

Analyse des ruissellements et 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 en semis sans labour versus en semis sur labour

Volet N°II : Mesures sur Betteraves Sucrières

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

J.F. OUVRY
M. SAUNIER
N. COUFORIER

Mai 2018

Réalisation : AREAS - CA76

Ce programme d'expérimentations 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 Culturelles Sans Labour (TCSL) versus Labour en Normandie.

Remerciements

L'AREAS remercie toutes les personnes ayant contribué à la réalisation des 11 expérimentations, à commencer par les 9 agriculteurs qui ont permis la réalisation des expérimentations sur leurs parcelles, dont les 3 agriculteurs qui ont participé aux essais sur betteraves :

- **J. Bellet** sur 1 parcelle à Bornambusc ;
- **G. Dalibert** sur 1 parcelle à Trouville ;
- **JP. Lecaron** sur 1 parcelle à Bolbec ;

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 – mai 2018

Crédit photos : AREAS - CA76

Reproduction soumise à autorisation

Table des matières

1.	CADRE ET OBJECTIFS DES EXPERIMENTATIONS	5
1.1.	Contexte et cadre de l'expérimentation	5
1.2.	Objectifs précis de ces expérimentations.....	6
2.	SITES DE MESURES EN PAYS DE CAUX.....	8
2.1.	Localisation générale des sites.....	8
2.2.	Types de techniques d'implantation des Betteraves testées avec le simulateur de pluie.	9
2.3.	Processus érosif testé avec un simulateur de pluie	10
3.	MATERIEL ET METHODE - PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR LA SIMULATION DE PLUIE	11
3.1.	Le dispositif de mesures du ruissellement et de l'érosion diffuse sous pluie artificielle	11
3.2.	Les surfaces testées.....	13
3.3.	Les pluies appliquées.....	15
3.4.	Types d'enregistrements bruts et de mesures réalisés	15
3.5.	Informations et Résultats tirés de chaque essai.....	17
4.	PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DES PARCELLES ET DES EXPERIMENTATIONS	19
4.1.	Type de Sol sur les parcelles testées.....	21
4.2.	Pentes des parcelles testées.....	21
4.3.	Taux de couvert végétal des parcelles lors des simulations de pluie.	22
4.4.	Etats de surface des parcelles	23
4.5.	Histoire hydrique des parcelles.....	26
4.6.	Points importants :.....	26
4.7.	Bilan : états de surface initiaux des parcelles et des risques de ruissellement.	27
5.	PRINCIPAUX RESULTATS DES SIMULATIONS DE PLUIE SUR BETTERAVES.....	29
5.1.	Analyse des lames ruisselées cumulées.....	31
5.1.1.	Analyse des lames ruisselées cumulées en fonction de la pluie	31
5.1.2.	Résultats des lames ruisselées après 10, 20 et 40 mm de pluie cumulée en condition de sol sec....	35
5.2.	Résultats des ruissellements : Illustration de la complexité des courbes de réponse	39
5.3.	Résultats des ruissellements : phase de pertes initiales et d'imbibition.....	41
5.4.	Analyse des Résultats de ruissellement-Infiltration à saturation	43
5.4.1.	Analyse des intensités de ruissellement à saturation en régime permanent.....	45
5.4.2.	Analyse des intensités d'infiltration à saturation en régime permanent	50
5.5.	Analyse des Résultats sur l'érosion diffuse :	54
5.6.	Analyse des Résultats en phase transitoires.....	56
6.	BILAN sur les résultats en betteraves.....	57
6.1.	Pour les semis après Labour	57
6.2.	Pour les Semis au Strip Till Avec Couvert dans l'inter-rang :.....	58
6.3.	Pour le semis après Travail Superficiel	60
6.4.	Résumé général des principaux résultats au cours de la première pluie	62
7.	CONCLUSION GENERALE SUR BETTERAVES ET PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS.....	65

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 trentaine 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, les agriculteurs membres de l'Association Sol en Caux, créée en 2014 par un groupe de 20 exploitants, 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.

Leur volonté 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 pertinentes 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 grandes cultures 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 la perméabilité est minimale.

Ce travail d'expérimentations n'a pas pour but de faire 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 total, soit sur le semis avec un travail en localisé plus un couvert dans l'interrang.

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 :

- **Les betteraves sucrières**, car c'est une culture sarclée avec un semis précoce, qui représente bien les risques observés au printemps sur l'ensemble des cultures sarclées (*soit près de 15 à 25 % des terres labourées*). A cette saison, en cas de pluie intense, ce type de culture, ayant un faible couvert, représente les surfaces les plus ruisselantes et les plus érodées. Cette culture fait l'objet du présent rapport.
- **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. (*Cette culture a déjà fait l'objet d'un rapport édité en 2017 par l'AREAS.*)

Afin d'atteindre l'objectif de « mesurer **l'importance des ruissellements et 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 dégradés et plus ou moins

fermés par des croûtes de battance généralisées. 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 :

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

Les mesures ont été réalisées sur 3 parcelles différentes. Pour chacune, 2 placettes ont été testées, soit 6 couples de placettes. Enfin sur chaque placette, 2 intensités de pluie ont été réalisées. Cela représente un total de 12 simulations de pluie 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 en cours de formation.

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, pour ces expérimentations sur betteraves, l'organisation a été la suivante :

AREAS	Chambre d'agriculture de Seine-Maritime
<ul style="list-style-type: none"> • Choix des parcelles, • Mise en place du matériel, • Réalisation des simulations de pluie sur les placettes avec différentes pluies érosives, • Prélèvements des échantillons pour les analyses de MES, • Interprétation des résultats, • Rédaction du rapport d'expérimentation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enregistrement des pratiques culturales et des systèmes de cultures. • Appui à la réalisation des simulations • Prélèvements de sol pour analyse granulométrique et chimique.

2. SITES DE MESURES EN PAYS DE CAUX

2.1. Localisation générale des sites

Les 3 sites de mesures pour les betteraves, parmi les 11 expérimentés, 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 comprise entre 2 et 5 %.



Figure 1 - localisation schématique des 11 parcelles testées en Pays de Caux. **En jaune celles en Betteraves, et en rouge les parcelles de Blé** (source du fond de plan : ViaMichelin.fr).

Le tableau N°1 donne le nom des communes de localisation des 11 sites expérimentaux :

	Betteraves sucrières		Blés d'hiver		
	labour	Sans Labour	Labour	Travail superficiel	SDSC
2015	Trouville	Bolbec	Gonneville sur scie		Biville la Baignarde
		Bornambusc	Bretteville du Grand Caux	Goderville	
2016			Bénesville		Gonzeville
			Goderville		

Tableau 1 - Localisation des 11 sites expérimentaux.

La localisation précise de chaque site est donnée en annexe N°02.

2.2. Types de techniques d'implantation des Betteraves testées avec le simulateur de pluie.

Les mesures ont été réalisées 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.** (Dénommé : Lab). Généralement le semis est réalisé après un ou deux passages, avec un tracteur équipé à l'avant d'une herse vibrante et d'un tasse-avant, de roues larges, à l'arrière d'un train outils associant herse vibrante, rouleaux cages et croskillettes. Le semis est réalisé avec un semoir de précision de 6 ou 12 rangs tiré par un tracteur équipé de roues étroites (#15 cm).
2. **En second, une technique de Non Labour, avec un travail du sol localisé sur le rang, le semis au Strip Till Avec Couvert dans l'interrang a été testé.** (dénommé STAC). Il s'agit d'une technique de Non Labour très aboutie. Sur Betteraves, la technique a été utilisée dans un couvert de résidus d'interculture et de paille de blé broyée, en commençant par un triple passage localisé de Strip-Till les jours précédents le semis sur une bande de 10-15 cm de largeur. Le semis est réalisé avec un semoir de précision en ligne comme pour le labour. Le couvert de mulch de résidus d'interculture reste dans l'interrang et se trouve partiellement recouvert de mottes de terre.
3. **En troisième, une technique de Non Labour, avec un semis après un Travail Superficiel par un outil à dents.** (dénommé TS)
Le semis est réalisé de la même façon que pour le premier cas, mais sans opération de labour.

Le détail de chaque train d'outils utilisés par chaque exploitant agricole est présenté en annexe N°01. Tous les écartements des inter-rangs sont de 45 cm. Les semoirs utilisés sont : sur le Labour et pour le semis au Strip Till, des semoirs 6 rangs et pour le semis en travail superficiel sans labour, un semoir 12 rangs.

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

	Implantation des Betteraves		
	Après Labour	Strip Till avec Couvert	Sur Travail Superficiel
2015	Trouville	Bolbec	Bornambusc

Tableau 2 - Liste des communes où les simulations de pluies ont été réalisées

2.3. Processus érosif testé avec un simulateur de pluie

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

- Erosion diffuse sur chaque m² 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 micro-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.



Figure 2 - Exemple d'une installation pour effectuer une mesure précise de l'intensité de pluie délivrée sur la surface exacte d'une placette

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

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

Le simulateur de pluie est présenté sur les photos des figures N° 2, 3 et 4. 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 et un toit étanche évite que des averses viennent modifier la pluie. Le ruissellement est récupéré par une gouttière et le débit est mesuré dans un auget basculeur. Cet auget a été mis au point par l'INRA de Grignon (Ph Martin) et il a été passé au banc d'étalonnage, en janvier 2015, avant l'expérimentation. Une pompe électrique, branchée sur un générateur électrique, vide en permanence la fosse de sortie après l'auget basculeur.

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 locales de vent 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 :

Un seul jeu de buses a été utilisé.

Le jeu de buses de 55 mm/h (± 10 mm/h) a été utilisé pour ces essais : *buses à cône plein de type tangentiel, soumises à une pression de 0,8 bars ; fabricant PNR, modèle ATW1780T1*. Il donne une forte intensité pluvieuse, avec une répartition de la pluie au sol un peu hétérogène (voir annexe N°04). 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).



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 3- le simulateur de pluie de l'AREAS en fonctionnement, sans son toit.



Figure 4 - Auget basculeur avec enregistreur et fosse de sortie en aval

3.2. Les surfaces testées

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

- pente entre 1.7 % et 2.6 %,
- largeur de 2,0 m ou 1,5 m en fonction de la taille du semoir utilisé (± 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.

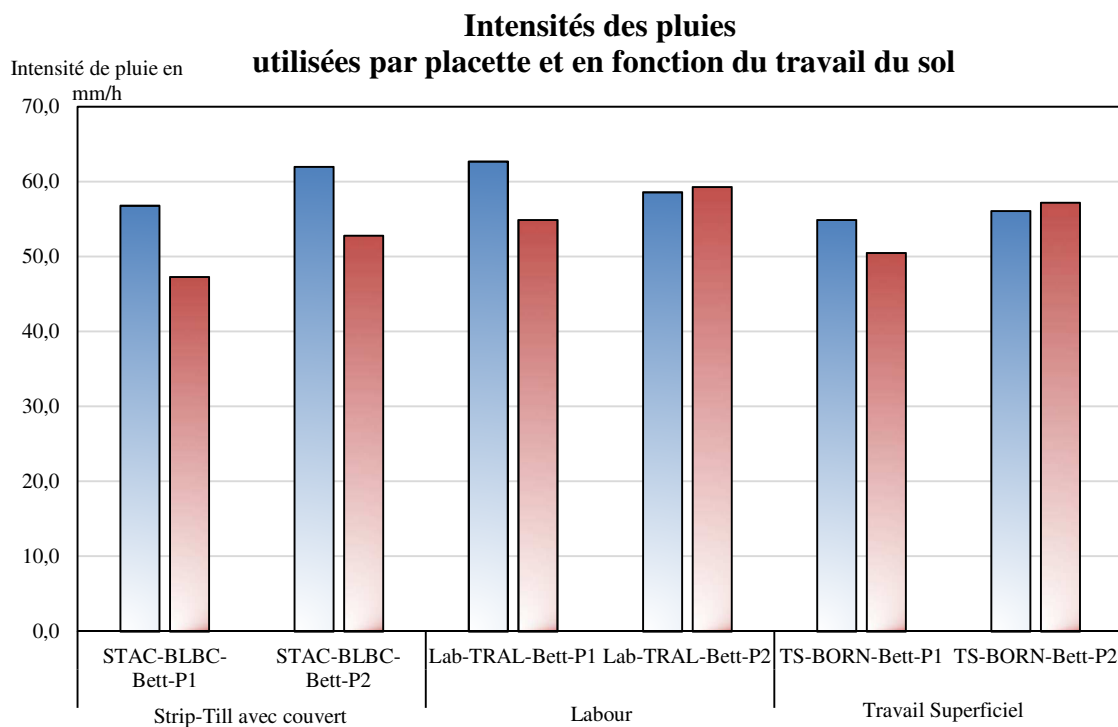


Figure 6- intensités des 2 séries de pluies utilisées sur chaque placette.

