruissellement sur Blé pour les parcelles en semis direct sous couvert avec la pluie de 55 mm/h de moyenne.

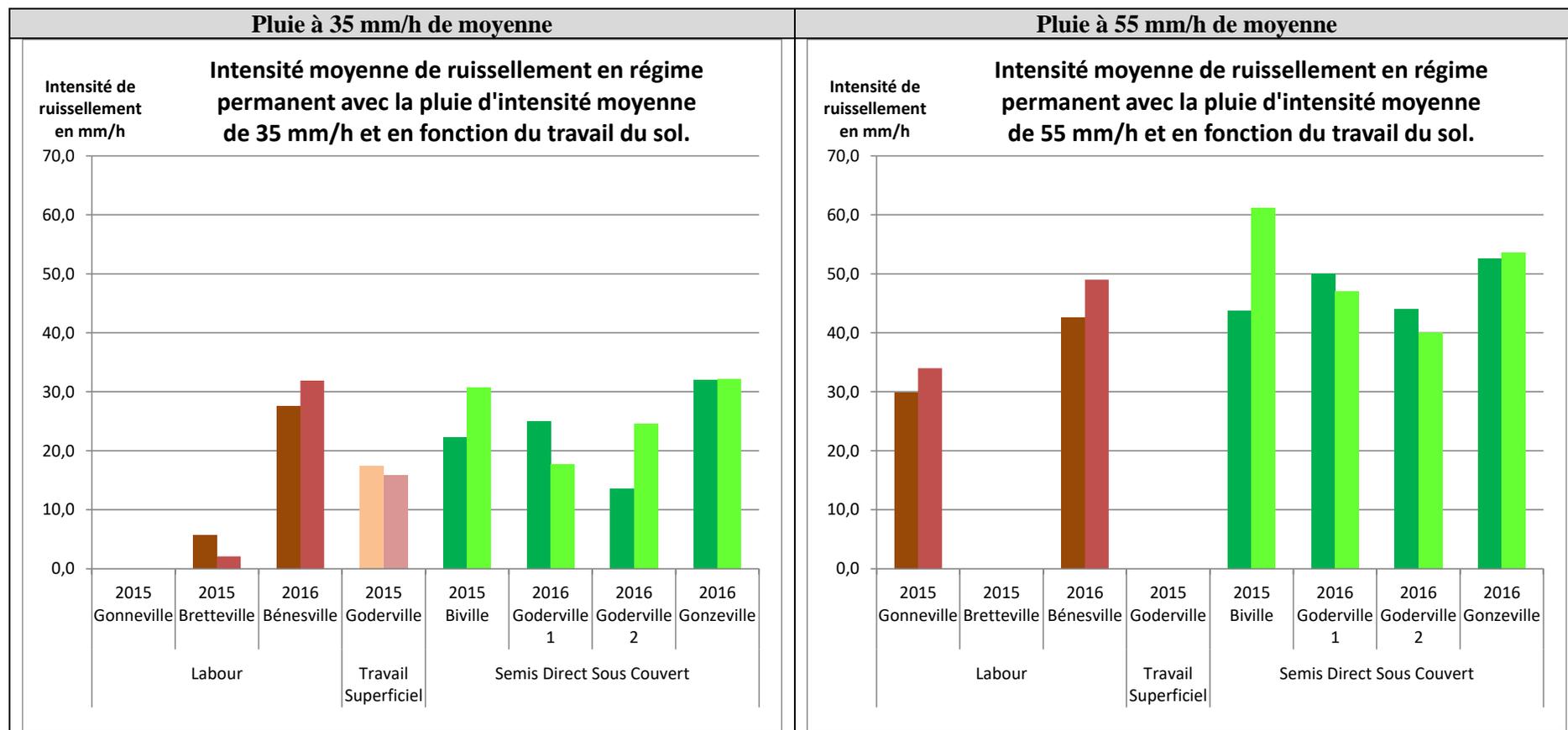


Figure N° 29 : Comparaison des intensités moyennes de ruissellement (mm/h) pendant le régime permanent lors des 2 pluies à 35 et 56 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé.

5.2.1. Analyse des intensités de ruissellement à saturation en régime permanent

Ce paramètre est l'un des plus importants. Sous une intensité de pluie donnée, il permet d'évaluer le taux de ruissellement moyen produit par la surface saturée et arrosée et de comparer les traitements. Ce paramètre reflète assez bien le comportement des sols en période hivernale avec de longues séquences pluvieuses.

Il s'agit d'un taux de ruissellement en régime permanent (dit constant), car le sol est considéré comme étant à saturation. Cela signifie que l'on a atteint la valeur limite de la capacité d'infiltration pour l'intensité de pluie choisie (ce qui ne peut correspondre qu'à une fraction de la micro-parcelle arrosée).

Il s'agit d'un ruissellement moyen car la surface est composée de sous-ensembles de perméabilités différentes représentatives de la parcelle puisqu'il y a des zones de passages de roues (donc compactées et plus ruisselantes) et des zones sans tassement ou avec des particularités. Il faut donc faire attention dans l'interprétation des résultats car une même valeur moyenne donnée peut refléter :

- soit de petites surfaces très ruisselantes associées à d'autres surfaces non ruisselantes,
- soit au contraire des grandes surfaces homogènes peu ruisselantes pour diverses raisons.

Néanmoins, le résultat est représentatif de la globalité de la parcelle pour une intensité de pluie choisie.

Les résultats, illustrés dans la figure N° 29, sont récapitulés dans le tableau N° 14 ci-dessous pour chaque placette.

Ruissellement en régime permanent (mm/h)			Pluie 1		Pluie 2	
			35- 38 mm/h.		53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonneville	GSS	0,0	0,0	29,9	34,0
	2015 Bretteville	BTVL	5,6	2,1		
	2016 Bénesville	BNVL	27,6	31,9	42,6	49,0
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	17,4	15,8		
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	22,2	30,7	43,7	61,1
	2016 Goderville 1	GDVL1	25,0	17,7	50,0	47,0
	2016 Goderville 2	GDVL2	13,5	24,6	44,0	40,0
	2016 Gonzeville	GZVL	32,0	32,2	52,6	53,6

Tableau N° 14 : Intensité de ruissellement à saturation en régime constant (mm/h) sur Blé d'hiver pour chaque placette de chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

Les graphiques permettent de constater une très bonne homogénéité entre les répétitions (placettes 1 & 2).

Il faut noter aussi que le résultat est très dépendant de l'intensité de pluie testée, c'est pourquoi une analyse de l'effet de l'intensité de la pluie sera présentée ensuite.

Pour la pluie d'intensité moyenne à 35 mm/h, il y a une grande variation entre les labours de 2015 et 2016 et entre les sites. En 2015, pour les labours ayant soit très peu ruisselé (Bretteville) soit non ruisselé (Gonneville), les résultats indiquent une très faible intensité de ruissellement à saturation. Comme l'état de surface était dégradé avec une battance classée en F2, l'absence de ruissellement s'explique par une forte rugosité associée avec une porosité efficace.

Par contre, en 2016, à Bénésville, l'intensité de ruissellement à saturation est forte et semblable aux valeurs obtenues avec le Semis Direct Sous Couvert à Gonzeville. Là, le constat est : qu'à saturation les sols sont très peu perméables (non poreux) et sans rugosité superficielle capable de créer des flaques.

En Semis Direct Sous couvert, la parcelle de Gonzeville a la plus forte intensité de ruissellement, suivie par celle de Biville la Baignarde, puis de Goderville 1 et enfin celle de Goderville 2 avec La parcelle en Semis sur travail superficiel de Goderville.

Pour la pluie d'intensité moyenne à 55 mm/h, l'ordre de classement des parcelles par intensité de ruissellement reste le même, mais le niveau de ruissellement croît fortement partout, y compris sur tous les labours.

En synthèse, le tableau N° 15, donne les moyennes par type d'implantation du Blé.

Ruissellement moyen en régime permanent (mm/h)	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	1,9	16,0	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	29,8	45,8	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	16,6		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	20,2	45,3	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	26,5	52,4	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	32,1	53,1	GZVL

Tableau N° 15 : Résumé Intensités moyennes de ruissellement à saturation en régime constant (mm) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

Globalement, pour les deux intensités moyennes de pluies, on constate que la différence d'intensité de ruissellement entre labour et Semis Direct sous Couvert reste assez proche, autour de 11 mm/h.

L'augmentation moyenne de 20 mm/h entre le passage de la première pluie à la seconde pluie, accroît l'intensité de ruissellement de façon constante pour les deux types d'implantation de 15 à 28 mm/h. Lorsque l'augmentation est plus importante que l'augmentation de l'intensité de la pluie, cela signifie qu'il y a une augmentation des surfaces ruisselante au sein des placettes. En d'autres termes, on confirme qu'avec l'intensité de pluie à 35 mm/h, 100% des surfaces ne ruissellent pas.

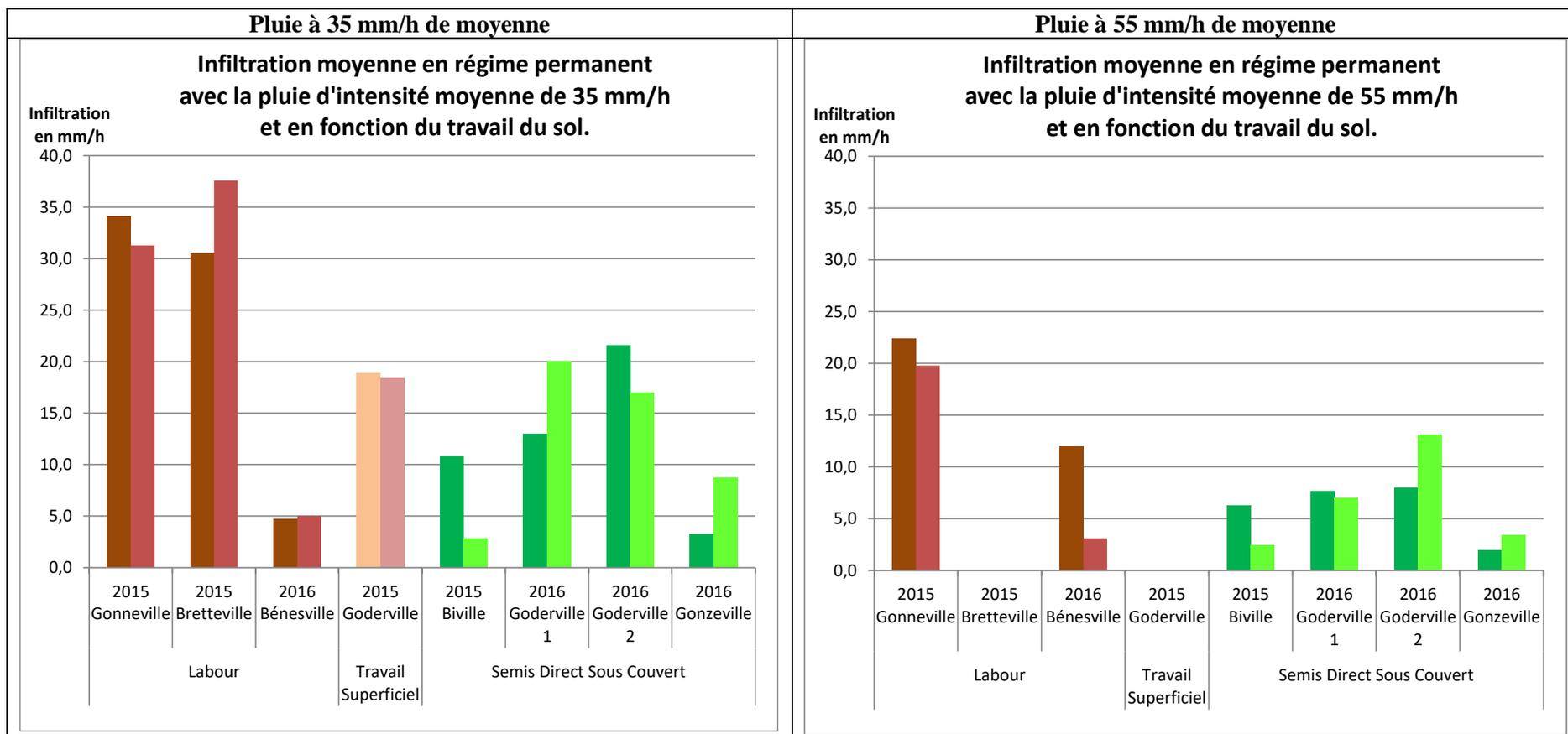


Figure N° 30 : Comparaison des intensités moyennes d'infiltration (mm/h) pendant le régime permanent lors des 2 pluies à 35 et 56 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé.

5.2.2. Analyse des intensités d'infiltration à saturation en régime permanent

La connaissance de la capacité d'infiltration des sols (ou infiltrabilité) en simulation de pluie est obtenue par différence entre l'intensité de pluie et l'intensité de ruissellement à chaque pas de temps.

Pendant la phase de régime permanent, la capacité d'infiltration mesurée représente la capacité minimale lorsque la couche de sol la moins perméable est saturée.

*On rappelle qu'il s'agit d'une **infiltrabilité moyenne** car la surface est composée de sous-ensembles de perméabilités différentes représentatives de la parcelle, puisqu'il y a des zones de passages de roues (donc compactées et de plus faible infiltrabilité) et des zones sans tassement ou avec des particularités. Comme précédemment, il faut faire attention dans l'interprétation des résultats car une même valeur moyenne donnée peut refléter :*

- soit de petites surfaces très ruisselantes associées à d'autres surfaces non ruisselantes,
- soit au contraire des grandes surfaces homogènes peu ruisselantes pour diverses raisons.

De même, on rappelle que le résultat est assez dépendant de l'intensité de pluie testée, c'est pourquoi une analyse de l'effet de l'intensité de la pluie sera présentée ensuite.

Les résultats par site sont présentés dans la figure N° 30 et le tableau N° 16 ci-dessous.

infiltration moyenne en régime permanent (mm/h)			Pluie 1		Pluie 2	
			35- 38 mm/h.		53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonnevillle	GSS	34,1	31,3	22,4	19,8
	2015 Bretteville	BTVL	30,5	37,6		
	2016 Bénesville	BNVL	4,7	5,0	12,0	3,1
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	18,9	18,4		
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	10,8	2,8	6,3	2,5
	2016 Goderville 1	GDVL1	13,0	20,0	7,7	7,0
	2016 Goderville 2	GDVL2	21,6	17,0	8,0	13,1
	2016 Gonzeville	GZVL	3,2	8,7	2,0	3,4

Tableau N° 16 : Infiltrabilité moyenne à saturation en régime constant (mm/h) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

Il ressort de ces résultats que :

- Globalement les répétitions entre placettes donnent des valeurs proches et cohérentes entre elles.
- Les valeurs sont relativement élevées (> à 15 mm/h) sous pluie simulée moyenne de 35 mm/h pour 2 parcelles en labour, la parcelle en semis sur travail du sol superficiel et 4 parcelles en semis direct sous couvert.
- Sous pluie simulée moyenne de 55 mm/h, toutes les valeurs diminuent. Elles restent encore élevées (20mm/h) sur la parcelle en labour à Gonnevillle et elles sont autour de 5 mm/h pour les 4 parcelles en semis direct sous couvert. On

remarque que ce résultat est contraire à la bibliographie et à la théorie, puisque la lame d'eau en surface épaisse et touche des zones plus élevées de meilleure perméabilité. Mais cela s'explique lorsque au sein d'une placette, d'une part la proportion de surface ruisselante croît à mesure que l'intensité de la pluie augmente, et/ou d'autre part il existe des surfaces de différentes capacités d'infiltration ; ce qui est le cas puisque nos placettes reflètent une parcelle normale. Ainsi, avec une augmentation de 20 mm/h entre les deux intensités moyennes de pluie, on note une réduction moyenne de 2 à 12 mm/h des infiltrabilités. Le graphique N° 31 ci-dessous illustre ces résultats, sachant que 3 placettes n'ont pas atteint le régime permanent et que les valeurs réelles se situeraient au-dessus ou au-dessous des flèches.

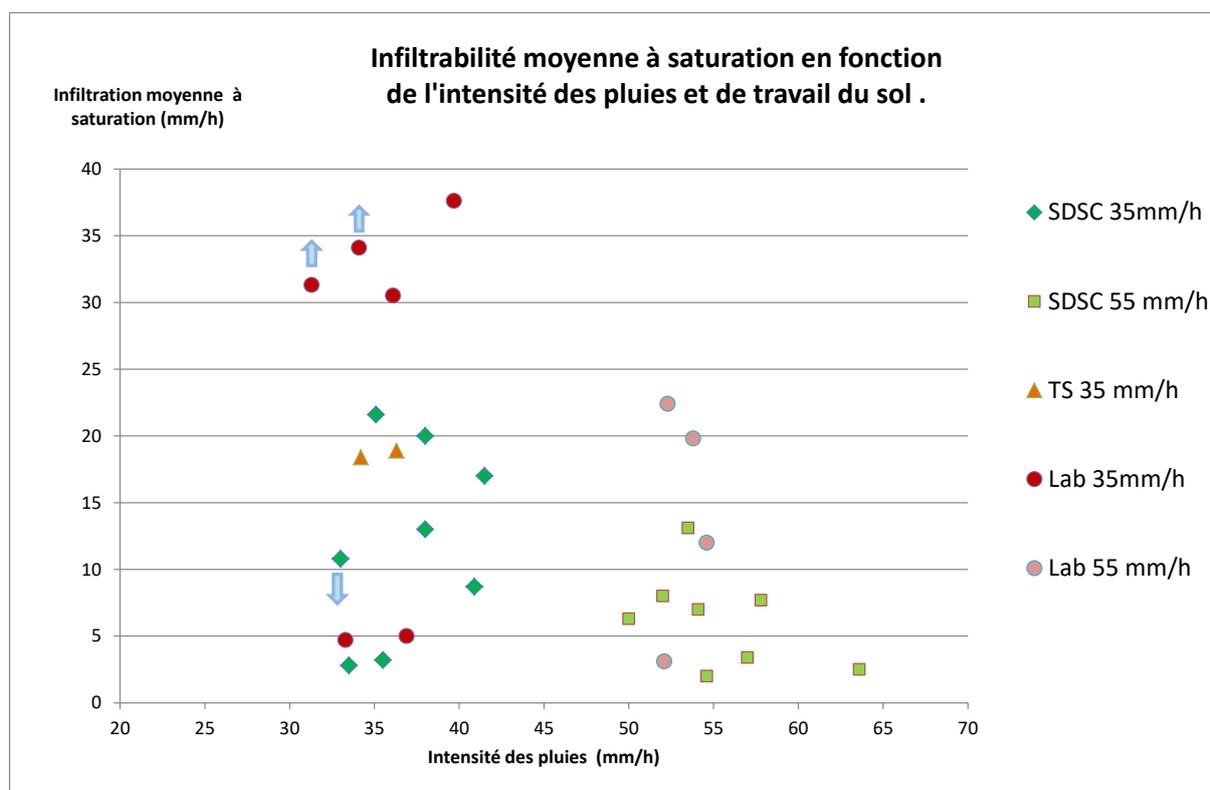


Figure N° 31 : Effet de l'intensité des deux pluies à 35 et 56 mm/h et des modes d'implantation du blé sur les intensités moyennes de ruissellement (mm/h) à saturation pendant le régime permanent.

- Pour les semis après labour et sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h, les 2 sites de Gonneville sur Scie et de Bretteville qui ont peu ou pas ruisselé présentent naturellement de fortes capacités d'infiltration moyenne à 30 mm/h ou plus. Par contre sur le site de Bénerville, l'infiltrabilité moyenne à saturation n'est que de 5 mm/h. Cette parcelle représente bien les situations classiques rencontrées en hiver sur labour.
- Pour les semis après un travail superficiel du sol et sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h, la capacité d'infiltration moyenne reste élevée à 15 mm/h, ce qui est très correct sur blé en hiver. **Mais attention**, ce n'est qu'une moyenne car on voit bien par ailleurs que c'est une parcelle qui ruisselle tôt et de façon assez

importante. **Il y a donc dans ces parcelles des zones qui ruissellent fortement et des zones qui ne ruissellent pas du tout.**

- Pour les semis directs sous couvert et sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h, 2 groupes de parcelles se distinguent :
 - Les 2 parcelles de Goderville (GDVL1 et GDVL2) pour lesquelles la capacité d'infiltration moyenne reste élevée, autour de 15 mm/h, ce qui est très correct sur blé en hiver. **Mais là encore, attention, ce n'est qu'une moyenne et l'on fait le même constat et les mêmes conclusions** en moins prononcé que sur les TS.
 - Les 2 parcelles de Biville la Baignarde et de Gonzeville (BBD et GZVL) pour lesquelles la capacité d'infiltration moyenne est faible, entre 3 et 10 mm/h, ce qui est insuffisant sur blé en hiver. Cela signifie que la porosité verticale de l'ensemble des surfaces est faible, ce qui ralentit la capacité d'infiltration. On notera malgré tout en complément que le régime permanent n'est pas rapidement atteint à Biville la Baignarde. Ceci prouve l'existence de plusieurs zones de capacités différentes. Ce n'est pas le cas à Gonzeville qui ruisselle très rapidement, indiquant un état de surface plus homogène, et à faible porosité.
- Sous pluie simulée moyenne à 55 mm/h, pour les semis directs sous couvert et, les groupes de parcelles se distinguent plus et les résultats sont faibles et plus homogènes.

En synthèse, le tableau N° 17, donne les infiltrabilités moyennes par type d'implantation du Blé.

infiltration en régime permanent (mm/h)	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	33,4	10,6	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	4,9	7,6	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	18,7		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	17,9	9,0	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	6,8	4,4	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	6,0	2,7	GZVL

Tableau N° 17 : Infiltrabilité moyenne à saturation en régime constant (mn) sur Blé d'hiver pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

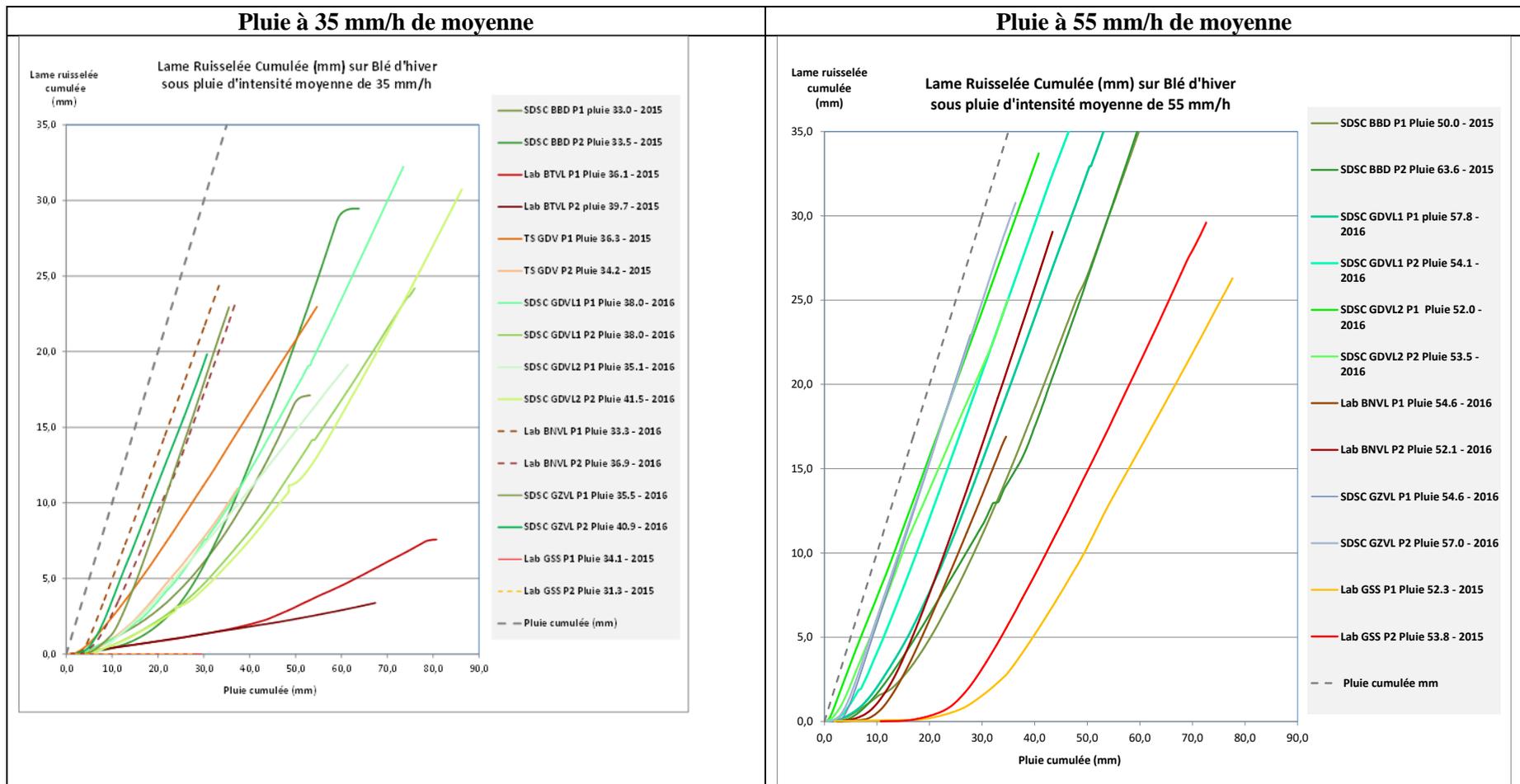


Figure N° 32 : Comparaison des lames ruisselées cumulées de pluie en fonction de la hauteur de pluie précipitée pour les 2 pluies à 35 et 56 mm/h, et pour chaque mode d'implantation du blé.

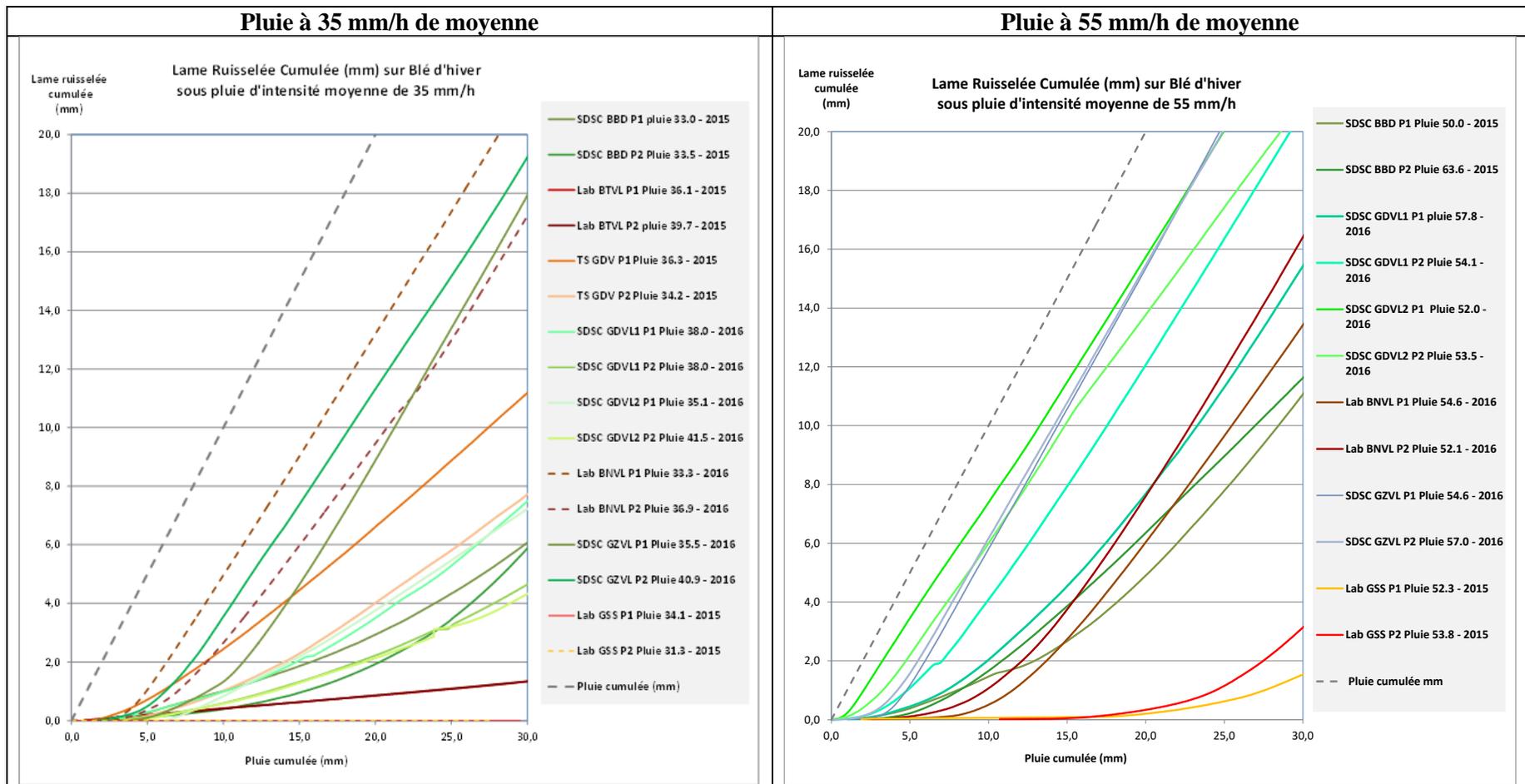


Figure N° 33 : Zoom sur les lames ruisselées cumulées de pluie en fonction de la hauteur de pluie précipitée pour les 2 pluies à 35 et 56 mm/h, et pour chaque mode d'implantation du blé.

5.2.3. Analyse des lames ruisselées cumulées en fonction de la pluie

Le résultat du cumul de ruissellement en fonction de la hauteur de pluie précipitée intègre tous les paramètres examinés précédemment. C'est donc une vision globale du comportement de chaque expérimentation face à la pluie reçue. On y observe bien les pertes initiales et la phase transitoire avant que le régime ne devienne constant. Ensuite la pente de la courbe en régime constant correspond à la capacité d'infiltration à saturation.

Cet examen permet de se rendre compte que tous les paramètres jouent et ont un rôle très important sur chaque résultat concret. Il démontre aussi que les résultats sont dépendants de la somme de pluie tombée et donc de la durée de l'expérimentation. Si on n'y prend pas garde on pourrait établir des conclusions contradictoires.

Les résultats sont présentés dans la figure N° 32 et zoomer dans la figure N° 33. Pour chaque site, il en ressort que :

- Pour les semis après labour et sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h, le site de Bretteville (BTVL 2015) a un peu ruisselé très tôt et ensuite de façon très faible constante. Il présente une forte capacité d'infiltration moyenne, mais dispose d'une petite zone de moindre perméabilité. Les résultats des 2 placettes sont similaires et cohérents (il n'y a pas de pluie à 55 mm/h).
- Pour les semis après labour et sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h, le site de Gonnevillle sur Scie (GSS 2015) n'a pas ruisselé. Il présente une forte capacité d'infiltration moyenne sur toute la surface. Les résultats des 2 placettes sont similaires et cohérents. Sous pluie simulée moyenne à 55 mm/h, les placettes ont ruisselé tardivement, avec une progression lente pour atteindre une capacité d'infiltration moyenne de 20 mm/h qui correspond vraisemblablement à une partie de la surface arrosée.
- Pour les semis après labour, le site de Bénerville (BNVL 2016) comme indiqué précédemment, on peut se rendre compte que l'inversion dans l'ordre des pluies a eu un impact. En effet, avec la pluie d'intensité moyenne à 35 mm/h, la phase d'imbibition est plus courte qu'avec la pluie à 55 mm/h. Il faut interpréter différemment les résultats. Sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h (seconde pluie) les placettes ont produit un ruissellement assez rapidement et important. L'infiltrabilité moyenne à saturation est faible 5 mm/h et généralisée sur toute la surface homogène. Les résultats des 2 placettes sont similaires et cohérents. Sous pluie simulée moyenne à 55 mm/h (première pluie appliquée), les placettes ont ruisselé très vite et fortement. La capacité d'infiltration moyenne de 7,5 mm/h indique bien que toute la parcelle répond de façon homogène.
- Pour les semis après un travail superficiel du sol et sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h, le site de Goderville (GDVL 2015) a produit un ruissellement assez rapidement avec une progression moyenne. La capacité d'infiltration moyenne reste à 18,5 mm/h. Les résultats des 2 placettes sont similaires mais une des 2 placettes a moins ruisselé que l'autre comme celle en SDSC. Globalement, il en résulte que cette technique de semis donne des résultats intermédiaires entre les parcelles moins

ruisselantes en SDSC (ou labour non ruisselant) et celles les plus ruisselantes pour des hauteurs de pluie inférieures à 30 mm. On confirme qu'il y a dans ces parcelles des zones qui ruissellent fortement et des zones qui ne ruissellent pas du tout (il n'y a pas de pluie à 55 mm/h).