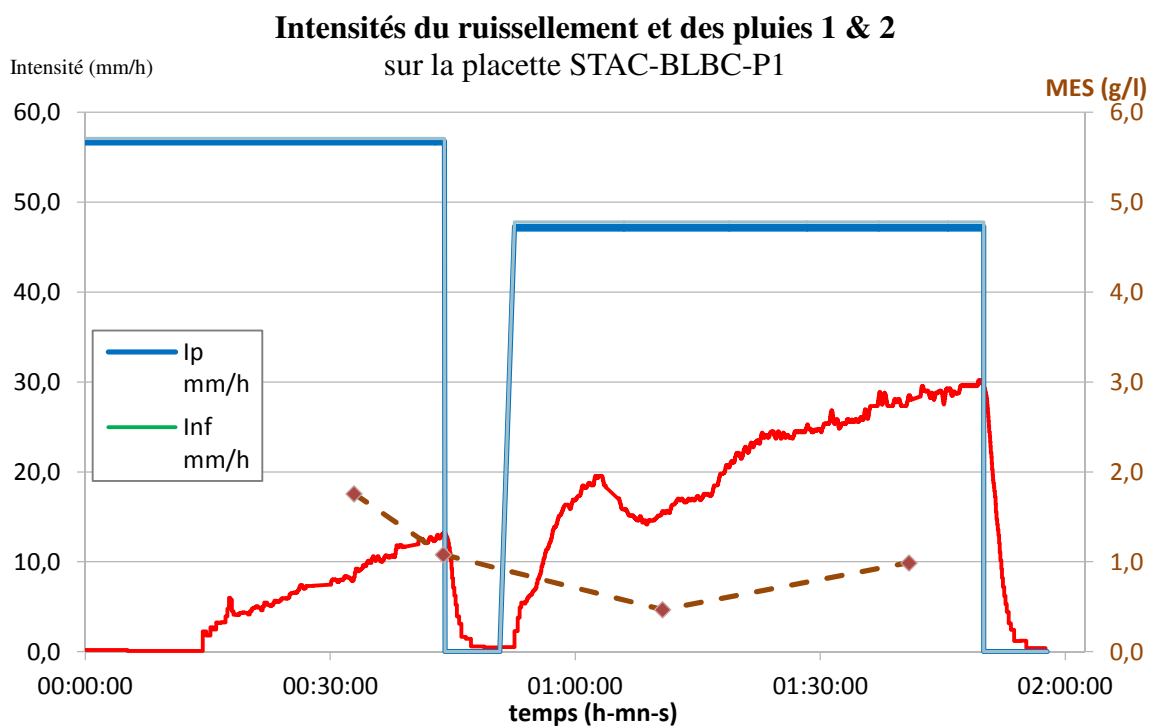


Figure 5 - Exemple d'enregistrement brut de la pluie, du ruissellement et des prélèvements sur une placette de Betteraves en Semis direct sous couvert (SS AC) à Bolbec pendant la succession des 2 phases de la pluie à 55mm/h sur sol sec et à 47 mm/h sur sol humide.

3.3. 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 issues des mêmes buses mais d'intensités différentes **La première pluie est réalisée dans les conditions d'humidité initiales naturelles : sol sec, et la seconde tombe donc sur un sol déjà très humide.** Ces 2 pluies renseignent donc sur la différence de réponse hydrologique en relation avec l'humidité initiale du sol. La succession a été : en premier une pluie à 58 mm/h de moyenne et une seconde pluie proche de la première à 54 mm/h de moyenne. Voir figure N°5 ci-contre.

- La première pluie appliquée est battante et d'intensité constante pendant chaque expérimentation. L'intensité moyenne des pluies battantes a été de 58.5 mm/h. Mais pour chaque placette, l'intensité réelle est comprise entre 55 mm/h et 63 mm/h compte tenu des difficultés de réglage de la pression. La durée totale de la pluie a été adaptée entre 44 et 73 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. (*on notera que cette pluie est bien supérieure à la pluie décennale régionale*).
- La seconde pluie est d'intensité un peu moins intense et constante pendant chaque expérimentation. En moyenne l'intensité de ces pluies a été de 54 mm/h. Mais pour chaque placette, l'intensité réelle est comprise entre 47 mm/h et 60 mm/h pour les mêmes raisons. La durée totale de la pluie a été de 58 mn à 70 mn, afin que chaque placette reçoive la même quantité de pluie totale, soit 125 mm (± 5 mm).

Comme la répartition au sol des gouttes n'est pas complètement homogène, pendant l'expérimentation, à la moitié de la pluie, les rampes de buses sont déplacées de quelques dizaines de centimètres afin d'obtenir une dégradation homogène sur la placette.

3.4. Types d'enregistrements bruts et de mesures réalisés

Pendant la réalisation de la simulation de pluie, plusieurs informations sont enregistrées. La figure N° 6, 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° 2,
- 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 de l'auge basculeur, voir complétées si l'enregistreur automatique a présenté une défaillance ponctuelle.

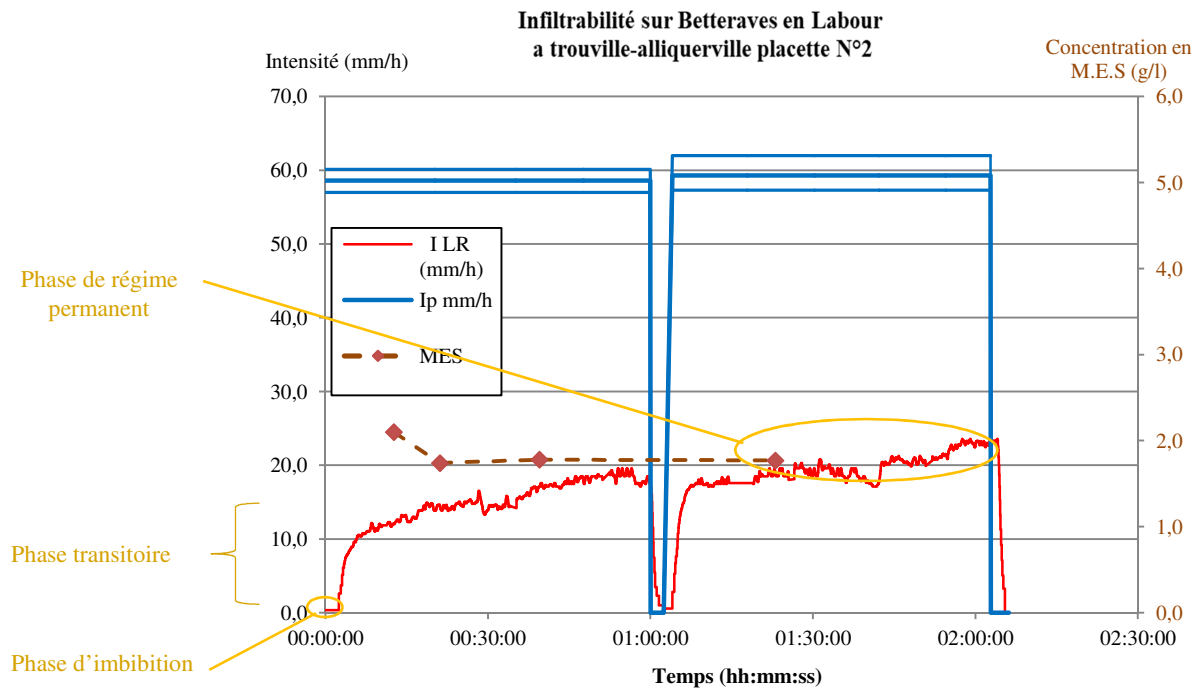


Figure 7 - Placette en labour à Trouville-Alliquerville, Intensités de pluie et de ruissellement, Taux de M.E.S.

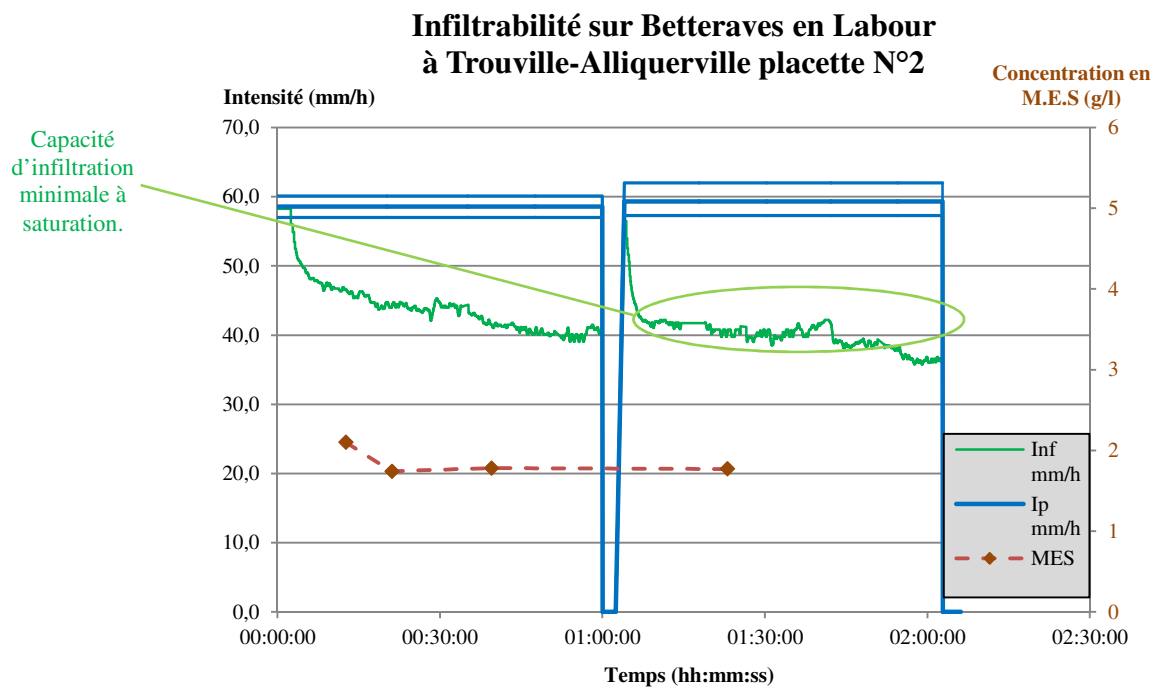


Figure 8 - Zoom sur la capacité d'infiltration du sol à saturation (mm/h) pour la placette en labour à Trouville-Alliquerville, Intensités de pluie et d'infiltration, Taux de M.E.S.

3.5. Informations et Résultats tirés de chaque essai

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

- Analyse de réponse à la pluie :
 - Durée de la phase d'imbibition (mn : s) ou 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.