- Pour les semis directs sous couvert, 2 groupes de parcelles se distinguent par leur comportement :

Parcelles qui ruissellent avec :	Pluie d'intensité moyenne à	
	35 mm/h	55 mm/h
une courte phase transitoire et une forte intensité	GZVL	GZVL GDVL2 GDVL1 P2
une longue phase transitoire et une intensité moindre	BBD GDVL1 GDVL2	BBD GDVL1 P1

Tableau N° 18 : Classement des parcelles par type de comportement.

Sous pluie simulée moyenne à 35 mm/h :

- Le site de Gonzeville (GZVL) ruisselle tôt, avec une brève phase transitoire et puis avec une forte intensité. Les résultats des 2 placettes sont similaires et cohérents. Cela en fait la parcelle la plus ruisselante testée sur les 2 campagnes.
- Les sites de Biville la Baignarde, Goderville 1 (GDVL1) et Goderville 2 (GDVL2) ont produit nettement moins de ruissellement. Ceux-ci ont démarré assez tôt avec une progression relativement faible. Les résultats des couples de placettes sont similaires et cohérents. On note des différences d'évolution à mesure que le cumul de pluie augmente. Quand la pluie totale dépasse 25 mm, la parcelle de Biville la Baignarde devient très ruisselante, à cause de sa très faible infiltrabilité à saturation.

Sous pluie simulée moyenne à 55 mm/h :

- Les sites de Gonzeville (GZVL), Goderville 2 (GDVL2) et la placette n° 2 de Goderville 1 (GDVL1 P2) ruissellent très tôt, avec une brève phase transitoire et puis avec une forte intensité. Les résultats des 2 répétitions sont similaires et cohérents.
- Les sites de Biville la Baignarde et la placette n°1 de Goderville 1 (GDVL1 P1) ont produit un peu moins de ruissellement. Ceux-ci ont démarré assez tôt avec une progression moins forte. Les résultats des couples de placettes sont similaires et cohérents. Avec cette intensité de pluie, on ne note plus de différence d'évolution à mesure que le cumul de pluie augmente.

L'examen de ces courbes s'avère assez complexe, surtout lorsqu'il y a beaucoup de tests. Aussi, pour avoir une idée sur les tendances générales il est possible d'examiner les résultats pour une hauteur de pluie cumulée donnée. C'est ce qui est présenté dans le paragraphe suivant. Toutefois il faut garder à l'esprit que les résultats et le classement entre courbes peuvent varier et s'inverser pour d'autres hauteurs de pluie.

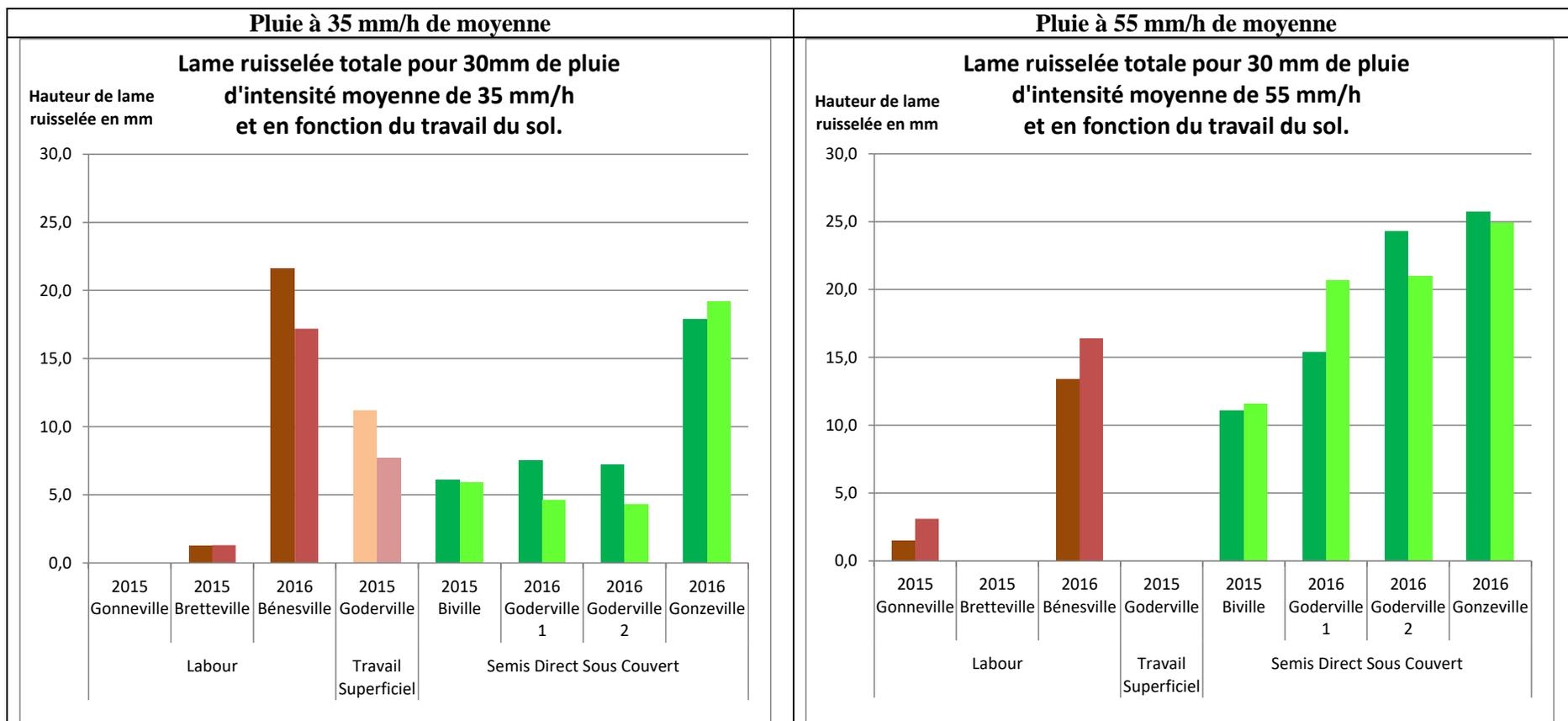


Figure N° 34 : Comparaison des lames ruisselées après 30 mm de pluie pour les 2 pluies à 35 et 56 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé.

5.2.4. Résultats des lames ruisselées après 30 mm de pluie cumulée.

Pour les 8 parcelles de blé, les hauteurs de lames ruisselées pour un cumul de pluie de 30 mm sont très variables, comme le démontre la figure N° 34 ci-contre et le Tableau N° 19, pour les différents modes d'implantation du blé, sous les 2 intensités de pluie et leur répétition.

lame ruisselée pour 30mm de pluie			Pluie 1		Pluie 2	
			35- 38 mm/h.		53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonneville	GSS	0,0	0,0	1,5	3,1
	2015 Bretteville	BTVL	1,3	1,3	0,0	0,0
	2016 Bénesville	BNVL	21,6	17,2	13,4	16,4
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	11,2	7,7	0,0	0,0
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	6,1	5,9	11,1	11,6
	2016 Goderville 1	GDVL1	7,5	4,6	15,4	20,7
	2016 Goderville 2	GDVL2	7,2	4,3	24,3	21,0
	2016 Gonzeville	GZVL	17,9	19,2	25,7	24,9

Tableau N° 19 : Lame ruisselée (mm) sur Blé d'hiver sous un cumul de pluie de 30 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

En synthèse, le tableau N° 20, donne les lames ruisselées par type d'implantation du Blé pour une hauteur de pluie de 30 mm.

lame ruisselée pour 30mm de pluie	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	0,7	1,2	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	19,4	14,9	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	9,5		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	5,9	20,4	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	6,0	11,4	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	18,6	25,3	GZVL

Tableau N° 20 : Lame ruisselée (mm) sur Blé d'hiver sous un cumul de pluie de 30 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

Pour cette hauteur de pluie de 30 mm, les 3 groupes de parcelles sont bien mis en évidence :

lame ruisselée pour 30mm de pluie		Ruissellement	
		Pluie à 35 - 38 mm/h	Pluie à 53 - 54 mm/h
non/peu ruisselant	GSS-BTVL	< 1 mm	< 1 mm
peu ruisselant	GDVL GDVL1 GDVL2	6 à 10 mm	8 à 12 mm
Ruisselant	GZVL-BNVL	19 mm	15 à 22 mm

Tableau N° 21 : Groupe d'intensité de ruissellement (mm) sur Blé d'hiver sous un cumul de pluie de 30 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

5.2.5. Résultats des lames ruisselées après 10 mm de pluie cumulée.

Il peut être intéressant d'examiner une pluie plus faible de 10 mm par exemple et plus représentative des pluies plus fréquentes en hiver, bien que l'intensité soit toujours très élevée.

Le Tableau N°22, pour les différents modes d'implantation du blé, sous les 2 intensités de pluie et leur répétition.

lame ruisselée pour 10mm de pluie	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	0,2	0,0	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant	3,8	0,8	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	1,7		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	0,8	4,9	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	0,7	1,6	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	2,4	6,0	GZVL

Tableau N° 22 : Lame ruisselée (mm) sur Blé d'hiver sous un cumul de pluie de 10 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

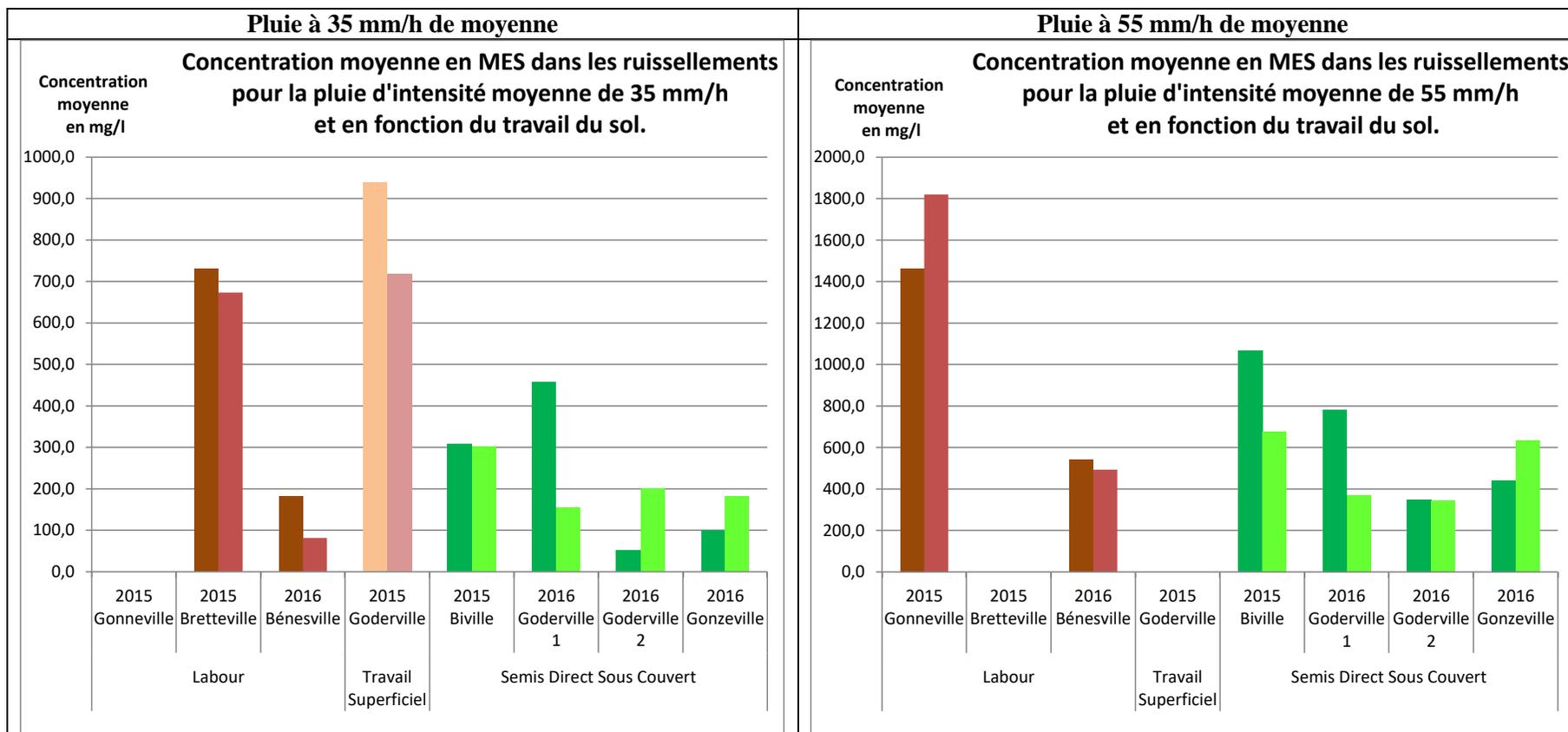


Figure N° 35 : Concentration moyenne en MES (mg/l) dans les ruissellements pour les 2 pluies à 35 et 56 mm/h, et pour chaque mode d'implantation du blé.

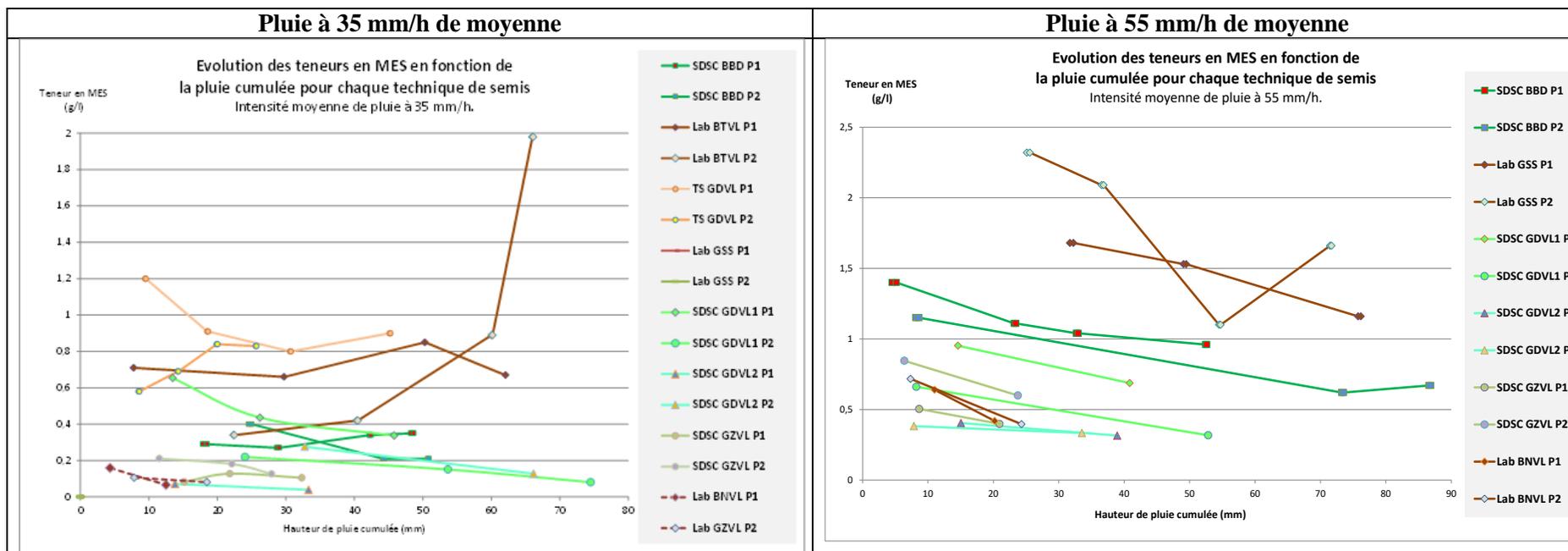


Figure N° 36 : Dynamique de l'évolution des concentrations en MES (g/l) dans chaque ruissellement pour les 2 pluies à 35 et 56 mm/h, et pour chaque mode d'implantation du blé.

5.3. Analyse des Résultats sur l'érosion diffuse par le biais des concentrations en MES

Le détail des teneurs en MES dans les échantillons de ruissellement prélevés pendant chaque simulation de pluie est reporté dans le tableau N°8.

Les concentrations moyennes en MES par expérimentation sont présentées dans le tableau N° 23 ci-dessous et sur l'histogramme de la figure N° 35 ci-contre, où toutes les valeurs sont reportées en fonction de la somme des pluies cumulées, afin d'avoir une vision complète du comportement érosif des différentes placettes pour chacun des deux types de pluies.

M.E.S (mg/l)			Pluie 1		Pluie 2	
			35- 38 mm/h.		53 – 54 mm/h.	
Labour	2015 Gonneville	GSS	0,0	0,0	1462,4	1819,9
	2015 Bretteville	BTVL	731,1	673,4	0,0	0,0
	2016 Bénesville	BNVL	181,5	81,2	539,0	492,9
Travail Superficiel	2015 Goderville	GDVL	938,1	718,0	0,0	0,0
Semis Direct Sous Couvert	2015 Biville	BBD	307,1	302,0	1065,8	677,6
	2016 Goderville 1	GDVL1	457,7	153,6	781,6	370,4
	2016 Goderville 2	GDVL2	52,2	201,3	349,4	344,5
	2016 Gonzeville	GZVL	98,9	182,0	441,8	635,9

Tableau N° 23 : Teneur moyenne en MES (mg/l) dans chaque lame ruisselée sur Blé d'hiver, pour expérimentation et chaque pluie simulée.

Les résultats sont clairs et très classiques. Dès lors que le sol n'est pas travaillé en surface, l'érosion diffuse est réduite. La diminution est d'un facteur 2 selon les types d'implantation et l'intensité de la pluie.

Ainsi par exemple, sous pluie simulée d'intensité moyenne égale à 35 mm/h, pour les sols travaillés ruisselants (hors Gonneville) la concentration moyenne varie entre 81 et 938 mg/l et pour les semis directs sous couvert, les teneurs vont de 52 à 457 mg/l.

En synthèse, le tableau N°24, donne les concentrations moyennes par type d'implantation du Blé pour chaque intensité de pluie.

M.E.S (mg/l)	Pluie 1	Pluie 2	sites
	35- 38 mm/h	53 – 54 mm/h	
Semis sur Labour, non/peu ruisselant	0 à 702,3 (sans Gonneville)	820,6	GSS- BTVL
Semis sur Labour, ruisselant (ordre inversé des pluies)	131,3	516,0	BNVL
Semis sur Travail Superficiel	828,0		GDVL
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	216,2	461,5	GDVL1-GDVL2
Semis Direct Sous Couvert, moyennement ruisselant	304,5	871,7	BBD
Semis Direct Sous Couvert, ruisselant	140,4	538,8	GZVL

Tableau N° 24 : Teneur moyenne en MES (mg/l) dans chaque lame ruisselée sur Blé d'hiver, pour chaque type de technique d'implantation plus ou moins ruisselante et de pluie simulée.

En terme de dynamique d'érosion diffuse au cours de la pluie, la figure N° 36 montre les évolutions des concentrations en MES par expérimentation en fonction de la somme des pluies cumulées. Globalement, pratiquement toutes les concentrations diminuent ou sont stables à mesure que le cumul de pluie augmente. Il n'y a que les concentrations en MES issues de 2 placettes sur chacun des sites qui augmentent. IL s'agit de la placette sur semis après Labour à Bretteville et de celle en semis après travail superficiel à Goderville (Lab BTVL P2 et TS GDVL P2).

Comme aux dates de réalisation des expérimentations, le taux de couvert, était voisin pour toutes les parcelles, ces résultats s'expliquent par 3 effets complémentaires :

- 1) La présence de croûtes denses, tassées (voire compactes) mais perforées en surface dans l'interrang du blé du semis direct sous couvert réduit la détachabilité des particules ;
- 2) La présence du mulch en surface crée une certaine rugosité superficielle, qui en cas de pente très faible, permet la création de flaques importantes de 5 mm d'épaisseur en moyenne. Cette lame d'eau amortit l'impact des gouttes de pluie, ce qui concourt à réduire la détachabilité des particules.
- 3) La rugosité du sol plus élevée sur Labour que sur Semis Direct Sous Couvert, avec de nombreuses mottes saillantes en surface qui restent accessibles aux gouttes de pluie.

6. RESULTATS COMPLEMENTAIRES SOUS PLUIES NATURELLES EN 2015

6.1. Matériel – Méthode et Pluies analysées :

Pendant l'automne hiver 2014-2015, les placettes de mesures de 10 m² ont été installées et entièrement équipées de matériel de mesures sur les 4 sites plusieurs semaines avant l'opération de simulation de pluie. Sans avoir besoin d'y consacrer beaucoup de temps, cela a permis d'enregistrer des pluies et des ruissellements naturels.

Beaucoup d'épisodes sont très petits et pour cette analyse, nous avons retenu les 5 plus forts écoulements des 4 sites, ainsi que le cumul total ruisselé sur la période de mesures qui va de fin novembre 2014 à fin février ou fin avril 2015.

Les histogrammes des pluies et des ruissellements pour les 5 plus forts événements de chaque site sont placés dans les figures N°37 à 40 ci-après.

Les courbes de pluie cumulée et de ruissellement cumulé pour chaque site sont placées en annexes.

Pendant la période d'enregistrement, il y a eu sur le Pays de Caux, 4 grandes périodes pluvieuses qui ont entraîné des écoulements sur tous les sites. Il s'agit de :

- Mi-décembre : les 10 – **12 et 17** ;
- Début janvier : les 3 – 8 – 13 ;
- Fin Janvier : les 28 / **29**, 30 et 31 ;
- Fin février : le **20**.

Les enregistreurs de ruissellement ont tous bien fonctionné pendant la période de mesures. Ainsi, les cumuls totaux ruisselés sont corrects.

Mais les pluviographes ont eu des périodes d'absence de données sur des plages temporelles différentes.

Pour le choix des 5 pluies retenues qui permettent de comparer les ruissellements aux pluies, à cause de problèmes de mesures de pluviométrie, celles retenues ne sont pas toutes aux mêmes périodes. Les couples pluie-ruissellement retenus sont ceux qui sont présentés. Les dates en gras correspondent à celles où au moins trois sites ont fonctionné.

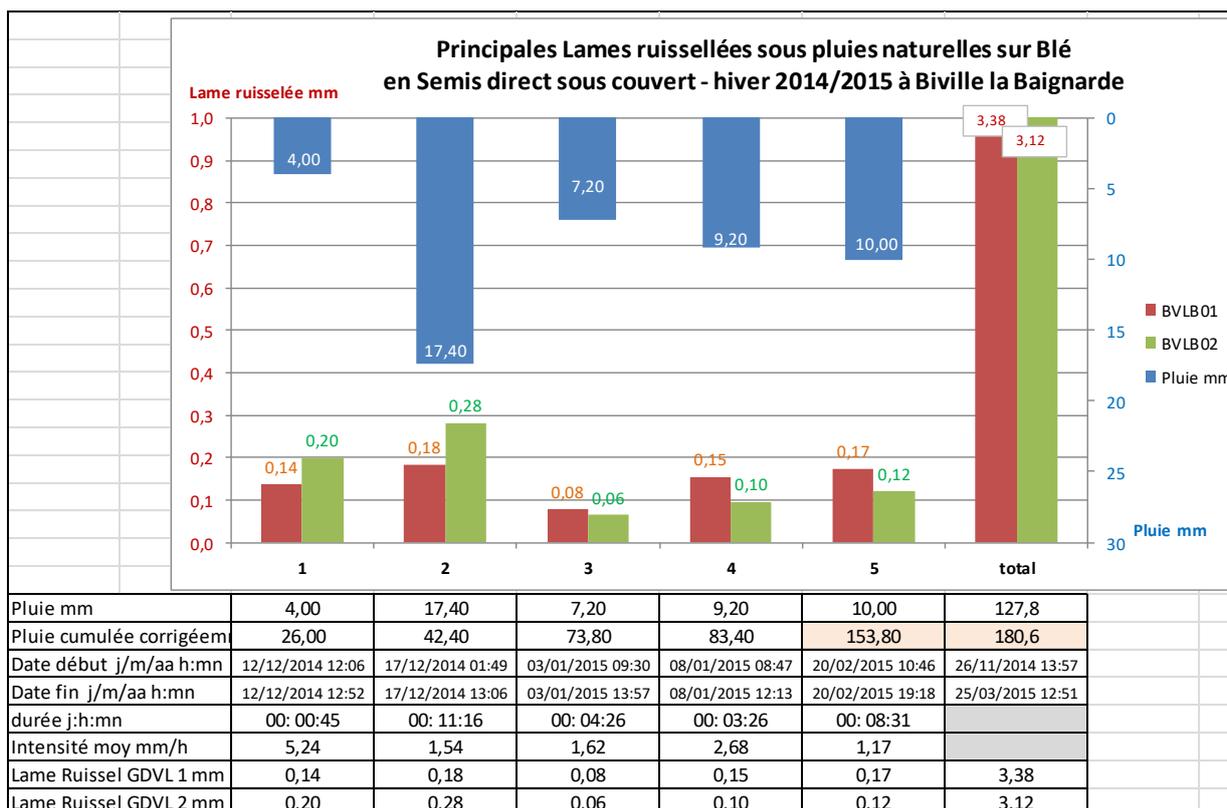


Figure N° 37 : Les 5 Principaux couples Pluies-lames ruissellées sous pluies naturelles pendant l'hiver 2014-2015 sur Blé sur la parcelle en semis direct sous couvert située à Biville la Baignarde.

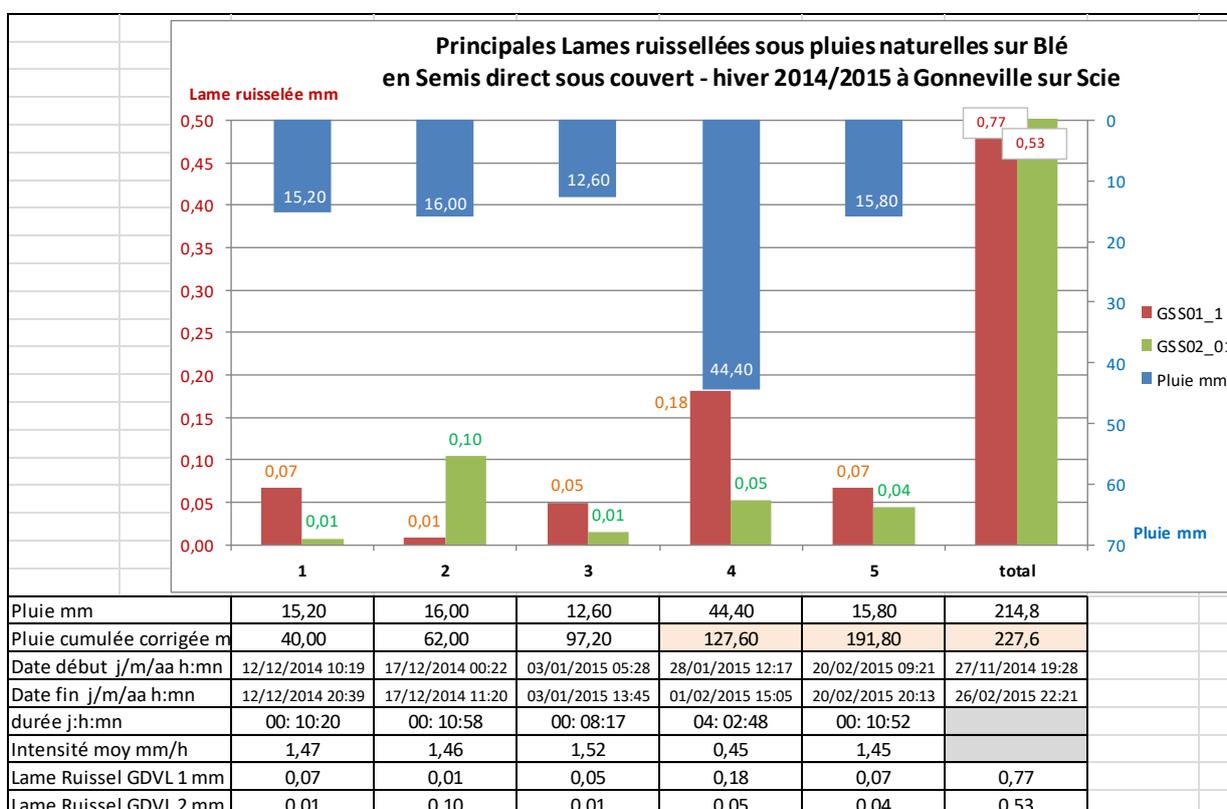


Figure N° 38 : Les 5 Principaux couples Pluies-lames ruissellées sous pluies naturelles pendant l'hiver 2014-2015 sur Blé sur la parcelle en semis après labour située à Gonneville sur Scie.

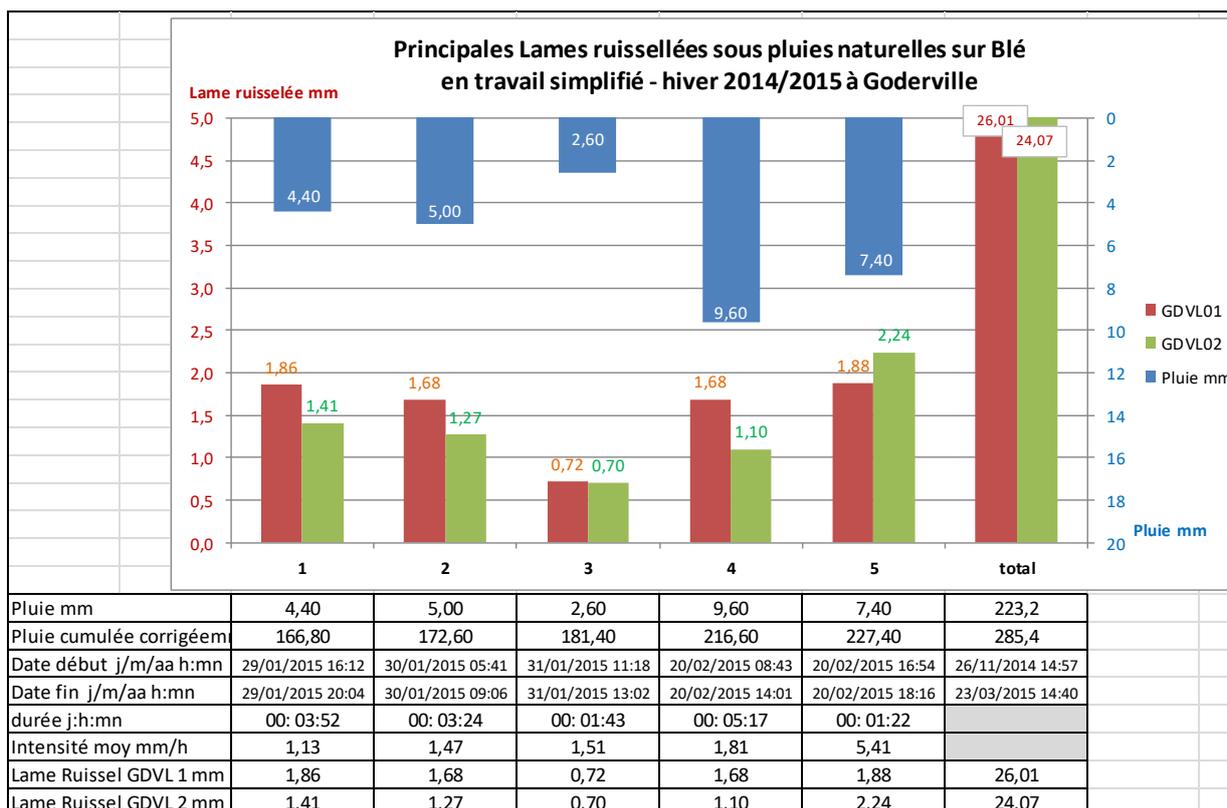


Figure N° 39 : Les 5 Principaux couples Pluies-lames ruisselées sous pluies naturelles pendant l'hiver 2014-2015 sur Blé sur la parcelle en semis après un travail superficiel située à Goderville.