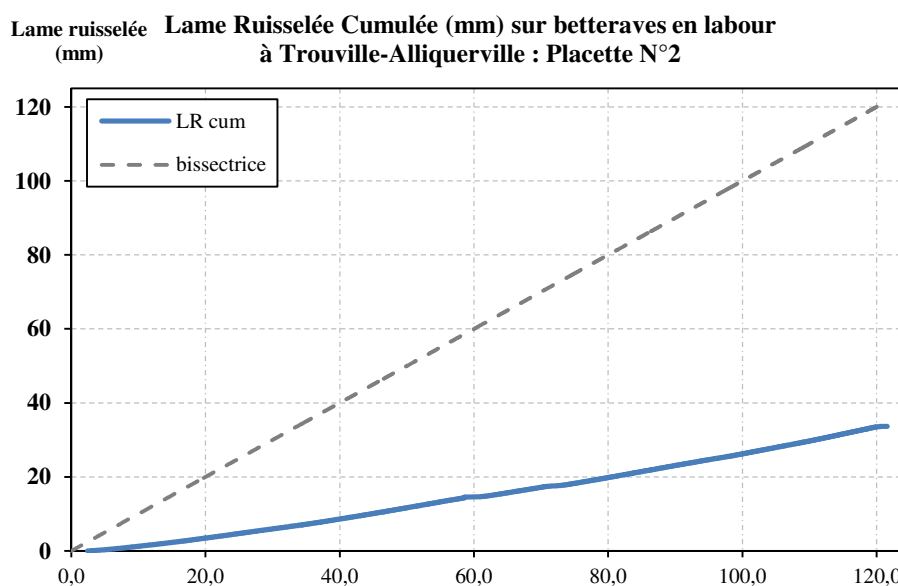


Figure 9 - Lame de ruissellement cumulée (mm) pour la placette en Labour à Trouville-Alliquerville.

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 en annexes.

Code AREAS essai	BLBC_P1	BLBC_P2	FCRT_P1	FCRT_P2	GDVL_P1	GDVL_P2
Nom expérimentation	STAC-BLBC-Bett-P1	STAC-BLBC-Bett-P2	Lab-TRAL-Bett-P1	Lab-TRAL-Bett-P2	TS-BORN-Bett-P1	TS-BORN-Bett-P2
Lieu	BOLBEC		TROUVILLE-ALLIQUERVILLE		BORNAMBUSC	
Type	Strip Till couvert		Labour		Travail superficiel	
Placette N°	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Exploitants	Mr LECARON	Mr LECARON	G. DALIBERT	G. DALIBERT	J.BELLET	J.BELLET
Culture en place	Betteraves	Betteraves	Betteraves	Betteraves	Betteraves	Betteraves
Date de semis	23/03/2015		14/04/2015		19/03/2015	
Précédent	blé paille broyée (blé semé sans labour avec passage de canadien à 15 cm puis passage de herse rotative + semoir)		Blé		Blé	
Sens semis par rapport à la pente	//		//		//	
pente (%)	1,7%	2,0%	2,6%	2,6%	2,0%	1,9%
Teneur en Argile %	12,0%		13,5%		14,3%	
Teneur en MO %	1,8%		2,1%		1,5%	
PH	--		7		7,3	
Nb Moyen de Vers de Terre/m²						
Matériel utilisé pour le semis	Strip Till + semoir à semis direct NG+		Herse rotative + semoir		néodéchaumeur (Smaragd LEMKEN) + herse rotative et croskil + semoir NODET à socs fuyants	
Remarques	Parcelle sans labour depuis 2008		couvert d'avoine avant les betteraves		Parcelle sans labour depuis 1991	
% couvert	résidus 15-20% Betteraves 30-40 %	résidus 15-20% Betteraves 30-40 %	Betteraves 25%	Betteraves 25%	résidus 5-10% betteraves 25-30%	résidus 5-10% betteraves 25-30%
Etat de surface initial, principal Faciès type (nomenclature INRA 1986):	F1	F1	F1	F1	F1	F1
Rugosité parallèle hors trace de roue	R1	R1	R1	R1	R1	R1/R2
Rugosité Perpendiculaire	R2	R2	R1/R2	R1/R2	R1/R2	R1
Porosité	+	+	+	+	+++	+++

Tableau 3 - Résumé des principales caractéristiques des parcelles testées

4. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DES PARCELLES ET DES EXPERIMENTATIONS

Le tableau N° 3 ci-dessous, présente les caractéristiques essentielles des simulations de pluie 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 ;
 - **STAC**= semis Strip Till avec 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 : **Bett** = Betteraves Sucrières
4. Numéro de la placette : **P1** ou **P2**
5. Si besoin, la hauteur de pluie est parfois ajoutée en fin de numérotation.

Exemple : le nom de l'expérimentation : **TS-BORN-Bett-P2** correspond à la parcelle en semis sur Travail Superficiel, sise à Bornambusc, cultivée en betteraves, et pour la Placette n°2.

Dénomination des expérimentations			Pluie 1 / sol sec	Pluie 2 / sol humide	
Technique	sites		Placette		
			58 mm/h.	54 mm/h.	
Labour	Trouville-Alliquerville	TRAL	P1	<i>Lab-TRAL-Bett-P1 Pluie 58</i>	<i>Lab-TRAL-Bett-P1 Pluie 54</i>
			P2	<i>Lab-TRAL-Bett-P2 Pluie 58</i>	<i>Lab-TRAL-Bett-P2 Pluie 54</i>
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	P1	<i>TS-BORN-Bett-P1 Pluie 58</i>	<i>TS-BORN-Bett-P1 Pluie 54</i>
			P2	<i>TS-BORN-Bett-P2 Pluie 58</i>	<i>TS-BORN-Bett-P2 Pluie 54</i>
Strip Till avec Couvert	Bolbec	BLBC	P1	<i>STAC-BLBC-Bett-P1 Pluie 58</i>	<i>STAC-BLBC-Bett-P1 Pluie 54</i>
			P2	<i>STAC-BLBC-Bett-P2 Pluie 58</i>	<i>STAC-BLBC-Bett-P2 Pluie 54</i>

Tableau 4 - Dénomination des 6 placettes expérimentales sous betteraves.

Localisation et caractéristiques particulières des 3 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 annexe 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.

		2015					
Code AREAS essai		BLBC_P1	BLBC_P2	FCRT_P1	FCRT_P2	GDVL_P1	GDVL_P2
Nom expérimentation		STAC-BLBC-Bett-P1	STAC-BLBC-Bett-P2	Lab-TRAL-Bett-P1	Lab-TRAL-Bett-P2	TS-BORN-Bett-P1	TS-BORN-Bett-P2
Lieu		BOLBEC		TROUVILLE-ALLIQUERVILLE		BORNAMBUSC	
Type		Strip Till couvert		Labour		Travail superficiel	
Exploitants		JP. Lecaron		G. Dalibert		J. Bellet	
Date expérimentation		29/05/2015		11/06/2015		03/06/2015	
Couvert		Betteraves		Betteraves		Betteraves	
% couvert		résidus 15-20%		Betteraves 25%		résidus 5-10%	
		Betteraves 30-40 %				betteraves 25-30%	
		Total : 45-60 %				Total : 30-40%	
Sens semis par rapport à la pente		//		//		//	
pente (%)		1,7%	2,0%	2,6%	2,6%	2,0%	1,9%
auge		AREAS	AREAS	AREAS	AREAS	AREAS	AREAS
Surface IP I (m²)		7,95	7,60	7,25	7,65	9,55	10,00
Surface IP II (m²)		7,95	7,60	7,25	7,65	9,55	10,00
S placette (m²)		8,11	7,68	7,69	7,83	9,55	10,00
IP1 sol sec	pluie inf IC 70%	56.5	60.6	62.0	57.0	53.9	55.0
	pluie moyenne (mm/h)	56.8	62.0	62.7	58.6	54.9	56.1
	pluie sup IC 70%	57.1	63.5	63.5	60.1	56.0	57.0
IP2 sol humide	pluie inf IC 70%	46.9	51.2	53.6	57.3	50.2	57.0
	pluie moyenne (mm/h)	47.3	52.8	54.9	59.3	50.5	57.2
	pluie sup IC 70%	47.8	54.0	56.3	62.0	50.7	57.3
pluie naturelle des dernières 48 h		0	0,4	0,2	0,2	7,8	2,2
pluie naturelle des 10 derniers jours		11,6	12,6	8,4	8,2	13,8	13,8
Pluie naturelle depuis le semis		104,4	104,4	90,6	90,6	119,2	119,2
Etat de surface initial, principal Faciès type (nomenclature INRA 1986):		F1	F1	F1	F1	F1	F1
Rugosité parallèle hors traces de roues		R1	R1	R1	R1	R1	R1
Rugosité Perpendiculaire		R2	R2	R1/R2	R1/R2	R1/R2	R1/R2
Porosité		+	+	+	+	+++	+++

Tableau 5 - Dénomination des 6 placettes expérimentales sous betteraves et caractéristiques des pluies appliquées.

4.1. Type de Sol sur les parcelles testées

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,
- Ces textures sont très battantes.

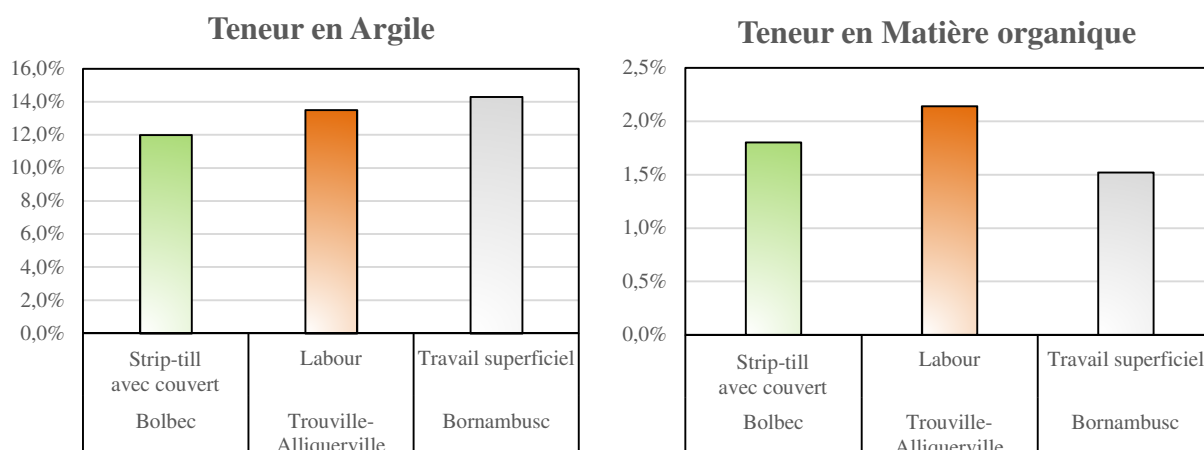


Figure 10 - Comparaison des teneurs en argile et en Matière Organique

A noter que la parcelle en travail superficiel de Bornambusc possède un faible taux de M.O malgré une conduite sans labour depuis 1991. La parcelle en labour de Trouville-Alliquerville quant à elle possède un taux de M.O plus élevé de 2.1 %

4.2. Pentés des parcelles testées

La pente de chaque placette a été mesurée avec précision. Toutes les pentes sont comprises entre 1,7 et 2.6 % et les semis ont été réalisés dans le sens de la pente.

4.3. 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 Betteraves était déjà assez développée.

Le taux de Couvert global se situe entre 35 et 50 %.

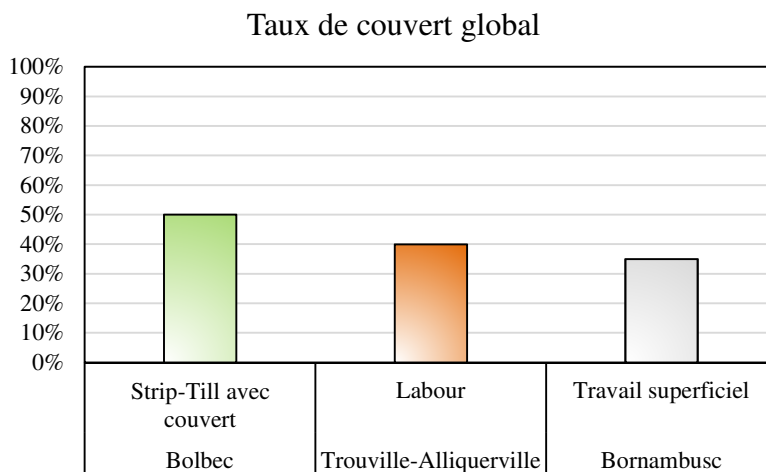


Figure 11 - Taux de couvert des parcelles lors des essais en fonction des itinéraires techniques.

Néanmoins il faut faire 2 remarques :

- 1- La culture de betteraves offre une zone non couverte continue entre les rangs
- 2- Pour les semis directs sous couvert, il reste 10 à 20 % de couvert par les résidus, comme le montre la figure N° 12

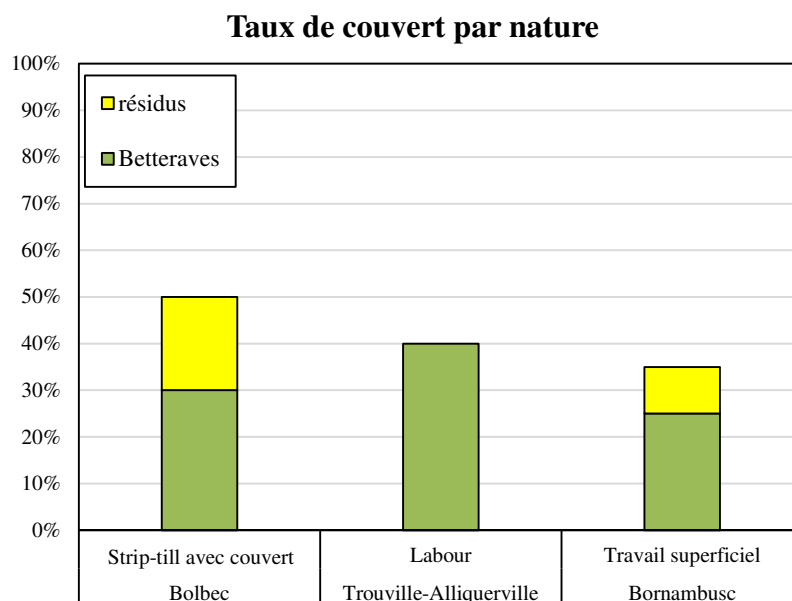


Figure 12 - Taux de couvert des parcelles selon les types de couverts lors des essais.

4.4. 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 en Normandie. Ainsi, les expérimentations ont toutes été réalisées au printemps entre fin mai et début juin.

Dans ces conditions, les résultats théoriques 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 relativement bien développées hormis les zones couvertes par un mulch de résidus, après plus de 100 mm de pluie cumulée, comme le montre ce schéma ci-dessous. Mais, ces croûtes peuvent être de nature différente et avoir des caractéristiques variables d'infiltrabilité, elles peuvent être plus ou moins perforées par l'activité biologique, et la présence de mulch en surface peut modifier la capacité de flaquage. Les mesures réalisées en simulation de pluie sont représentatives de ces états de surface, voir photos sur la figure N°14, page suivante.

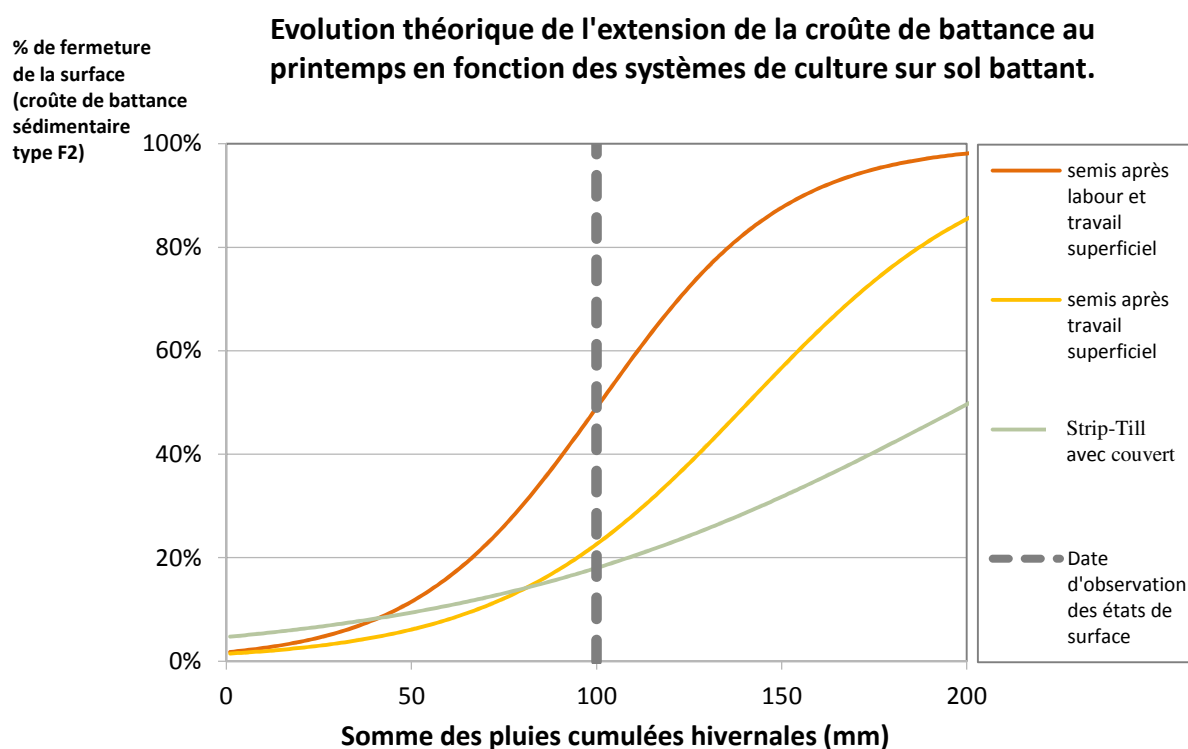


Figure 13 - Courbes d'évolution théorique de la surface des sols battants au printemps en fonction du cumul pluviométrique et selon les itinéraires techniques.



Betteraves en TS à Bornambusc le 03/06/2016



Betteraves en STAC à Bolbec le 29/05/2016



Betteraves en labour à Tourville-Alliquerville le 11/06/2016

Figure 14 - Planche photos des états de surface des différentes parcelles testées

La Figure N° 14 illustre les états de surface lors des expériences de simulations de pluie.

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

sites	% de Faciès de battance F2 (INRA)	Rugosité hors trace de roue	% de traces de roues en surface	Porosité superficielle (abondance de 0 à +++)	Taux de couvert global %	Observations remarquables lors des mesures et lors de l'examen des profils de sol
Lab-TRAL-Bett-P1	15 % F2	R 1 / R 2	20%	+	40	Etat de surface du sol motteux dans l'ensemble avec un Dmin inférieur au mm. Très peu de porosité visible et aucun résidu de culture en couverture de l'inter-rang
Lab-TRAL-Bett-P2	15 % F2	R 1 / R 2	20%	+	40	
STAC-BLBC-Bett-P1	5-10 % F2	R 2	13%	+	45-60	Etat de surface du sol assez motteux sur le rang avec un Dmin proche du mm, mais un faciès F2 dans l'inter-rang lorsque le sol n'est pas recouvert de résidus de culture. Les flaques sont toutes connectées
STAC-BLBC-Bett-P2	10-15 % F2	R 2	13%	+	45-60	
TS-BORN-Bett-P1	20% F2	R 1 / R 2	20%	+++	30-40	Sol fermé par endroit (20%) mais peu dégradé sur le reste de la placette avec une forte porosité. Présence de résidus.
TS-BORN-Bett-P2	20% F2	R 1 / R 2	20%	+++	30-40	

Tableau 6 - Etats de surface des Betteraves le jour de l'expérimentation - Résumé des points remarquables des parcelles testées.

Ainsi, il faut noter que :

- les états de surface ne sont pas très dégradés : les cultures en semis direct ou en travail superficiel possèdent de 5 à 20 % de faciès de type F2 notamment les zones non couvertes. Le labour présente plutôt un faciès de type F1-2, avec 15 % de traces de roues en faciès F2.
- Les taux de couvert totaux des sols par la culture et les résidus sont tous voisins et entre 40 et 60 %.
- Les taux de couvert par les betteraves sont de l'ordre de 25 à 40 %.
- La note de rugosité est similaire, mais cela recouvre des notions différentes. En labour récent, il reste de nombreuses mottes en surface. En semis avec le Strip Till avec couvert, le mulch crée une rugosité importante avec la terre rejetée par le soc semeur. En semis avec travail du sol superficiel, c'est un peu les 2 paramètres ensembles qui créent cette rugosité.
- Les porosités de surface diffèrent significativement. Les systèmes en labour présentent une porosité structurale liée aux macrospores entre les mottes. Les cultures en travail superficiel conservent une forte porosité du fait de l'activité biologique du sol. Les cultures en Strip Till possèdent une double porosité, l'une est faible dans les zones « nues » et l'autre est élevée sous le couvert de mulch ou dans le mélange mulch-terre.

Un plus grand nombre de photos des placettes et des états de surface est placé en annexe N°02 dans les fiches de chaque parcelle.

4.5. Histoire hydrique des parcelles

Les trois parcelles ont été semées dans de bonnes conditions météorologiques avant et après chaque date de semis.

Malgré un mois de décalage entre le semis des betteraves sur labour et les autres, au final les cumuls de pluie, avant nos expérimentations sur chaque parcelle, restent faibles et du même ordre de grandeur.

N'ayant pas les données précises sur les sites, on s'appuiera sur les données de Bourville de Pesticéros. Entre la date de chaque semis et la date de chaque expérimentation, il est tombé à Bourville :

- 119 mm pour le Semis au strip Till ;
- 104 mm pour le semis en travail superficiel ;
- 91 mm pour le Labour.

4.6. Points importants :

Plusieurs points particuliers importants peuvent aider à interpréter les résultats :

Les techniques d'implantation des betteraves, laissent des modelés de microtopographie en surface très différents. Ceci a des conséquences sur la mesure même du ruissellement.

- 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 sur des parcelles à pente faible, c'est un peu l'opposé. Il n'y a pas beaucoup de mottes, le sol est fortement rappuyé 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. Dans le cas des semis en non labour, on vient couper des surfaces de flaques de grande taille et de plus grande surface connectées.

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.