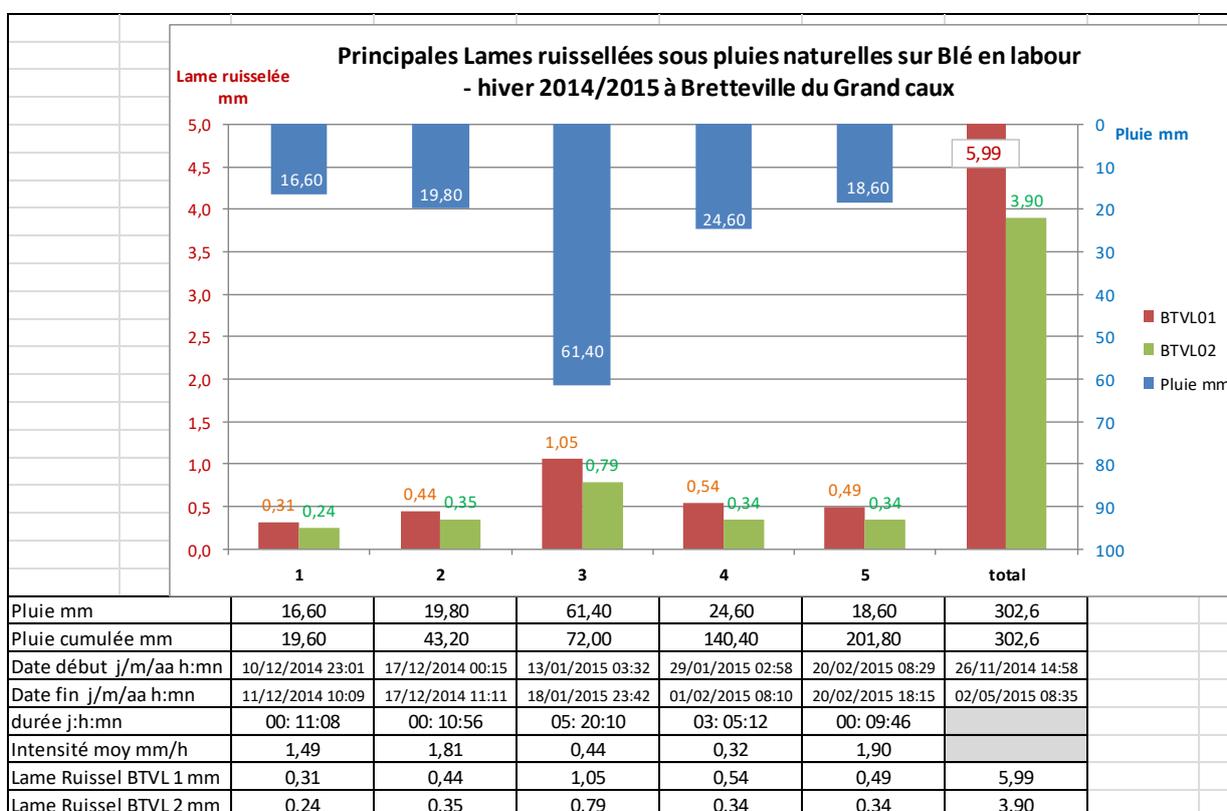


Figure N° 40 : Les 5 Principaux couples Pluies-lames ruisselées sous pluies naturelles pendant l'hiver 2014-2015 sur Blé sur la parcelle en semis après labour située à Bretteville du Grand Caux.

6.2. Analyse des résultats de ruissellements cumulés en hiver :

Les résultats, présentés dans le tableau N° 25 et sur la figure N° 41, montrent globalement :

- Un ruissellement cumulé extrêmement faible sur la parcelle en semis après labour de Gonneville sur Scie ;
- Un ruissellement cumulé très faible sur la parcelle en Semis Direct Sous Couvert à Biville la Baignarde et sur celle en semis après Labour de Bretteville du Grand Caux ;
- Un ruissellement cumulé significatif sur le semis après travail superficiel du sol à Goderville.

Site	Plage temporelle		Pluie cumulée corrigée mm	Lame ruisselée mm			
				P1	P2	Moyenne	%
BTVL	26/11/2014	02/05/2015	302,8	5,99	3,90	4,9	1,6%
GDVL	26/11/2014	23/03/2015	285,4	26,01	24,07	25,0	8,8%
GSS	27/11/2014	26/02/2015	227,4	0,77	0,53	0,6	0,3%
BBD	26/11/2014	25/03/2015	180,60	3,38	3,12	3,3	1,8%

Tableau N° 25 : Lames ruisselées cumulées sous pluies naturelles sur Blé pendant l'hiver 2014-2015, pour chaque type de technique d'implantation (*La pluie en rouge a été corrigée*)

Comme pour les mesures en simulation de pluie, les 2 parcelles en semis sur Labour ruissellent très peu. De même, pour la parcelle en semis direct sous couvert. Il ressort que la parcelle en semis après travail du sol superficiel est beaucoup plus propice aux ruissellements.

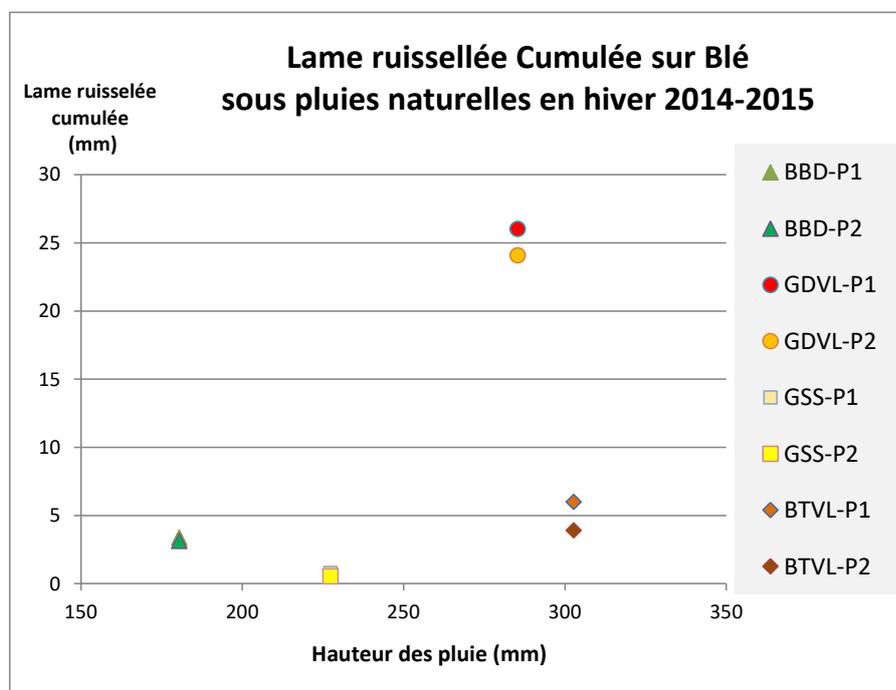


Figure N°41 : Lames ruisselées cumulées sous pluies naturelles sur Blé pendant l'hiver 2014-2015, pour chaque type de technique d'implantation.

6.3. Analyse des résultats de ruissellements individuels sur les évènements significatifs :

Tout d'abord, on peut constater dans les tableaux qu'il y a une très bonne corrélation des résultats entre les 2 répétitions pour chaque épisode sur chaque site.

Les résultats, présentés sur les figures N° 37 à 40 et sur la figure de synthèse N° 42 ci-dessous ainsi que dans les tableaux associés, confirment les tendances observées sur les cumuls :

- Sur la parcelle en semis après labour de Gonnevillle sur Scie, Il n'y a pratiquement aucun ruissellement ;
- Sur la parcelle en Semis Direct Sous Couvert à Biville la Baignarde et sur celle en semis après Labour de Bretteville du Grand Caux, les ruissellements restent extrêmement faibles. On note que sur les 2 sites, il semble y avoir une petite surface qui ruisselle de façon systématique. Ce pourrait être une zone plus tassée, par exemple une trace de roue.
- Sur le semis après travail superficiel du sol à Goderville, les lames ruisselées sont systématiquement plus fortes et représentent plus du quart de la pluie, même pour des pluies peu intenses. Ce comportement est assez classique pour les semis de blé avec un ameublissement superficiel et sans couvert pendant l'hiver (cas similaire à celui des semis affinés après labour sur sol très battant).

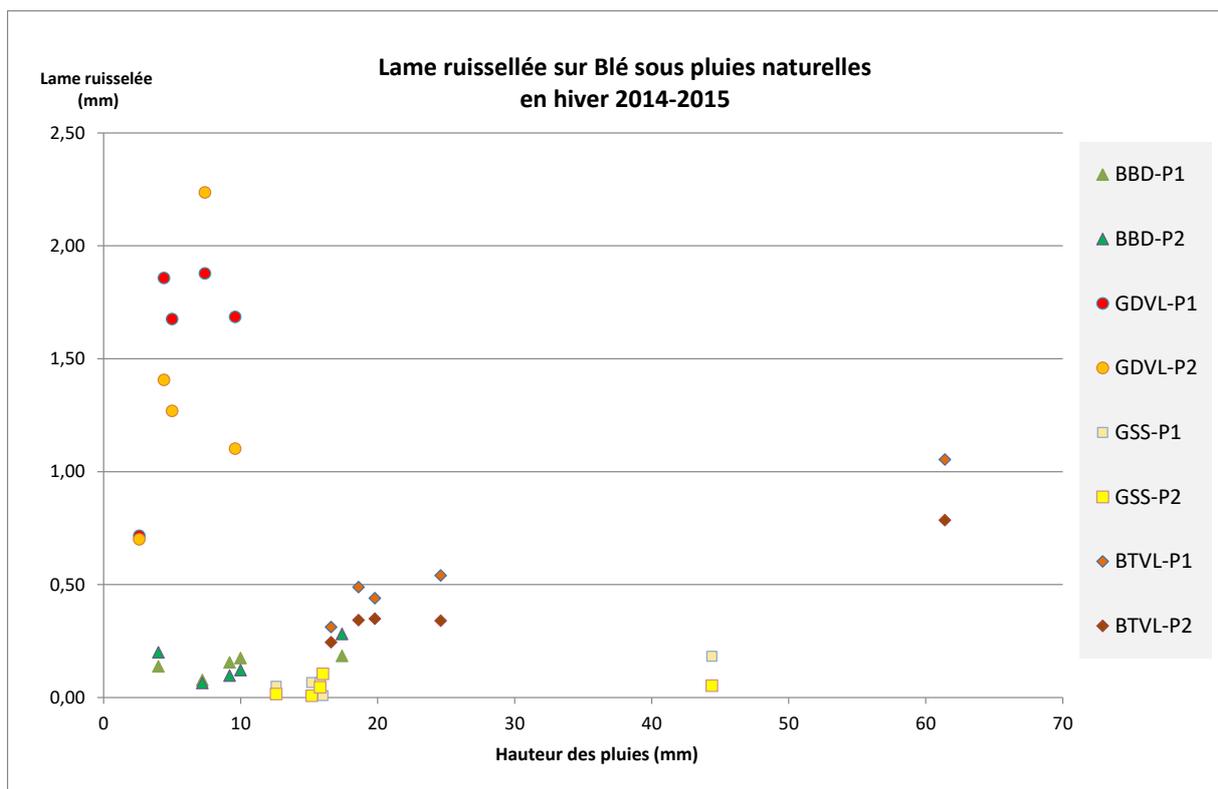


Figure N° 42 : Lames ruisselées pour les principaux épisodes de ruissellement sous pluies naturelles sur Blé pendant l'hiver 2014-2015, pour chaque type de technique d'implantation.

6.4. Bilan des enregistrements sous pluies naturelles

Les données sous pluies naturelles présentent le gros avantage d'être obtenues en conditions réelles avec des intensités pluvieuses faibles à très faibles, ce qui n'est pas le cas de la simulation de pluie. Par contre elles ne permettent pas d'atteindre les paramètres comme l'infiltration moyenne à saturation.

Néanmoins, si on se place en termes de comparaison des techniques d'implantation du blé, les résultats obtenus vont exactement dans le même sens que ceux obtenus en simulation de pluie ; notamment lorsque l'on compare le classement avec celui obtenu pour les lames ruisselées cumulées sous intensité moyenne de 35 mm/h, figure N°43 ci-dessous.

Cela permet de :

- donner une plus grande valeur aux résultats obtenus sous pluie simulée ;
- confirmer la différence de résultats, notamment entre semis direct sous couvert et semis après travail du sol superficiel.

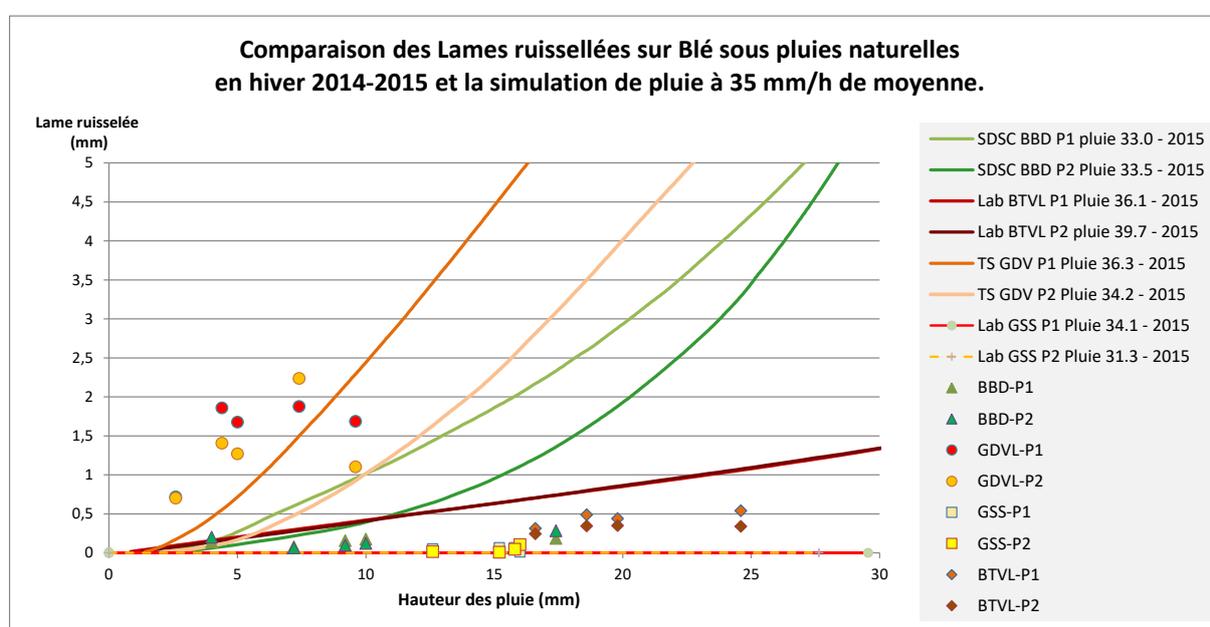


Figure N°43 : Comparaison des lames ruisselées pour les principaux épisodes de ruissellement sous pluies naturelles sur Blé pendant l'hiver 2014-2015, et celles obtenues en simulation de pluie sous intensité moyenne de 35 mm/h, pour chaque type de technique d'implantation.