4.7. Bilan : états de surface initiaux des parcelles et des risques de ruissellement.

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			Éléments clés dans les processus d'infiltration et de ruissellement.	Typologie de risque de ruissellement en condition de sol sec.
Labour	Trouville-Alliquerville	TRAL	Faciès F1 en majorité avec 15% de F2 rugosité encore bien présente (R1/R2). traces de roues en surface : 15%. Faible porosité. Taux de couvert des Betteraves de 40%.	Peu à moyennement ruisselant
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	Faciès F2 sur 10%. Rugosité moyenne (R1/R2). traces de roues en surface : 20%. Taux de couvert des Betteraves de 35% et résidus de 5-10%. Porosité moyenne.	Peu ruisselant
Strip Till avec couvert	Bolbec	BLBC	Faciès F2 sur 10%. Forte rugosité (R2) du sol grâce aux résidus. Nombreux tassements dans traces de roues : 13%. Forte porosité dans mulch. Taux de couvert des Betteraves de 35% et résidus de 15-20%.	Peu ruisselant

Tableau 7 - Eléments clés des parcelles dans les processus d'infiltration et de ruissellement le jour des expérimentations

Nom expérimentation		SD-BLBC-Bett-P1	SD-BLBC-Bett-P2	Lab-TRAL-Bett-P1	Lab-TRAL-Bett-P2	TS-BORN-Bett-P1	TS-BORN-Bett-P2	
Lieu		BOLBEC		TROUVILLE-ALLIQUERVILLE		BORNAMBUSC		
Travail du sol / semis		Strip Till couvert	Strip Till couvert	Labour	Labour	Travail superficiel	Travail superficiel	
Exploitants		Mr Lecaron	Mr Lecaron	G. Dalibert	G. Dalibert	J. Bellet	J. Bellet	
Date expérimentation		29/05/2015	28/05/2015	11/06/2015	12/06/2015	03/06/2015	04/06/2015	
% couvert		résidus 15-20%	résidus 15-20%	Betteraves 25%	Betteraves 25%	résidus 5-10%	résidus 5-10%	
		Betteraves 30-40 %	Betteraves 30-40 %			betteraves 25-30%	betteraves 25-30%	
Sens semis par rapport à la pente		//	//	//	//	//	//	
pente (%)		1,7%	2,0%	2,6%	2,6%	2,0%	1,9%	
Etat de surface initial, Principal Faciès type (nomenclature INRA 1986):		F1	F1	F1	F1	F1	F1	
Rugosité parallèle		R1	R1	R1	R1	R1	R1	
Rugosité Perpendiculaire		R2	R2	R1/R2	R1/R2	R1/R2	R1/R2	
Porosité		+	+	+	+	+++	+++	
1 ^{ère} PLUIE sur sol sec	intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	56,8	62,0	62,7	58,6	54,9	56,1	
	durée	44	52	60	60	50	73	
	pluie totale (mm)	41,7	53,7	62,7	58,6	45,8	68,3	
	pertes initiales (mm)	13,6	18,6	9,5	2,4	9,6	3,4	
	Régime Permanent	Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	Non Atteint	Non Atteint	16,0	20	22,0	17
		pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	Non Atteint	Non Atteint	16,7	19,5	20,1	15,9
		ruissellement en régime permanent (mm/h)	-	-	15	19	5	8
		infiltration en régime permanent (mm/h)	-	-	47,7	39,6	49,9	48,1
	Régime Transitoire	Durée (mn)	3,0	12,0	6,0	3,0	13,0	5,0
		Accélération (mm/h ²)	60,0	70,0	60,0	200,0	23,0	48,0
		Infiltrabilité à la fin du régime transitoire (mm/h)	53,8	48,0	56,7	48,6	49,9	52,1
		Hauteur de pluie correspondante	3,0	14,0	6,0	10,0	5,0	4,0
	Régime en augmentation constante N°1	Durée (mn)	27,0	21,0	45,0	55,0		41,0
		Accélération (mm/h ²)	21,0	17,0	17,0	8,0		7,0
		Infiltrabilité à la fin du régime transitoire (mm/h)	44,5	42,0	49,7	40,6		48,1
	lame ruisselée pour 40 mm de pluie		3,2	3,6	2,6	8,6	2,2	3,6
lame ruisselée pour 20 mm de pluie		0,4	0,1	0,8	3,5	0,3	1,3	
lame ruisselée pour 10 mm de pluie		0	0	0	1,3	0	0,4	
lame ruisselée totale (mm)		3,9	7,9	6,7	14,6	2,8	4,9	
2 nd PLUIE sur sol humide	intensité pluvieuse moyenne au cours de l'essai (mm/h)	47,3	52,8	54,9	59,3	50,5	57,2	
	durée	59	70	60	60	58	66	
	pluie totale (mm)	46,1	61,2	55,2	59,3	49,0	62,9	
	pertes initiales (mm)	1,4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,7	
	Régime Permanent	Temps nécessaire pour atteindre le régime permanent (mn)	Non Atteint	Non Atteint	48,0	53	Non Atteint	Non Atteint
		pluie nécessaire pour atteindre le régime permanent (mm)	Non Atteint	Non Atteint	43,9	52,4	Non Atteint	Non Atteint
		ruissellement en régime permanent (mm/h)	-	-	22	23	-	-
		infiltration en régime permanent (mm/h)	-	-	32,9	36,3	-	-
	Régime Transitoire	Durée (mn)	11,0	8,0	2,5	3,0	2,0	13,0
		Accélération (mm/h ²)	120,0	240,0	336,0	340,0	210,0	92,0
		Infiltrabilité à la fin du régime transitoire (mm/h)	31,3	32,8	40,9	42,3	43,5	37,2
		Hauteur de pluie correspondante	14	9	2,8	3	2,4	13,6
	Régime en augmentation constante N°1	Durée (mn)	49,0	50,0	45,0	50,0	20,0	35,0
		Accélération (mm/h ²)	15,0	32,5	11,0	7,2	10,5	17,0
		Infiltrabilité à la fin du régime transitoire (mm/h)	28,0	47,0	22,0	23,0	10,5	30,0
	Régime en augmentation constante N°2	Durée (mn)					25,0	
Accélération (mm/h ²)						34,0		
Infiltrabilité à la fin du régime transitoire (mm/h)						26,0		
lame ruisselée pour 40 mm de pluie		15,7	20,6	13,3	12,2	11,2	12,8	
lame ruisselée pour 20 mm de pluie		5,9	7,5	6	5,8	3,6	4,6	
lame ruisselée pour 10 mm de pluie		2,7	2,8	2,7	2,7	1,6	1,2	
lame ruisselée totale (mm)		19,6	39,4	19,2	19,6	15,2	17,4	

Tableau 8 - Synthèse de l'ensemble des résultats sur Betteraves

5. PRINCIPAUX RESULTATS DES SIMULATIONS DE PLUIE SUR BETTERAVES

Ce chapitre rassemble les 5 types de résultats essentiels qui concernent :

- La comparaison des lames de ruissellement cumulées.
- La Durée de la phase d'imbibition (mn : s) et les pertes initiales (mm) ;
- L'Intensité moyenne de ruissellement en régime permanent (mm/h) ;
- La Capacité d'infiltration moyenne à saturation en régime permanent (mm/h) ;
- La Teneur moyenne en MES pendant la phase de régime permanent (g/l).

Dans cette partie nous nous attachons à présenter des tableaux et des graphiques de synthèse pour faciliter la compréhension.

Néanmoins, quelques graphiques "bruts" sont aussi insérés pour montrer que la réalité est plus complexe, ce dont il faut tenir compte pour une interprétation fine des résultats. Tous les résultats individuels sont placés en annexe, pour chacun des 3 sites, chacune des 2 placettes (répétitions) et chacune des 2 pluies, soit au total 12 expérimentations. Pour chaque 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 l'infiltration (=infiltrabilité) en fonction du temps ;
- La courbe de lame ruisselée cumulée en fonction de la hauteur de pluie reçue.

Le tableau de synthèse N° 8 ci-contre rassemble les principales caractéristiques des placettes et tous les résultats importants tirés de ces expérimentations, qui sont analysés ci-après.

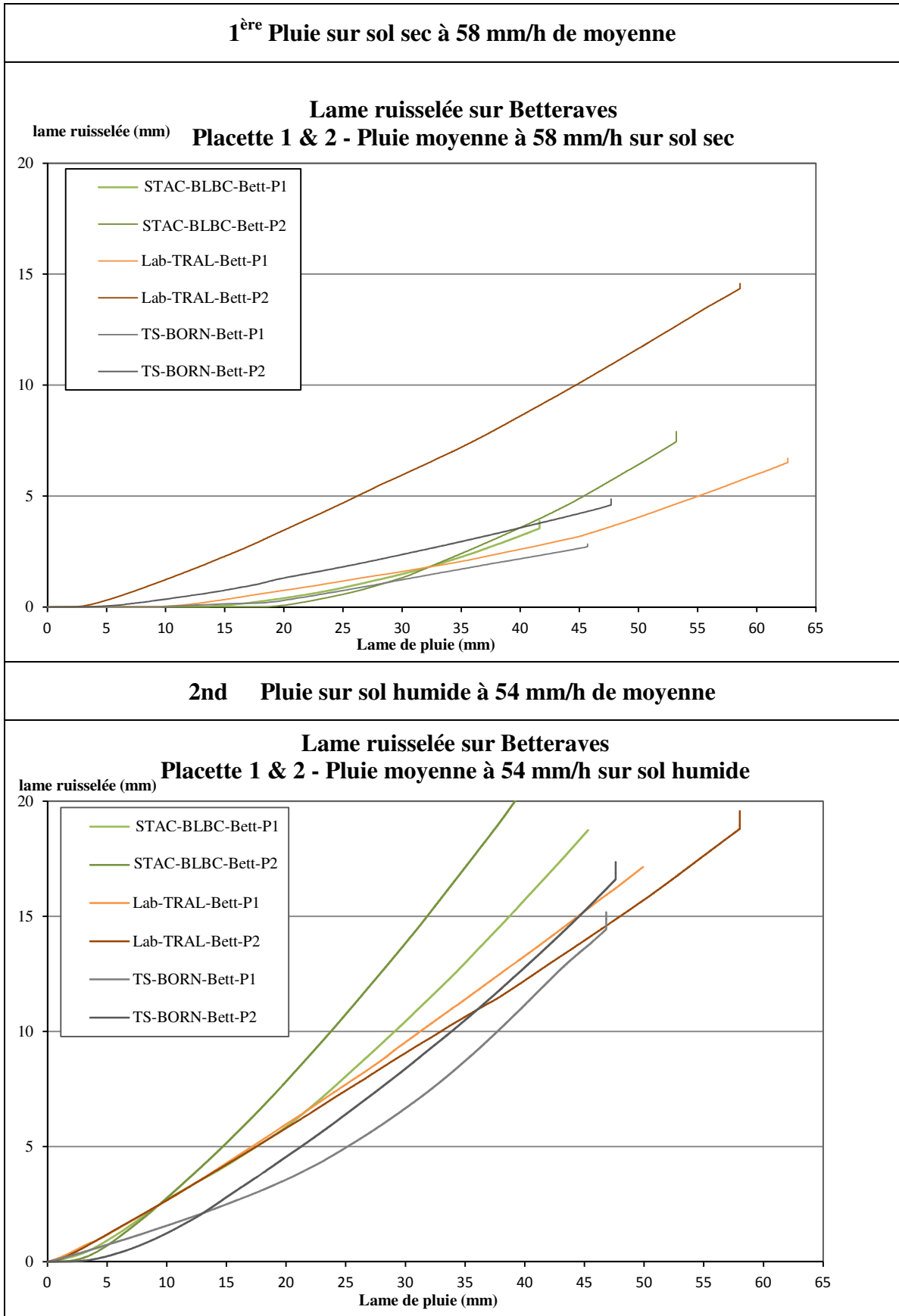


Figure 15 - Comparaison des lames ruisselées cumulées de pluie en fonction de la hauteur de pluie précipitée pour les 2 pluies à 58 et 54 mm/h sur sol sec puis humide, et pour chaque mode d'implantation des betteraves.

5.1. Analyse des lames ruisselées cumulées

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

Le cumul de ruissellement pour chacune des 2 pluies précipitées donne une vision globale en intégrant tous les paramètres de flaquage et d'infiltration à l'œuvre. On y observe bien les pertes initiales et une phase transitoire plus ou moins longue avant que le régime ne devienne constant. Ensuite la pente de la courbe en régime constant correspond à la capacité d'infiltration à saturation.

Les résultats sont présentés pour chaque pluie dans la figure N°15.

Ce premier examen 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.

Ci-dessous, le figure N° 16 présente un zoom sur les résultats obtenus avec la première pluie pendant les 40 premières minutes.

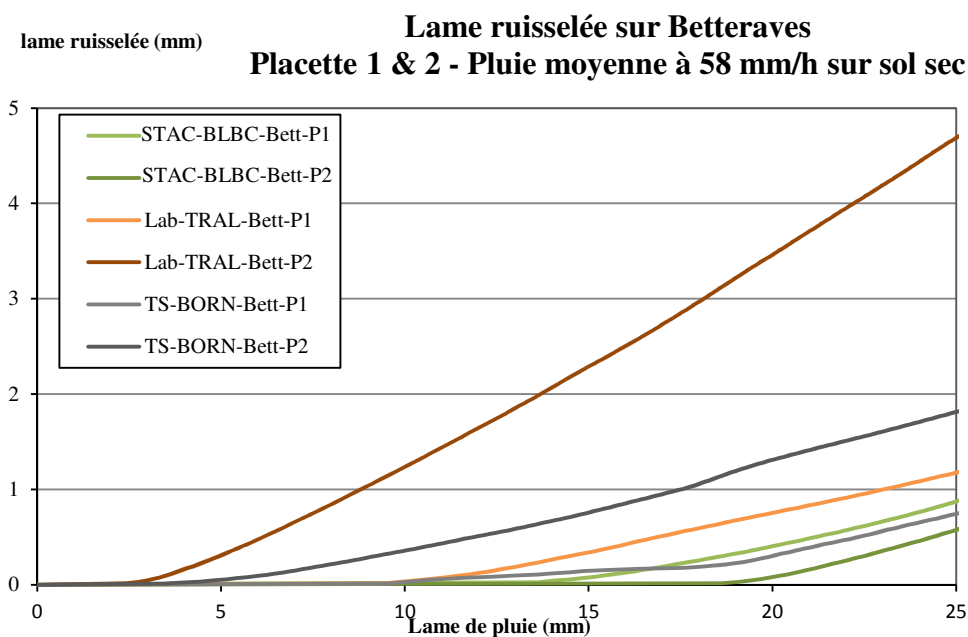


Figure 16 – Zoom sur les lames ruisselées cumulées pendant 40 mn de pluie en fonction de la hauteur de pluie précipitée pour la pluie sur sol sec à 58 mm/h, et pour chaque mode d'implantation des betteraves.

Pour chaque site, il en ressort que :

- Modalité de semis après labour avec la première pluie : L'une des répétitions (P2) montre un ruissellement qui intervient de manière rapide et importante. Le ruissellement sur l'autre répétition (P1) n'apparaît qu'après 10 mm de pluie puis croît de façon plus lente. Tout en étant différents, les résultats des 2 placettes sont assez cohérents. En effet, la réponse de la placette P2 correspond à une surface ayant une capacité d'infiltration moyenne avec une zone de moindre perméabilité qui ruisselle rapidement (traces de roues marquées). La placette P1 ruisselle moins et a un comportement semblable aux autres modalités.
Avec la seconde pluie en condition humide, les résultats des 2 placettes sont assez cohérents et semblables. Ils débutent très tôt et croissent de façon constante. On remarque que ce ne sont pas les plus ruisselants, car la capacité d'infiltration moyenne des surfaces semble être meilleure que pour les modalités sans labour.
- Modalité Strip Till Avec Couvert pour la première pluie : les ruissellements débutent les plus tardivement, après 13 à 15 mm de pluie, puis ils ont une progression lente mais qui s'accélère tout le temps de l'expérimentation. Si bien qu'à partir de 35-40 mm de pluie cumulée, ils produisent autant de ruissellement que les parcelles en travail superficiel et que la modalité peu ruisselante en labour.
Avec la seconde pluie en condition humide, les résultats des 2 placettes sont assez cohérents et semblables. Comme pour les autres modalités, les ruissellements débutent tôt et croissent de façon constante et importante. On remarque que ce sont les placettes les plus ruisselantes, car la capacité d'infiltration moyenne des surfaces semble être moins élevée que pour les modalités sans labour. *(C'est bien là toute la difficulté de comparer les modalités.)*
- Modalité de semis après un travail superficiel du sol avec la première pluie : Ces modalités ont un comportement intermédiaire. Elles ont produit un ruissellement assez rapidement avec une progression moyenne. Les résultats des 2 placettes sont similaires mais une des 2 placettes a ruisselé bien plus rapidement que l'autre.

Pour avoir une première 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 se souvenir que les résultats et le classement entre courbes peuvent varier et s'inverser pour d'autres hauteurs de pluie.

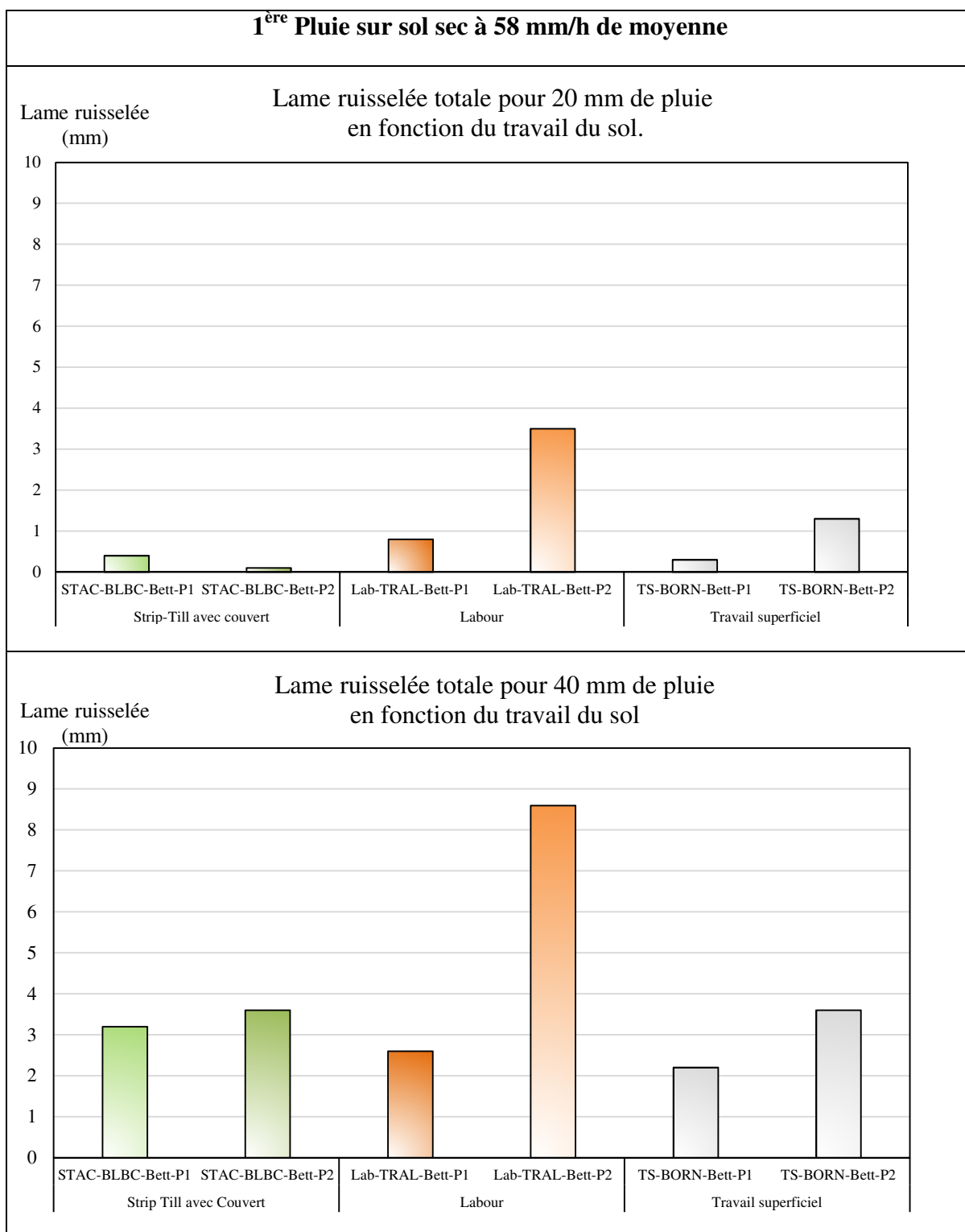


Figure 17 - Comparaison des lames ruisselées après 20 et 40 mm de pluie pour la première pluie sur sol sec à 58 mm/h en fonction des modes d'implantation des betteraves.

5.1.2. Résultats des lames ruisselées après 10, 20 et 40 mm de pluie cumulée en condition de sol sec.

Avec des conditions initiales de sol sec, les hauteurs de lames ruisselées pour des cumuls de pluie de 10, 20 et 40 mm sont présentées dans les Tableaux N° 9 et 10 ci-dessous et sur la figure N°17 ci-avant. Ces hauteurs de pluie correspondent respectivement à des périodes de retour de 2, 10 et 100 ans compte tenu de l'intensité de pluie.

Pour la première pluie intense sur sol sec, les lames ruisselées restent faibles. Les cumuls ruisselés sont supérieurs aussi bien pour les semis après labour que pour les modalités sans labour qui sont très voisins.

Les 2 répétitions de la modalité semis après Labour, montrent de fortes différences. L'un ruisselle peu malgré la présence de traces de roues et l'autre ruisselle beaucoup ce qui correspond à une situation régulièrement constatée sur le terrain.

lame ruisselée pour x mm de la pluie 1 à 58 mm/h		Pluie mm	10	20	40	% de ruissellement		
			mm	mm	mm	10 mm	20 mm	40 mm
Labour	Trouville-Alliquerville	TRAL	0	0.8	2.6	0%	4%	6.5%
			1.3	3.5	8.6	13%	17.5%	21.5%
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	0	0.3	2.2	0%	1.5%	5.5%
			0.4	1.3	3.6	4%	6.5%	9%
Strip Till Avec Couvert	Bolbec	BLBC	0	0.4	3.2	0%	2%	8%
			0	0.1	3.6	0%	0.5%	9%

Tableau 9 - Lame ruisselée (mm) sur Betteraves sous un cumul de pluie de 10 à 40 mm, pour chaque type de technique d'implantation et la pluie simulée n°1 à 58 mm/h sur sol sec.

Pour la seconde pluie sur sol humide, les lames ruisselées sont nettement plus élevées pour toutes les modalités. Les cumuls sont les moins élevés pour les semis en travail superficiel.

lame ruisselée pour x mm de la pluie 2 à 54 mm/h		Pluie mm	10	20	40	% de Ruissellement		
			mm	mm	mm	10 mm	20 mm	40 mm
Labour	Trouville-Alliquerville	TRAL	2.7	6.0	13.3	27%	30%	33.2%
			2.7	5.8	12.2	27%	29%	30.5%
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	1.6	3.6	11.2	16%	18%	28%
			1.2	4.6	12.8	12%	23%	32%
Strip Till Avec Couvert	Bolbec	BLBC	2.7	5.9	15.7	27%	29.5%	39.2%
			2.8	7.5	20.6	28%	37.5%	51.5%

Tableau 10 - Lame ruisselée (mm) sur Betteraves sous un cumul de pluie de 10 à 40 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée n°2 à 54 mm/h sur sol humide.