Pour le reste, les enseignements et conclusions sont présentés dans le chapitre 6.5 suivant.

6.5. Examen comparé entre le semis sous couvert et le semis après travail superficiel

Au cours de l'hiver 2014-2015, l'évolution du rôle du couvert de pailles de colza broyées sur le ruissellement de la parcelle en semis sous couvert de Biville la Baignarde (BBD) peut être illustrée par comparaison avec le ruissellement mesuré sur la parcelle semée après un travail superficiel, qui a un comportement classique de semis blé nu pendant l'hiver.

La figure N° 44, présente les coefficients de ruissellement pour les principaux épisodes de ruissellement sur chacun des semis. En moyenne pour ces 5 événements, le semis sous couvert a eu un taux de ruissellement de 1,9%. Il est de 27,2% pour le semis après travail superficiel.

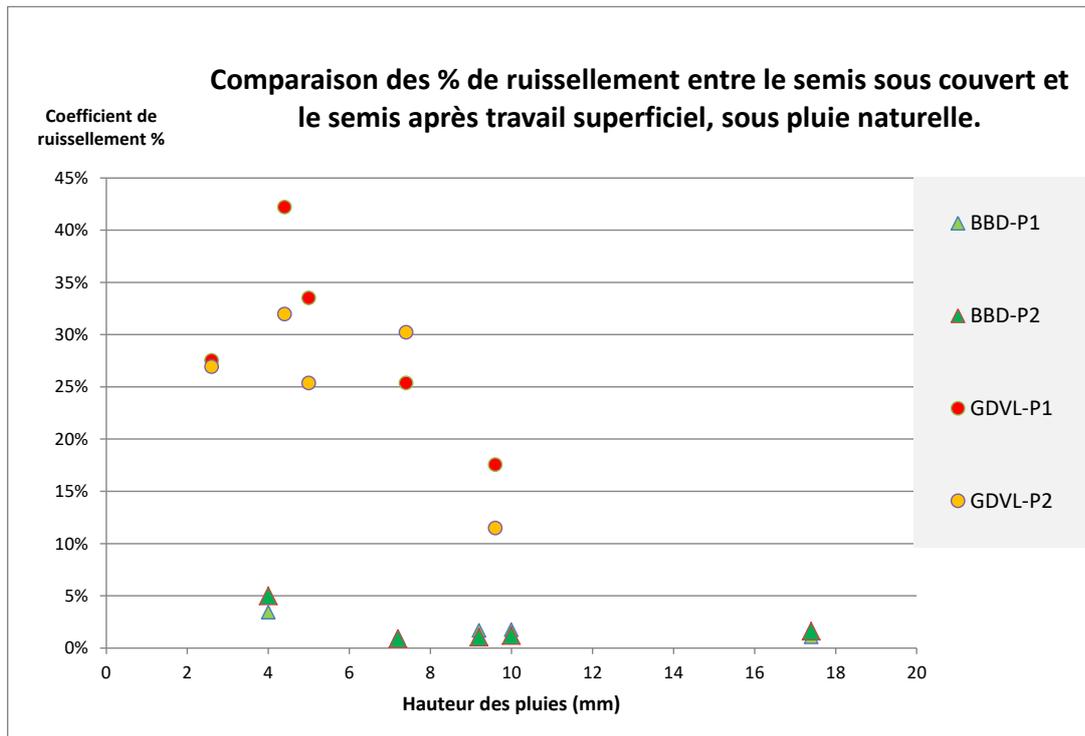


Figure N° 44 : Coefficient de ruissellement pour les principaux épisodes de ruissellement sous pluies naturelles sur Blé pendant l'hiver 2014-2015, pour le semis sous couvert (BBD) et le semis après travail superficiel (GDVL2015).

Sur l'ensemble de la période de mesures hivernale, le semis sous couvert a eu un taux de ruissellement moyen de 1,8%, et il est de 8,8% pour le semis après travail superficiel.

Ainsi, en semis sous couvert, même avec un sol tassé par le passage des engins, grâce au couvert, grâce à l'activité biologique et la présence de galeries, grâce à la présence d'une rugosité importante liée au mulch, le semis sous couvert s'est avéré moins ruisselant. Pourtant les espaces non couverts étaient bien constitués de croûtes sédimentaires bien développées.

Il faut néanmoins se souvenir que les placettes de Goderville avaient une pente un peu plus forte (4,4% par rapport à 2,0%) ce qui obligatoirement favorise un peu le ruissellement.

7. BILAN sur les résultats en blé d'hiver

Rappel préalable : les dates de simulations ayant été choisies au mieux afin d'évaluer les potentiels d'infiltration à saturation sur des états de surface fermés par des croûtes de battance généralisées, les résultats de simulation de pluie ne reflètent que des conditions de fin d'hiver ou la plupart des parcelles ont des états de surface dégradés assez proches ; c'est-à-dire la pire des situations.

Les différences de comportement qui pourraient exister pendant les phases de développement des encroûtements plus ou moins rapides en novembre -décembre, ne peuvent pas être mises en évidence.

Les enseignements qui se dégagent de ces expérimentations sur Blé en hiver sous pluies simulées et naturelles sont les suivants par type de techniques d'implantation.

7.1. Pour les semis après Labour avec un précédent colza ou lin ;

Les semis de blé sur les parcelles testées en 2015 sont très très peu ruisselants. Cela tient à plusieurs paramètres. D'abord, les semis ont été réalisés de façon à obtenir un maximum de mottes en surface. Les états de surface initiaux étaient motteux et rugueux, avec une forte macroporosité, cela en faisait des semis exemplaires. Les autres raisons sont explicitées site par site.

7.1.1. Sur la parcelle de Bretteville du Grand Caux

Il s'avère que la zone testée dispose d'une excellente teneur en matière organique de 2,47%, qui doit correspondre à un herbage récemment retourné. Cette matière organique a eu un double effet :

- Premièrement, conjuguée au précédent lin puis à l'utilisation d'un outil de travail du sol à dents (non animé) peu agressif, la structure motteuse est restée assez présente, même après 300 mm de pluie cumulée pendant l'hiver. Il y avait donc une forte rugosité et une forte rétention superficielle.
- Deuxièmement, même si l'activité biologique n'est pas très développée, certains pores étaient bien localisés dans le fond des creux entre les mottes, à la place des flaques.

Les résultats obtenus en simulation de pluie et sous pluies naturelles sont convergents. Les seuls ruissellements mesurés ne correspondent qu'aux petites zones en dépression coupées par l'installation de la gouttière de collecte.

En conclusion, cette parcelle présente toutes les caractéristiques d'un semis sur labour non ruisselant en fin d'hiver et est exemplaire. C'est aussi la preuve que la teneur en MO supérieure à un seuil de 2,4% peut permettre d'éviter tout ruissellement en hiver avec ces techniques d'implantation, sous réserve de ne pas émietter la surface du sol avec des outils agressifs, et d'effacer les traces de roues du semoir.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 34,1 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm n'est que de 1,3 mm (soit 4%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0,4 mm (soit 4%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 43 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors de 30 mm/h, bien supérieure à l'intensité des pluies d'automne hiver.

7.1.2. Sur la parcelle de Gonneville sur Scie,

La teneur en matière organique est classique et plutôt faible : 1,7%. Elle ne peut donc pas expliquer les résultats. Par contre, la teneur en argile de cette parcelle de 18,1 % et le pH de 7,5 sont les plus élevés de toutes les parcelles et lui confère une meilleure stabilité structurale. L'exploitant a aussi utilisé des outils peu agressifs de préparation du lit de semence. Il en résulte aussi un état initial de surface motteux et stable dans le temps.

Les résultats obtenus en simulation de pluie et sous pluies naturelles sont convergents.

En conclusion, cette parcelle présente toutes les caractéristiques d'un semis sur labour non ruisselant en fin d'hiver. A ce titre, il est exemplaire. C'est encore la preuve qu'il est possible d'éviter tout ruissellement en hiver avec ces techniques d'implantation, sous les mêmes réserves que précédemment.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 32,7 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm est nulle : 0 mm (0%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 52,5 mm et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors de 30 mm/h, bien supérieure à l'intensité des pluies d'automne hiver.

Le semis de blé sur la parcelle testée en 2016 a été très ruisselant (*après fermeture des fentes de rétraction de fin d'hiver*) comme cela est souvent le cas pour ce type d'implantation.

7.1.3. Sur la parcelle de Bénésville,

La teneur en matière organique est classique et plutôt faible : 1,7%, celle en argile de cette parcelle n'est que de 14,2 % et le pH est de 6,7. Ceci confère à cette parcelle une stabilité structurale médiocre. L'exploitant a utilisé un train d'outils classiques (animés) pour la préparation du lit de semence. Il en résulte aussi un état initial de surface relativement émietté. Finalement l'état de surface était dégradé de façon généralisée et avec une rugosité très faible, le tout est propice aux ruissellements. L'interprétation des résultats doit être différente et appropriée dans la mesure où l'ordre des pluies a été inversé, avec la plus intense à 55 mm/h en premier et celle à 35 mm/h en second.

Néanmoins, en conclusion, cette parcelle présente toutes les caractéristiques d'un semis sur labour assez ruisselant classique en fin d'hiver. Avec la pluie à 35 mm/h, le ruissellement démarre vite, la phase transitoire assez courte et un régime permanent élevé est atteint rapidement.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 35,1 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm n'est que de 19,4 mm (soit 65%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 3,8 mm (soit 38%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 27,5 mm et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors faible de 4,9 mm/h, égale aux intensités des pluies d'automne hiver.

C'est l'une des 2 parcelles les plus ruisselantes, même si l'on examine les résultats avec les 2 types de pluies.

7.2. Pour les Semis Directs Sous Couvert :

Après colza, les semis sous couvert ont été réalisés fin septembre directement avec des semoirs spéciaux. Il en résulte que tous les tassements des mois précédents liés aux chantiers de récolte, traitements et semis, sont encore partiellement présents. On note que le taux de couvert au semis était élevé (plus de 60%). Ensuite, après colza, le mulch de pailles broyées se dégrade petit à petit pendant l'hiver pour ne laisser qu'un taux de couvert de l'ordre de 20 à 30 % dès le début mars, période des simulations.

A noter aussi que les semis étant précoces avec des variétés différentes, le taux de couvert du sol pendant l'hiver est resté supérieur à 50%. Dans le détail, on observe que les brins de paille de colza sont rassemblés en paquets par les vers de terre, mais plutôt en position haute de la microtopographie, les creux étant plus souvent couverts de croûtes de battance. Toutefois, la présence de ces pailles réparties en paquets crée une rugosité de grande dimension décimétrique en surface, à même de former des flaques.

Après lin suivi d'interculture, le semis a été réalisé dans un couvert très dense (à Goderville 2 : GDVL 2-2016). Au départ le taux de couverture était proche de 100%. Là encore on a pu constater que le couvert se dégrade assez vite (un peu plus vite que la paille de colza). Quant aux tassements, les mêmes remarques peuvent être faites, sachant qu'il y aura eu un passage de plus en fin d'été pour planter l'interculture courte et un passage au printemps pour l'implantation du lin.

Par ailleurs, pour toutes ces parcelles, le fait que les passages de roues restent marqués en surface pendant plusieurs semaines voire des mois, il est fort probable qu'il existe des zones plus ruisselantes que d'autres en surface. Ainsi, les ruissellements mesurés sont la combinaison de surfaces non/peu ruisselantes avec des surfaces ruisselantes en proportion variable. Cela explique qu'il y ait toujours au moins un niveau moyen de ruissellement.

7.2.1. Sur la parcelle de Biville la Baignarde : blé dans mulch de colza

La teneur en matière organique est classique et plutôt faible : 1,67%. De même, la teneur en argile de cette parcelle de 14,5 % et le pH de 6,2 sont faibles, ce qui ne lui confère pas une bonne stabilité structurale. Le système de culture et les outils utilisés ont créé un état initial de surface plat et peu motteux pour la terre, mais rugueux du fait de la présence des pailles de colza. Le sol apparaît comme relativement tassé.

La macroporosité superficielle par l'activité des vers de terre est assez forte et présente sous les tas de paille (souvent en position haute). Il y a aussi une forte porosité millimétrique créée par de petits vers de terre.

On note que les résultats obtenus en simulation de pluie et sous pluies naturelles sont convergents. Avec la pluie à 35 mm/h, le ruissellement

démarre assez vite, la phase transitoire assez longue et un régime permanent élevé est atteint lentement.

En conclusion, pour cette parcelle les résultats de simulation de pluie démontrent qu'un semis direct sous couvert peut être moyennement ruisselant en fin d'hiver. C'est la preuve qu'il est possible de limiter le ruissellement en hiver avec ces techniques d'implantation, sans pourtant le supprimer totalement. Les raisons sont vraisemblablement liées aux tassements et à la trop faible abondance de porosités verticale et continue.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 33,3 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm n'est que de 6,0 mm (soit 20%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0,7 mm (soit 7%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 95 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors faible de 6,8 mm/h, égale aux intensités des pluies d'automne-hiver.

7.2.2. Sur la parcelle de Goderville 1

La teneur en matière organique est moyenne : 1,9%. De même, la teneur en argile de cette parcelle de 16,2 % est faible, mais le pH de 7,3 est élevé. Le tout lui confère une stabilité structurale moyenne. Comme précédemment, le système de culture et les outils utilisés ont créés un état initial de surface pas très motteux mais rugueux, uniquement dû à la présence des pailles de colza. Le sol apparaît comme relativement tassé.

La présence de zones plus compactées explique que malgré une infiltrabilité moyenne à saturation élevée, il y ait un niveau moyen de ruissellement.

La macroporosité superficielle par l'activité des vers de terre est bien présente sous les tas de paille (souvent en position haute). Il y a aussi une forte porosité millimétrique créée par de petits vers de terre.

Avec la pluie de 35 mm/h, le ruissellement démarre assez vite, la phase transitoire est assez longue et un régime permanent moyen est atteint lentement.

En conclusion, pour cette parcelle les résultats de simulation de pluie démontrent qu'un semis direct sous couvert peut être assez moyennement ruisselant en fin d'hiver. De même que précédemment, c'est aussi la preuve qu'il est possible de limiter le ruissellement en hiver avec ces techniques d'implantation sans pourtant le supprimer totalement. Les raisons sont vraisemblablement liées aux tassements et à la trop faible abondance de porosités verticale et continue.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 38,0 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm n'est que de 6,1 mm (20%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0,8 mm (soit 8%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 80 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors moyenne de 16,5 mm/h, supérieure aux intensités des pluies d'automne-hiver.

7.2.3. Sur la parcelle de Goderville 2

La teneur en matière organique est élevée : 2,4%. Elle peut donc expliquer les résultats. Mais, la teneur en argile de cette parcelle de 15,6 % est faible, ainsi que le pH de 6,4. Le tout lui confère une bonne stabilité structurale. Il faut aussi noter que la pente est de 4,6%, soit le double des autres semis directs sous couvert, mais que le semis est perpendiculaire à la pente ce qui permet aux rangs de blé de constituer des rétentions d'eau (flaques). Comme précédemment, le système de culture et les outils utilisés ont créé un état initial de surface pas très motteux, mais assez rugueux du fait de la présence des mulch d'interculture courte. Le sol apparaît comme relativement tassé.

La présence de zones plus compactées explique que malgré une infiltrabilité moyenne à saturation élevée, il y ait un niveau moyen de ruissellement.

La macroporosité superficielle par l'activité des vers de terre est bien présente. Avec la pluie à 35 mm/h, le ruissellement démarre assez vite, la phase transitoire est assez longue et un régime permanent moyen est atteint lentement.

En conclusion, pour cette parcelle les résultats de simulation de pluie démontrent qu'un semis direct sous couvert peut être assez moyennement ruisselant en fin d'hiver. C'est encore la preuve qu'il est possible de limiter le ruissellement en hiver avec ces techniques d'implantation sans pourtant le supprimer totalement. Les raisons sont vraisemblablement liées aux tassements et à la trop faible abondance de porosités verticale et continue. Le semis perpendiculaire à la pente sur une pente plus forte de 4,3%, avec une teneur en MO plus élevée, donne les mêmes résultats qu'à Goderville 1.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 38,3 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm n'est que de 5,8 mm (soit 19%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0,7 mm (soit 7%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 92,5 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors de 19,3 mm/h, supérieure aux intensités des pluies d'automne-hiver.