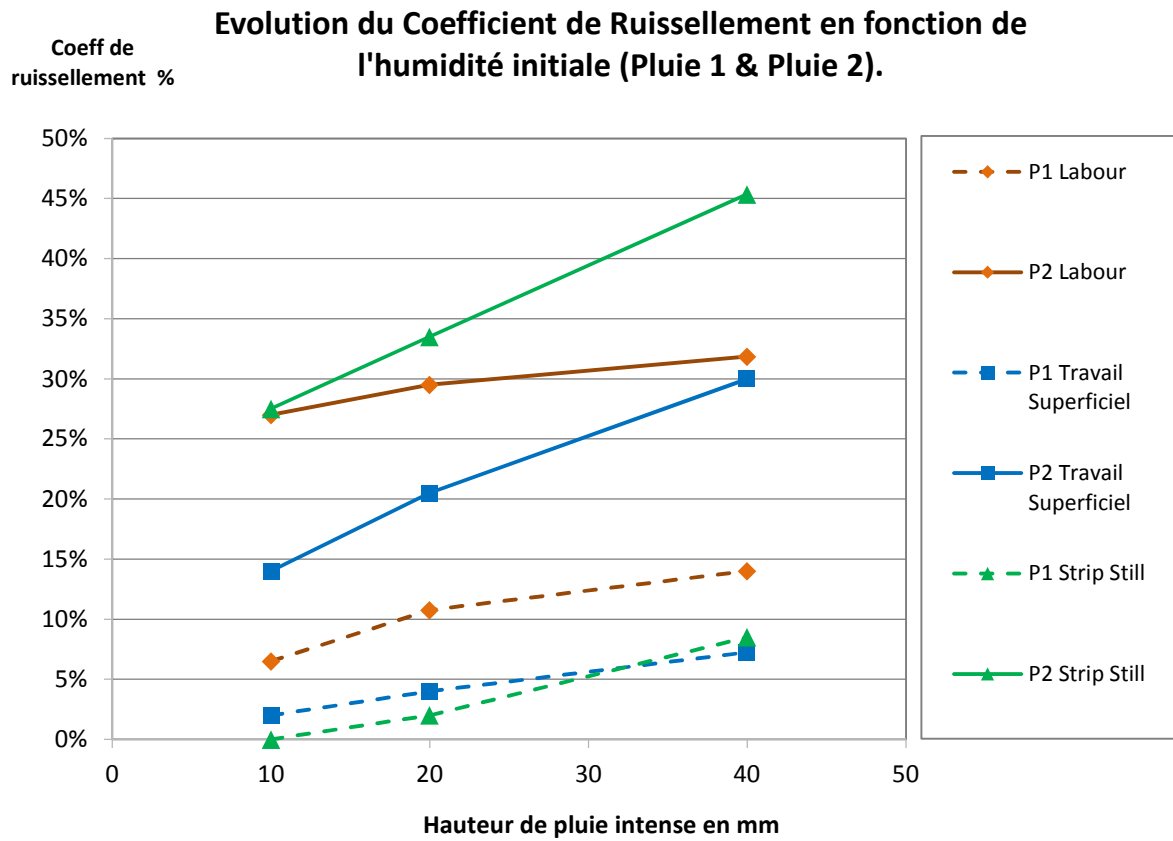


Figure 18 - Comparaison des coefficients de ruissellement pour des hauteurs de 10 à 40 mm de pluie des deux pluies intenses successives en fonction des modes d'implantation des betteraves.

La seconde pluie intense est réalisée 10 à 15 minutes après la fin de la première pluie. Elles sont d'intensité similaire. Dans ces conditions, les résultats obtenus au cours de la première pluie représentent la réponse sur un sol sec, et les résultats de la seconde pluie représentent la réponse sur des sols très humides, dont les couches de surfaces sont saturées.

Sur la figure 18 ci-contre, la comparaison des résultats entre ces 2 pluies intenses successives, exprimées en pourcentage ruisselé (ou coefficient de ruissellement) tirés des tableaux n° 9 et 10, illustre des comportements différents. Il faut en outre se rappeler que les états de surface sont dans l'ensemble peu dégradés.

BILAN :

En conditions initiales sèches, ce qui est généralement le cas en saison printanière, le semis classique après labour a des coefficients de ruissellement compris entre 15 et 30 % alors que pour les autres modalités, ces coefficients vont de 0 à 9 %.

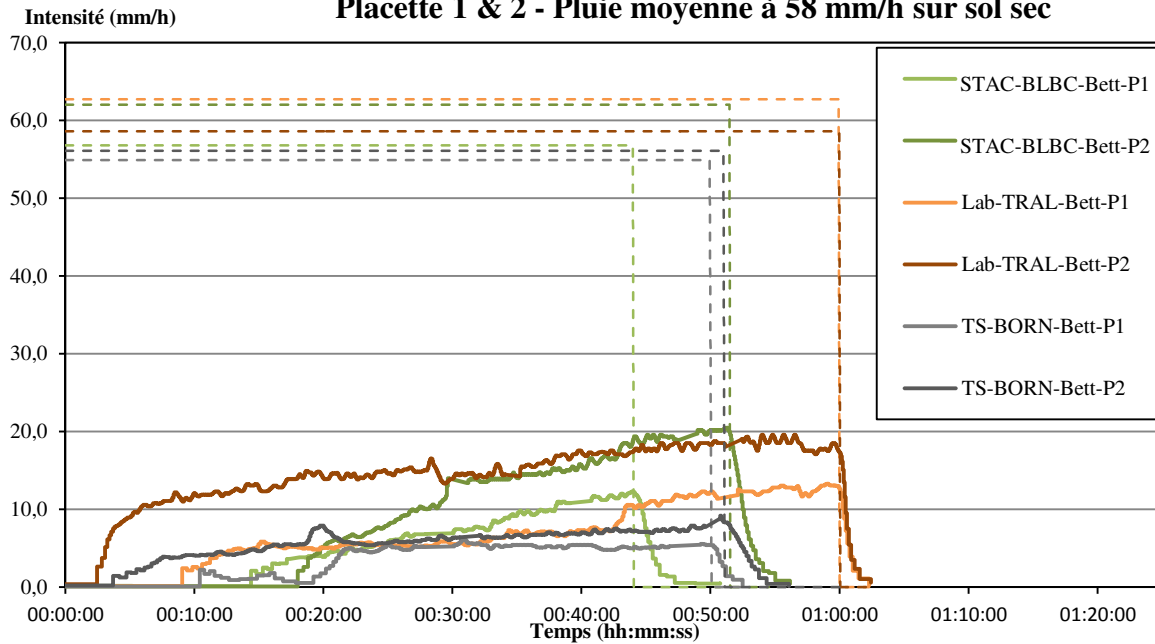
Mais en conditions initiales très humides ou saturées, tous les coefficients de ruissellement dépassent 15% et s'échelonnent entre 15 et 50 %. Dans les conditions d'état de surface des sols de l'année, le semis après un travail du sol superficiel se révèle être le moins ruisselant. Classiquement en semis après labour les coefficients de ruissellement vont de 27 à 33 %, ce qui confirme les données déjà mesurées en Pays de Caux sur sol avec croûte de battance généralisée. Le semis au Strip Till avec un couvert dans l'interrang, s'avère être très ruisselant. Ceci confirme l'effet de saturation de la macroporosité verticale avec un sol peu perméable sans ce type de porosité. Ceci est l'effet du re-tassement naturel ou anthropique des couches superficielles de sol. Cela confirme aussi l'importance et la nécessité absolue du développement de l'activité biologique avec ces techniques.

En synthèse, le tableau N° 11, donne les lames ruisselées moyennes par type d'implantation des Betteraves pour une hauteur de pluie de 20 mm pour chacune des 2 pluies.

lame ruisselée pour 20mm de pluie	Pluie 1	Pluie	Sites
	Sol sec	Sol humide2	
	58 mm/h	54 mm/h	
Semis sur Labour	2,15	5,9	TRAL
Semis sur Travail Superficiel	0,8	4,1	BORN
Semis Strip till Avec Couvert	0,25	6,7	BLBC

Tableau 11 - Lame ruisselée (mm) sur Betteraves sous un cumul de pluie de 20 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

**Intensité de ruissellement et de pluie sur Betteraves
Placette 1 & 2 - Pluie moyenne à 58 mm/h sur sol sec**



**Intensité de ruissellement et de pluie sur Betteraves
Placette 1 & 2 - Pluie moyenne à 54 mm/h sur sol humide**

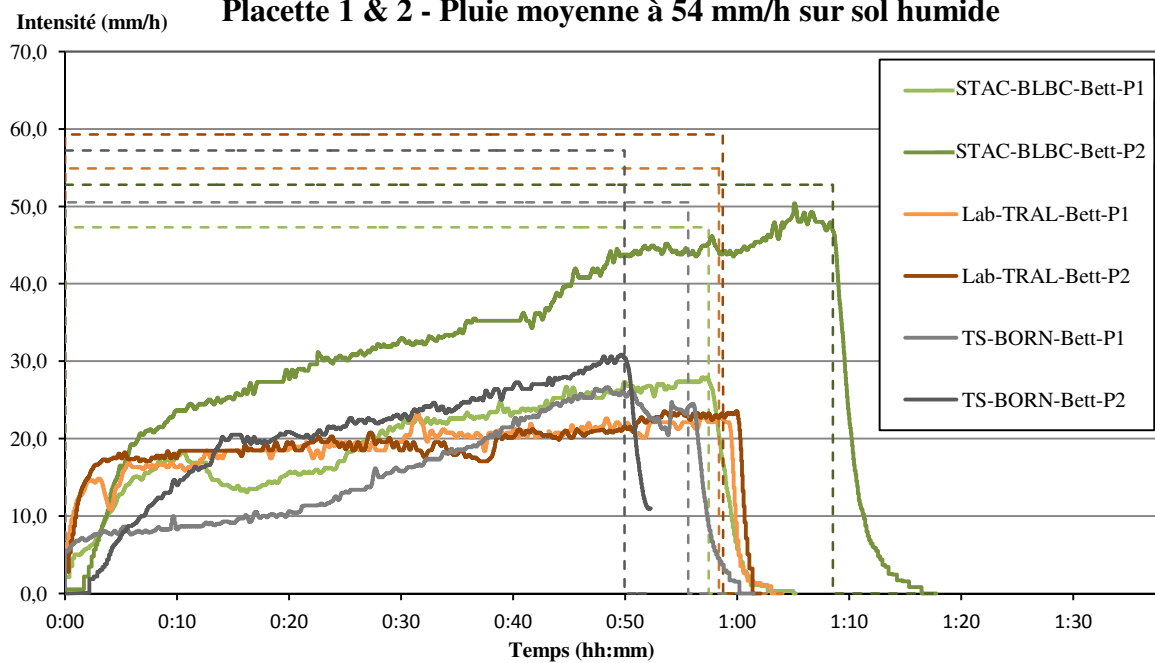


Figure 19 - Comparaison de toutes les courbes de réponse sur Betteraves pour les 2 intensités de pluie sur les 2 niveaux d'humidité initiale.

L'analyse et l'interprétation des données d'intensité de ruissellement peuvent être assez complexes, avec plusieurs phases successives, comme cela est présenté dans le paragraphe suivant.

(Pour cette raison, par la suite, les réponses sont examinées par phase en décomposant les réponses hydrologiques.)

5.2. Résultats des ruissellements : Illustration de la complexité des courbes de réponse

Les 2 graphiques de la figure N°19 ci-contre, présentent les intensités de ruissellement (mm/h) en fonction du temps pour les 6 placettes sur chaque intensité de pluie. Il y a une couleur pour chaque expérimentation (intensité de pluie en pointillé- intensité de ruissellement en trait plein).