7.2.4. Sur la parcelle de Gonzeville

La teneur en matière organique de 1,5% est faible. De même, la teneur en argile de cette parcelle de 14,1 % est faible, ainsi que le pH de 6,7. Le tout lui confère une stabilité structurale faible. Comme précédemment, le système de culture et les outils utilisés ont créé un état initial de surface pas très motteux, mais rugueux du fait de la présence des pailles de colza et du trèfle. Le sol apparaît comme relativement tassé en lien avec les passages successifs avant le semis de blé.

La présence de zones plus compactées explique que l'infiltrabilité moyenne à saturation est faible et qu'il y ait un niveau élevé de ruissellement.

La macroporosité superficielle par l'activité des vers de terre est peu présente sous les tas de paille (souvent en position haute).

Avec la pluie de 35 mm/h, le ruissellement démarre vite, la phase transitoire est assez courte et un régime permanent élevé est atteint rapidement.

En conclusion, pour cette parcelle les résultats de simulation de pluie démontrent qu'un semis direct sous couvert peut être très ruisselant en fin d'hiver. Cela indique que ces techniques, tout comme les semis après labour, peuvent aussi générer de grandes quantités de ruissellement en hiver, essentiellement à cause des tassements superficiels en trop forte proportion et d'un manque de porosités verticale et continue.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 38,2 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm n'est que de 18,6 mm (62%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 2,4 mm (soit 24%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 24,5 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors de 6,0 mm/h, égale aux intensités des pluies d'automne-hiver.

7.3. Pour le semis après Travail Superficiel :

Le semis de blé sur la parcelle de Goderville testée en 2015 a été moyennement ruisselant, à l'image des semis sous couvert. Sur cette parcelle en non labour depuis longtemps, cela tient à plusieurs paramètres :

Le semis avec un semoir spécifique à dents, a été réalisé de façon à obtenir un maximum de mottes de taille moyenne en surface sans couvert autre que celui du blé. Cela en faisait un semis à priori peu ruisselant.

Sur cette parcelle de Goderville-2015, la teneur en matière organique de 2,2% est plutôt élevée. La teneur en argile de cette parcelle de 12 % est faible. Le tout lui confère une stabilité structurale moyenne. L'exploitant a utilisé un train d'outils particulier pour la préparation du lit de semence sans labour. L'état de surface sans couvert s'est bien tenu les premières semaines puis s'est lentement dégradé durant l'automne et de façon non généralisée ou partielle, le tout étant un peu plus propice aux ruissellements.

Sur cette parcelle, il faut aussi garder à l'esprit les observations initiales où la partie ruisselante ne couvre que la moitié avale de la placette. Néanmoins, on note que les résultats obtenus en simulation de pluie et sous pluies naturelles sont convergents. Il y a eu des ruissellements tout l'hiver, même avec des pluies peu intenses, ce qui démontre le caractère ruisselant des placettes.

Avec la pluie de 35 mm/h, on a constaté que le ruissellement démarre vite, la phase transitoire est assez courte et un régime permanent moyen est atteint rapidement. Tous ces éléments signent **la présence de zones peu perméables et ruisselantes à côté de zones très perméables.**

En conclusion, cette parcelle présente toutes les caractéristiques d'un semis moyennement ruisselant en fin d'hiver, finalement assez classique.

Avec la pluie simulée d'intensité égale à 35,3 mm/h, la lame ruisselée après 30 mm est de 9,5 mm (soit 32%). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 1,7 mm (soit 17%).

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 55,5 mm et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors de 18,7 mm/h, supérieure aux intensités des pluies d'automne-hiver.

7.4. Résumé général des principaux résultats :

Le tableau N°26 récapitule les 4 principales caractéristiques des ruissellements moyens. Cela permet de distinguer les 4 types de comportements observés en simulation de ruissellement et de quantifier les potentiels d'infiltration ou de ruissellement des modalités testées.

Résultats généraux moyens		sites	% de ruissellement après x mm d'une pluie d'intensité moyenne à 35 mm/h.		Durée phase transitoire	Infiltrabilité à saturation	MES Issues d'érosion diffuse (splash)
			10 mm	30 mm			
Semis sur labour	non/peu ruisselant	GSS- BTVL	2,0	2,3	47,8	33,4	702,3
	très ruisselant	BNVL	38,0	64,7	18,5	4,9	131,3
Semis sur Travail Superficiel		GDVL	17,0	31,7	55,5	18,7	828,0
Semis Direct Sous Couvert	moyennement ruisselant	GDVL1-GDVL2	8,0	19,7	86,3	17,9	216,2
	moyennement ruisselant	BBD	7,0	20,0	95,0	6,8	304,5
	très ruisselant	GZVL	24,0	62,0	24,5	6,0	140,4

Tableau N° 26 : Récapitulatif – moyenne des principales caractéristiques sous pluies simulées une intensité moyenne à 35 mm/h sur Blé en fin d'hivers 2014-2015 et 2015-2016, pour chacun des 3 modes d'implantation.

Les figures N° 45 à 48 ci-après illustrent ces principaux résultats.

Les résultats obtenus avec les semis de blé sur labour, qualifiés de non/peu ruisselants correspondent à des cas relativement peu fréquents, mais ils démontrent qu'avec ce système de culture c'est tout à fait possible. Celui considéré comme ruisselant est plus fréquent et correspond généralement au témoin. Le tableau N° 27 présente les résultats relatifs par rapport à ce type de témoin de semis de blé sur labour.

Résultats généraux moyens en % du témoin = Labour ruisselant.		sites	taux de ruissellement relatif par rapport au témoin après x mm d'une pluie d'intensité moyenne à 35 mm/h.		Durée phase transitoire / témoin	Infiltrabilité à saturation / témoin	MES issues d'érosion diffuse / témoin
			10 mm	30 mm			
Semis sur labour	non/peu ruisselant	GSS- BTVL	5%	4%	258%	682%	535%
	très ruisselant= TEMOIN	BNVL	100%	100%	100%	100%	100%
Semis sur Travail Superficiel		GDVL	45%	49%	300%	382%	631%
Semis Direct Sous Couvert	moyennement ruisselant	GDVL1-GDVL2	21%	30%	466%	365%	165%
	moyennement ruisselant	BBD	18%	31%	514%	139%	232%
	très ruisselant	GZVL	63%	96%	132%	122%	107%

Tableau N° 27 : Résultats relatifs par rapport au témoin pour les moyennes des principales caractéristiques sous pluies simulées une intensité moyenne à 35 mm/h sur Blé en fin d'hivers 2014-2015 et 2015-2016, pour chacun des 3 modes d'implantation.

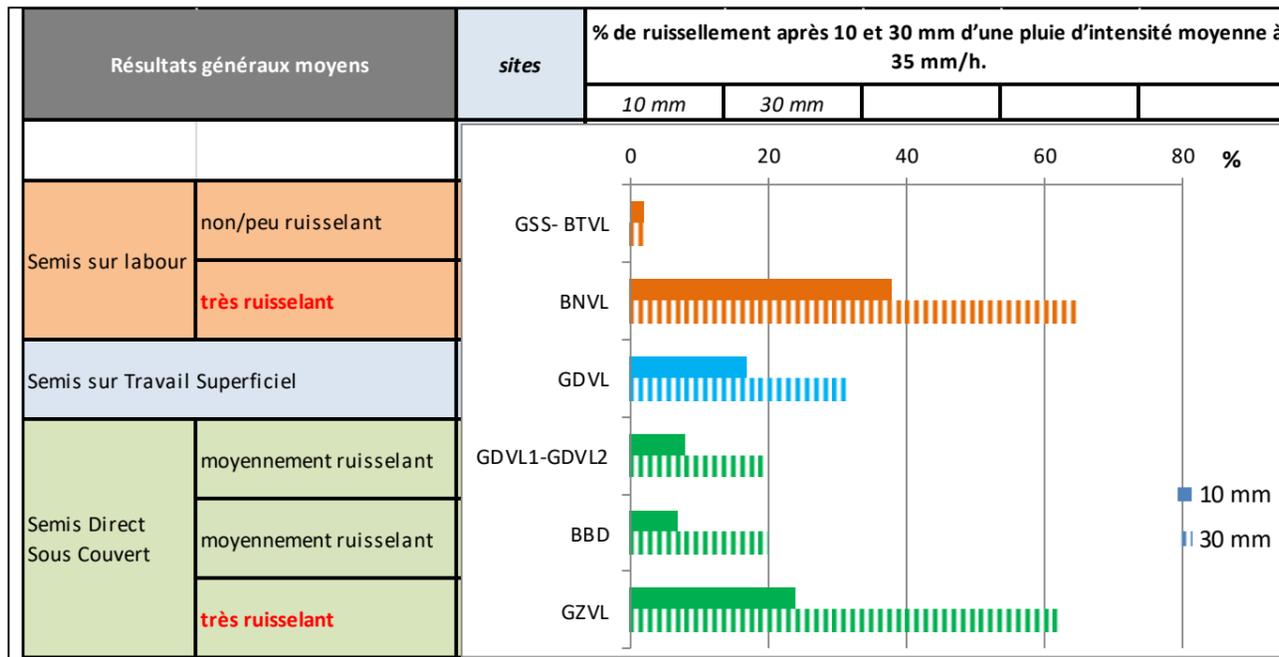


Figure N° 45 : Comparaison des taux moyens de ruissellement après 10 et 30 mm de pluie simulée avec une intensité moyenne de 35 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé

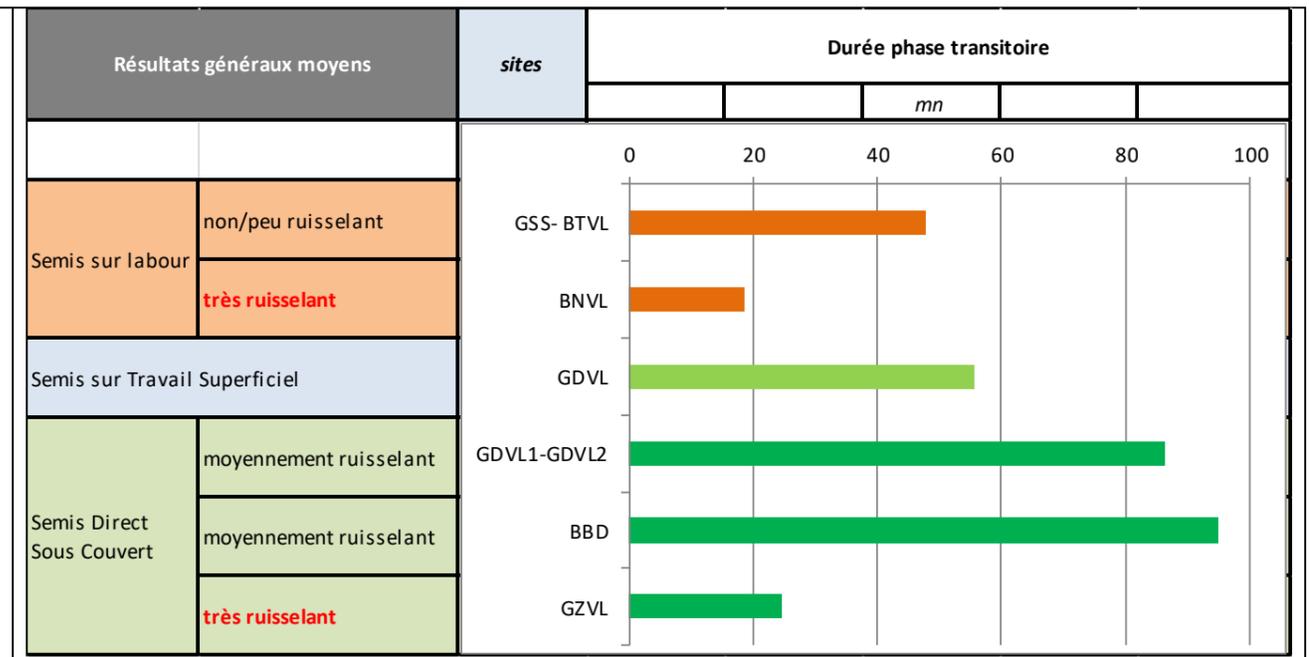


Figure N° 46 : Comparaison des durées moyennes de la phase transitoire sous pluie simulée avec une intensité moyenne de 35 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé



Figure N° 47 : Comparaison des infiltrabilités moyennes à saturation sous pluie simulée avec une intensité moyenne de 35 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé

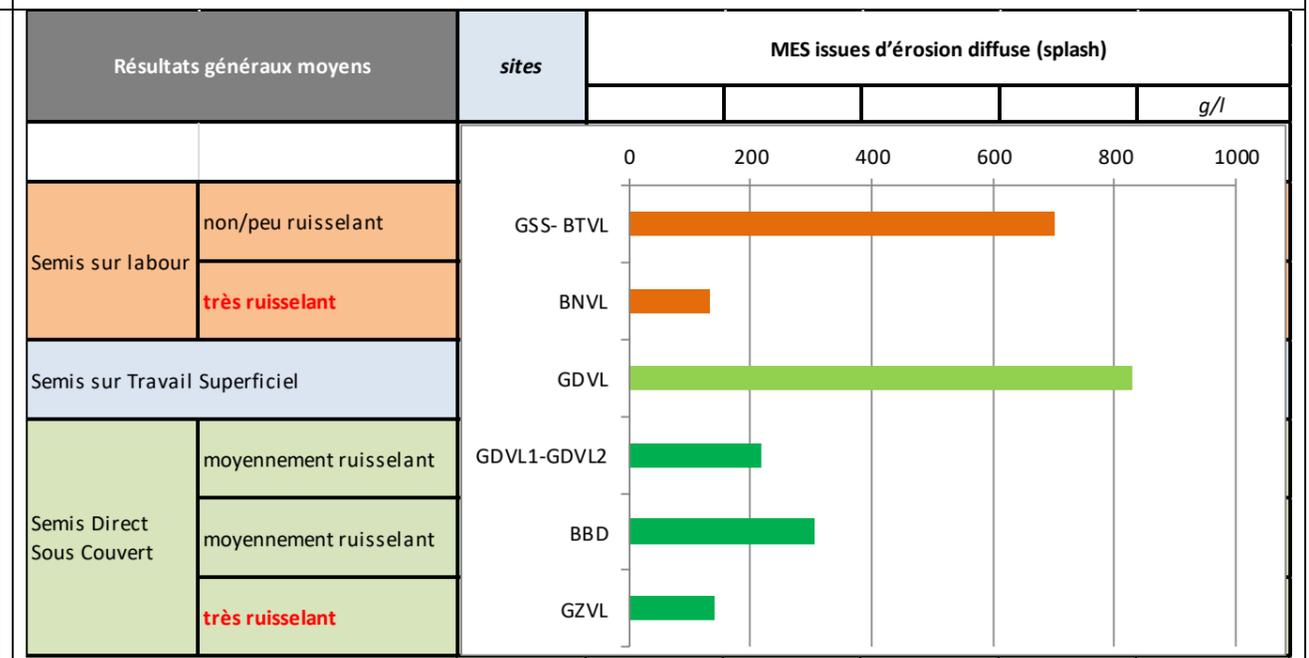


Figure N° 48 : Comparaison des taux moyens de MES sous pluie simulée avec une intensité moyenne de 35 mm/h en fonction des modes d'implantation du blé

Dans les conditions de cette série d'expérimentations en simulation de pluie, les résultats sous pluie à 35 mm/h d'intensité permettent d'identifier 4 grands types de comportement pour lesquels les caractéristiques ont été quantifiées.

- **Type 1 – Très Ruisselant** : Ce type se caractérise par un ruissellement précoce dont l'intensité croît rapidement (courte durée de phase transitoire, moins de 30 mn) et une faible capacité d'infiltration à saturation (moins de 5 mm/h). Ce type correspond à tous les états de surface avec une croûte sédimentaire généralisée et sans porosité. Il peut s'agir de semis après labour (Bénesville) ou de semis direct sous couvert très compacté avec peu de porosité biologique (Gonzeville) ;
- **Type 2 – Très Peu ou non Ruisselant** : Ce type se caractérise par un ruissellement tardif (longue phase d'imbibition) suivit d'une intensité de ruissellement qui croît lentement (longue durée de phase transitoire, plus de 60 mn) et au final avec une forte capacité d'infiltration à saturation (plus de 20 mm/h). Ce type peut correspondre à plusieurs états de surface :
 - soit présence de croûte de type structurale généralisée (F1), une bonne capacité de flaquage et une porosité importante située dans les dépressions (Bretteville du Grand Caux, forte rugosité avec une teneur élevée en MO) ;
 - soit présence de croûte de type structurale non généralisée et une grande capacité de flaquage (Gonneville sur Scie, forte rugosité) ;
- **Type 3.1 – Moyennement Ruisselant par juxtaposition d'états de surface très différenciés** : Ce type se caractérise par un ruissellement précoce dont l'intensité croît rapidement puis s'arrête assez tôt (courte durée de phase transitoire, moins de 30 mn) et une capacité d'infiltration à saturation moyenne (de l'ordre de 18 mm/h). Ce type correspond à tous les états de surface mixtes, composés d'une partie de surface assez ou très ruisselante aux caractéristiques du type 1 (avec croûte sédimentaire généralisée, sans porosité et tassements localisés par les roues), et d'une partie peu ruisselante aux caractéristiques du type 2. Il peut s'agir de semis après travail superficiel sans labour (TS à Goderville 2015) ou de semis direct sous couvert.
- **Type 3.2 – Moyennement Ruisselant par juxtaposition d'états de surface différenciés et saturation progressive et plus ou moins rapide du profil de sol** : Ce type se caractérise par un ruissellement précoce dont l'intensité croît modérément mais inexorablement (longue durée de phase transitoire, plus de 60 mn) et une capacité d'infiltration à saturation moyenne (fourchette de 6 à 18 mm/h). Ce type correspond à des états de surface marqués par la présence d'une zone ruisselante de faible importance, associée à des zones qui semblent plus perméables et dont la saturation est plus progressive. D'après les observations de terrain, ces zones qui semblent plus perméables correspondent souvent à des juxtapositions de zones peu perméables avec une croûte sédimentaire généralisée mais connectées avec des zones très perméables au niveau des plages de résidus de culture (mulch de pailles de colza). Ces dernières absorbent une partie de l'excès d'eau qui circule à la surface du champ. A mesure que le volume non infiltré croît, ou que le sol sous ces zones perméables se sature, le ruissellement global augmente. (Cas de Biville la Baignarde, Goderville 1 et 2 de 2016).

Ces 4 grands types de comportement sont schématisés dans les figures n°49 et 50 ci-dessous. Ils illustrent aussi très bien l'importance de la durée des simulations de pluie sur les résultats et sur leur interprétation.

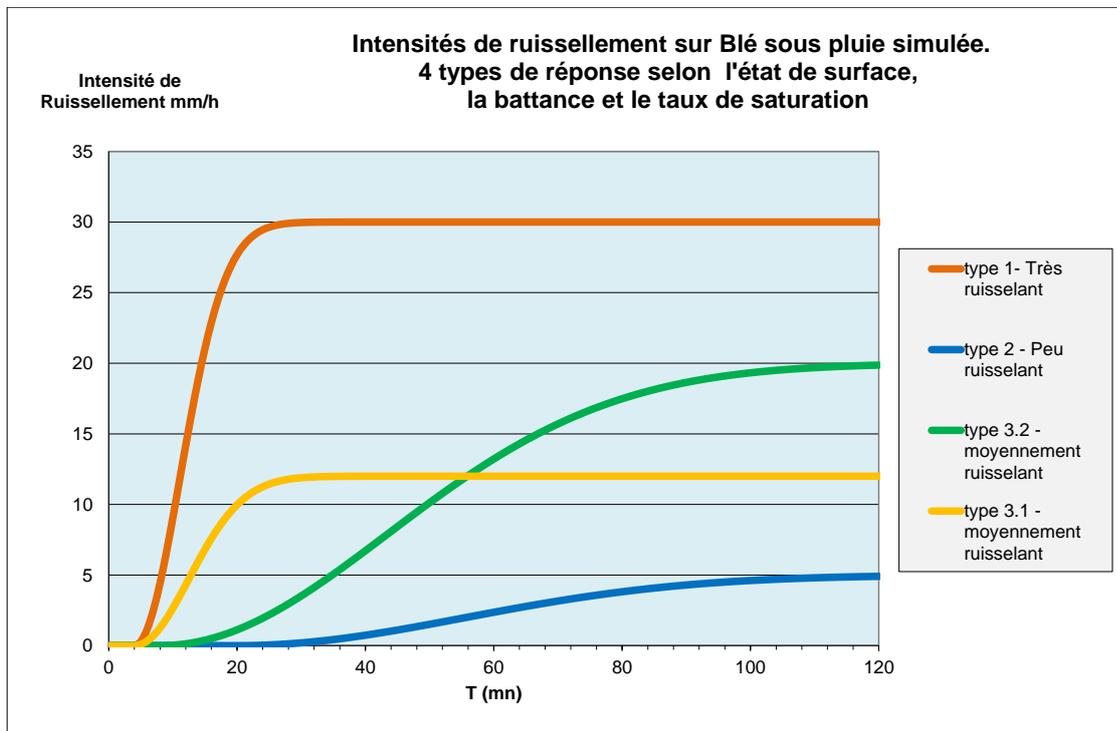


Figure N° 49 : Courbes types d'évolution des Intensités de Ruissellement sous pluies simulées sur Blé en fonction des états de surface.

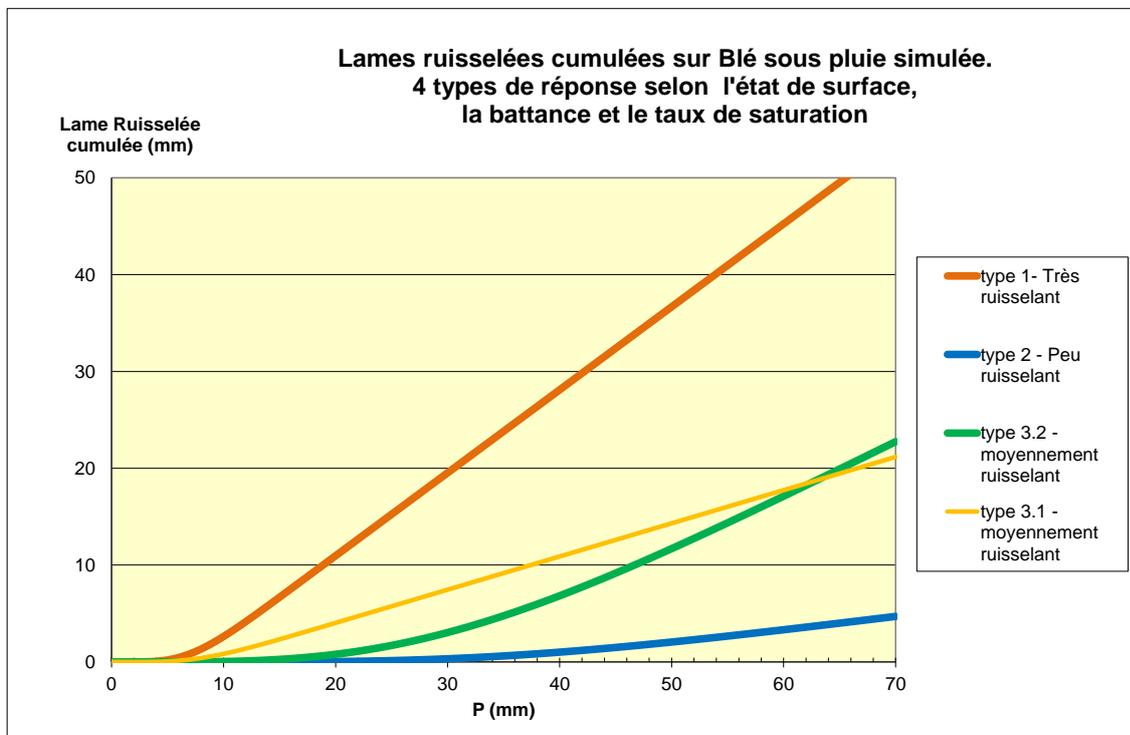


Figure N° 50 : Courbes types des Lames Ruisselées cumulées sous pluies simulées sur Blé en fonction des états de surface.

8. CONCLUSION GENERALE SUR BLE ET PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Cette série d'expérimentations conduite en pluie simulée sur blé entre février et mars au cours des hivers 2014-2015 et 2015-2016, a apporté les réponses aux questions posées et a permis de quantifier tant les lames ruisselées que les différences entre modalités testées.

En effet, le choix des parcelles et des exploitants a permis d'avoir tout l'éventail des situations rencontrées en hiver sur blé, tant en semis après labour, qu'en semis direct sous couvert. Dans chaque cas, nous avons pu tester des parcelles très ruisselantes, plus classiques, et d'autres peu ruisselantes ou avec un ruissellement réduit grâce à la mise en œuvre de techniques bien maîtrisées depuis plusieurs années par les exploitants. Ces dernières situations illustrent le potentiel d'infiltration des techniques culturales sans labour lorsqu'elles sont correctement mises en œuvre, comme nous le recherchions.

Les résultats obtenus doivent être replacés dans leur contexte, à savoir : des **mesures de fin d'hiver** sur des parcelles en faible pente, avec des blés assez développés (# 40% de couvert), avec des **croûtes de battance sédimentaires généralisées** là où il n'y a pas de couvert, avec un couvert de mulch déjà en partie dégradé et avec **une activité biologique globalement faible en cette période**. Les résultats entre répétitions (placettes) sont relativement homogènes.

Dans ces conditions :

- Pour les semis battus de blé d'hiver après labour (technique classique), les résultats obtenus à Bénésville reflètent les cas de figure régulièrement observés sur le terrain sur limons battants assez pauvre en matière organique. L'infiltrabilité moyenne à saturation n'est que de 4.9 mm/h. Par contre comme la croûte est largement développée, l'arrachement des particules par splash devient plus faible (effet de protection de la croûte sableuse superficielle).
- Pour les semis non battus de blé d'hiver après labour l'infiltrabilité moyenne à saturation reste élevée à 33 mm/h, soit 7 fois plus que pour les surfaces battues.
- Pour le semis en technique de Travail Superficiel sans labour et les Semis Directs Sous Couvert les plus infiltrants, l'infiltrabilité moyenne à saturation est de 18 mm/h, soit 3,8 fois plus que pour les surfaces battues.
- Pour les Semis Directs Sous Couvert les moins infiltrants, l'infiltrabilité moyenne à saturation est de 6 mm/h, soit légèrement supérieure à celles obtenues pour les surfaces battues.

Première conclusion :

Même avec les conditions défavorables choisies pour ces mesures, certaines techniques de semis direct sous couvert et de travail superficiel permettent de réduire jusqu'à 3 ou 4 fois les ruissellements sur les limons battants du Pays de Caux.

Seconde conclusion :

Sous blé d'hiver, même avec les techniques de semis direct sous couvert à l'automne et de travail superficiel, les croûtes de battance finissent par se développer sur les limons battants du Pays de Caux.

Troisième conclusion :

Du point de vue dynamique, 3 types de comportement sous pluie simulée ont été identifiés. Ils illustrent le rôle des différents paramètres qui gouvernent la genèse d'un excès d'eau en surface (battance, extension et porosité de la croûte, couvert végétal rugosité et continuité entre les flaques), la capacité d'infiltration sur toute l'épaisseur du labour (tassement et activité biologique), le stockage superficiel, et la ré-infiltration.

Pour les types de sols développés sur limons battants, les conditions pour obtenir de bons résultats reposent d'abord sur la création et la conservation d'une bonne perméabilité des sols. Il est certain que **ce sont les tassements qui nuisent le plus**. En système de semis direct, tassements et faible activité biologique sont synonymes de ruissellement équivalent au labour classique en fin d'hiver comme l'illustre le cas de Bénésville.

Ensuite, les paramètres de couvert végétal, d'activité biologique et d'augmentation de la stabilité structurale sont cruciaux pour retarder la formation et l'extension des croûtes et pour obtenir des croûtes plus perméables : cas des techniques à base de travail superficiel avec des outils NON animés.

En matière d'activité des vers de terre on a souvent noté une tendance à avoir moins de turricules d'anéciques en fond de dépression superficielle : flaques, ce qui est moins efficace pour l'infiltration.

En matière de flaquage, il semble que la taille et la répartition des flaques en non labour soient différentes : flaques plus vastes et séparées par les paquets de mulch. Ceci peut nécessiter un examen particulier lors de l'installation des placettes afin de ne pas couper de telles flaques.

En matière d'érosion diffuse, les expérimentations ayant été réalisées en fin d'hiver avec des taux de couvert à plus de 40%, les résultats sont clairs et très classiques. Dès lors que le sol n'est pas travaillé en surface, l'érosion diffuse est réduite. La diminution est d'un facteur 2 selon les types d'implantation et l'intensité de la pluie.

La comparaison des résultats en fonction des deux intensités de pluies simulées à 35 mm/h et 55mm/h de moyenne montre une réduction d'un facteur 2 des valeurs d'infiltration à saturation. Pour les autres caractéristiques, il n'y a pas de comparaison possible car les résultats sont trop influencés par la pluie précédente.

L'ensemble de ces résultats sont conformes aux résultats de la bibliographie internationale, même en conditions hivernales, **MAIS** sous réserve de solutionner les problèmes de tassements des sols qui peuvent réduire à néant tous les effets bénéfiques de ces techniques vis-à-vis du ruissellement. On voit surtout que les capacités d'infiltration à saturation en hiver sur des états de surface dégradés peuvent rester à des valeurs moyennes élevées de 15 à 20 mm/h ce qui est totalement satisfaisant par rapport aux intensités de pluies enregistrées classiquement à ces périodes dans la région. Avec de telles valeurs de capacité d'infiltration à saturation, la fréquence des épisodes de coulées de boues et d'inondations pourrait être considérablement réduite.

Il reste un effort à accomplir car ces valeurs moyennes cachent en réalité des portions du champ avec des valeurs plus faibles et d'autres secteurs avec des valeurs plus élevées. Il faut donc absolument que la capacité d'infiltration de l'ensemble des surfaces atteigne ces

valeurs. Sinon une partie des parcelles pourrait continuer de produire des ruissellements. Tout repose sur la maîtrise des tassements avec le semis des blés en non labour.

Perspectives :

L'objectif était de « mesurer **les potentiels d'infiltration** aux périodes où les perméabilités sont minimales » : la pire des situations. Les résultats présentés ont permis de conclure sur l'intérêt de ces techniques dans certaines conditions.

Puisque les résultats sont positifs, dorénavant il est donc possible d'aller plus loin et de s'intéresser plus en détail à ces techniques, notamment pour **comparer et évaluer leur intérêt sur toute la période d'automne-hiver** propice aux ruissellements et aux transferts de MES et de produits lessivés sur les champs. On a pu voir sur le graphique N°9 un schéma de comparaison de l'évolution des états de surface et de couvert.

Il nous semblerait judicieux de pouvoir réaliser une série de mesures en simulation de pluie à 3 dates différentes (après 75-150 et 300 mm de pluies cumulées) sur 3 types de parcelles : en labour (témoin), en travail du sol simplifié et en Semis Direct sous Couvert.

Les informations recueillies de ces expériences permettraient de bien évaluer les gains réels avec la présence de tous les couverts, et non plus potentiels, et cela aux grandes périodes à risque d'hiver que la Région a connu : fin d'automne (début décembre) ; début d'hiver (fin décembre-début janvier) et fin d'hiver (mi-février).



Exemple représentatif de semis de blé sous couvert de mulch dense de pailles de colza avec forte porosité sous le couvert (Goderville 26/02/2016).