L'examen de ces courbes révèle un élément important du comportement des différentes surfaces, notamment avec la première pluie sur sol sec :

- Pour le labour, il y a une petite période sans ruissellement, très courte pour l'une des répétitions, puis le ruissellement augmente assez vite (phase d'imbibition courte, forte et très rapide), ensuite le ruissellement croît de façon beaucoup plus lente, avant d'atteindre à la fin une plage d'infiltration constante. Ce comportement est typique de l'existence d'une partie très ruisselante en surface, comme une zone en faciès F2 ou une trace de roue par exemple. Celle-ci peut être bien marquée (Lab P2) ou très peu (Lab P1).

On remarque aussi que lors de la seconde pluie sur sol humide, les 2 courbes de réponse des 2 placettes sont identiques ce qui démontre bien la répétabilité des mesures et de la réponse à la pluie.

- A l'opposé, pour les semis au Strip Till avec couvert de mulch, avec la première pluie sur sol sec, la période sans ruissellement est longue pour les 2 répétitions, puis le ruissellement augmente de façon constante jusqu'à la fin de l'expérimentation (phase transitoire longue, régulière et assez moyenne). Ce comportement est typique de l'existence d'un flaquage important en surface avec une vitesse d'infiltration moyenne à élevée, puis d'une saturation de la porosité croissante à mesure que la pluie continue. Il est possible aussi qu'il y ait un effet lié à l'existence de traces de roues, mais il est moins visible.

Lors de la seconde pluie sur sol humide, les courbes de réponse des répétitions ont la même physionomie ce qui démontre encore la répétabilité des mesures et de la réponse à la pluie.

Pertes initiales pour la 1ère Pluie sur sol sec d'intensité moyenne de 58 mm/h, en fonction du type de travail du sol

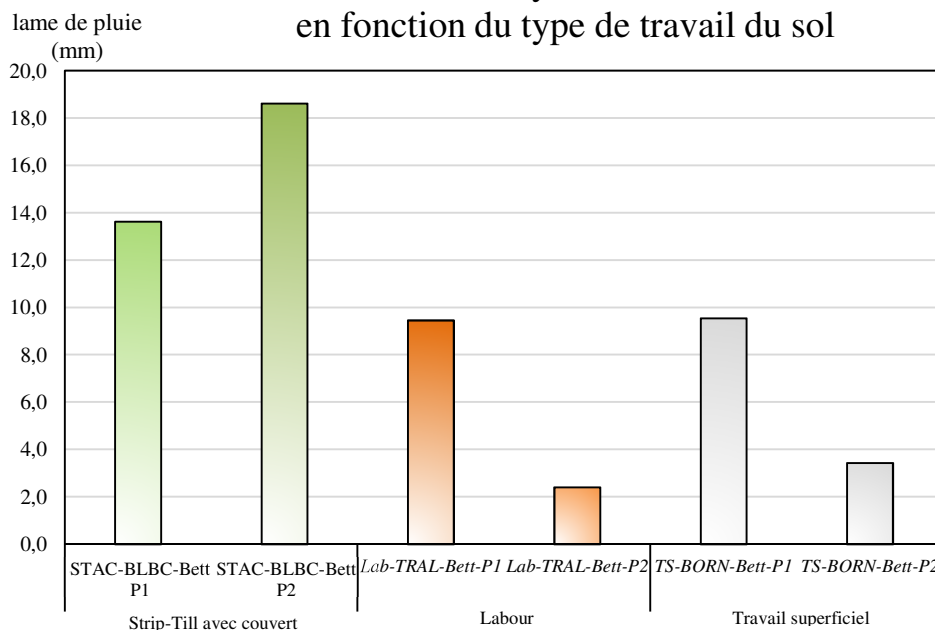


Figure 20 - Comparaison des pertes initiales (mm) pendant la phase d'imbibition pour les parcelles en betteraves et les premières pluies d'intensité moyenne de 58 mm/h

Pertes initiales pour la 2nd Pluie d'intensité moyenne de 54 mm/h sur sol humide, en fonction du type de travail du sol

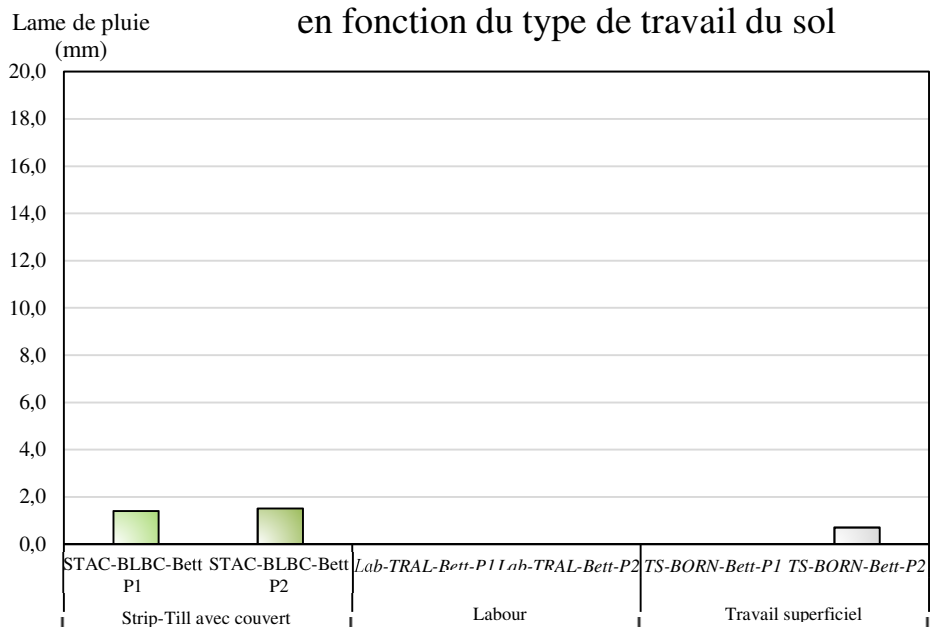


Figure 21 - Comparaison des pertes initiales (mm) pendant la phase d'imbibition pour les parcelles en betteraves et les deux pluies d'intensité moyenne de 48 mm/h

5.3. Résultats des ruissellements : phase de pertes initiales et d'imbibition

Cette phase correspond à une absence de ruissellement.

Pour les différents modes d'implantation des betteraves, avec la première pluie d'intensité moyenne à 58 mm/h sur sol sec, les pertes initiales sont similaires sur le labour et le travail superficiel entre 2 et 10 mm et elles sont plus importantes sur le semis au Strip Till avec couvert, entre 14 et 19 mm soit près du double, comme l'illustre les figures N° 21 et 22 ainsi que le tableau N° 12.

Lors de la seconde pluie d'intensité moyenne de 54 mm/h sur sol humide, il n'y a pratiquement pas de pertes initiales observables pour le labour et le travail superficiel (moins de 1 mm) et les pertes initiales sur le semis au Strip Till avec couvert sont comprises entre 1 et 2 mm.

pertes initiales (mm)			Pluie 1 Sol sec		Pluie 2 Sol humide	
			58 mm/h.		54 mm/h.	
Labour	Trouville- Alliquerville	TRAL	9,5	2,4	0	0
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	9,6	3,4	0	0,7
Strip Till Avec Couvert	Bolbec	BLBC	13,6	18,6	1,4	1,5

Tableau 12 - Hauteur des pluies d'imbibition (mm) sur Betteraves pour chaque type de technique et répétition.

Les pertes initiales pour la seconde pluie sont inférieures à celles de la première pluie, ce qui est normal, puisque la seconde pluie a eu lieu entre 5 mn et 10 mn après la première pluie, et donc sur des sols quasi saturés.

Les pertes initiales plus importantes sur le semis direct sont certainement dues à la forte présence de résidus qui crée une rugosité ralentissant les écoulements de surface.

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

pertes initiales moyennes (mm)	Pluie 1 Sol sec	Pluie 2 Sol humide	sites
	58 mm/h	54 mm/h	
Labour	6	0	TRAL
Semis sur Travail Superficiel	6	0.4	BORN
Semis Strip till Avec Couvert	16.1	1.5	BLBC

Tableau 13 - Pluies d'imbibition moyenne (mm) sur Betteraves par modalité d'implantation.

Bilan : Les placettes en Semis au Strip Till Avec Couvert ont un fort pouvoir tampon initial de 13 à 18 mm de lame d'eau pour une première pluie. A contrario, le labour et le travail superficiel génère plus rapidement un ruissellement, parfois faible. Ce ruissellement apparaît à cause de la présence de zones de 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.

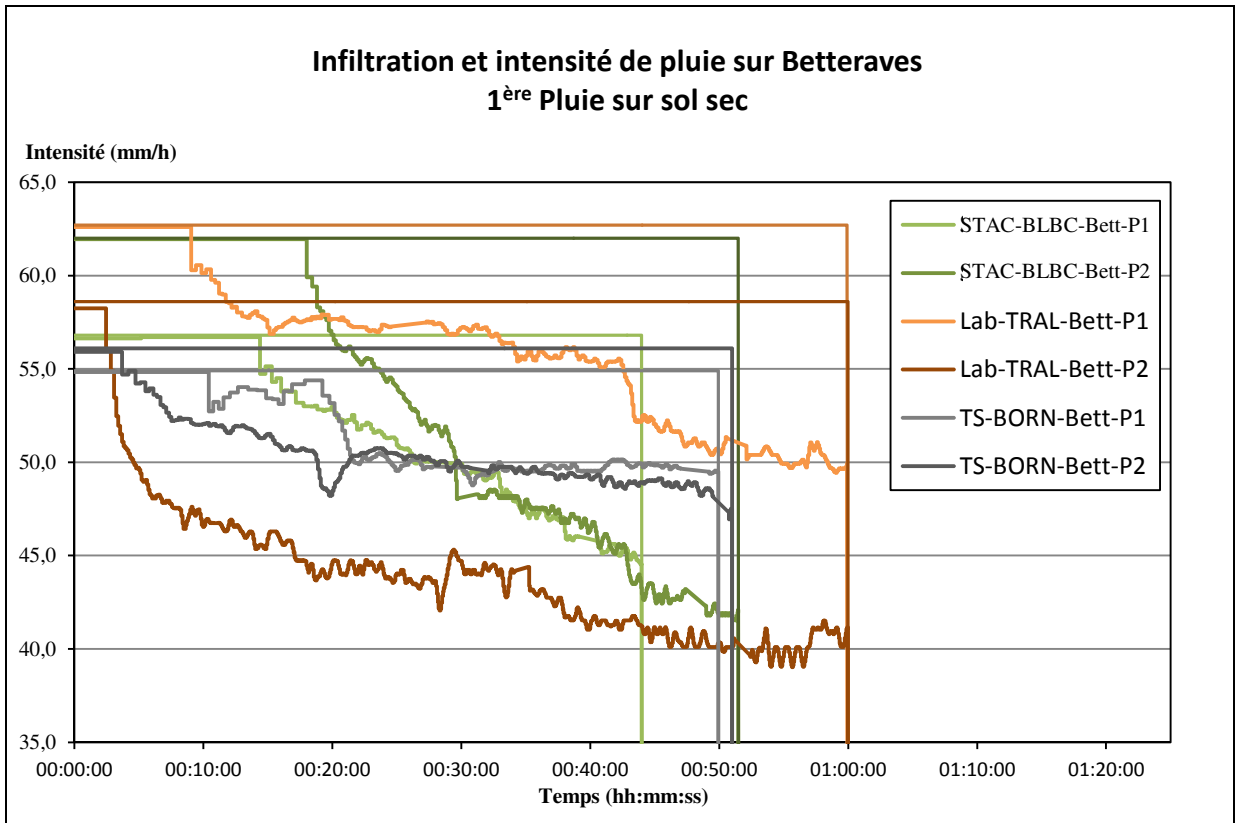


Figure 22 - Comparaison des courbes d'infiltration sur Betteraves avec la 1^{ère} pluie de 58 mm/h de moyenne sur sol sec

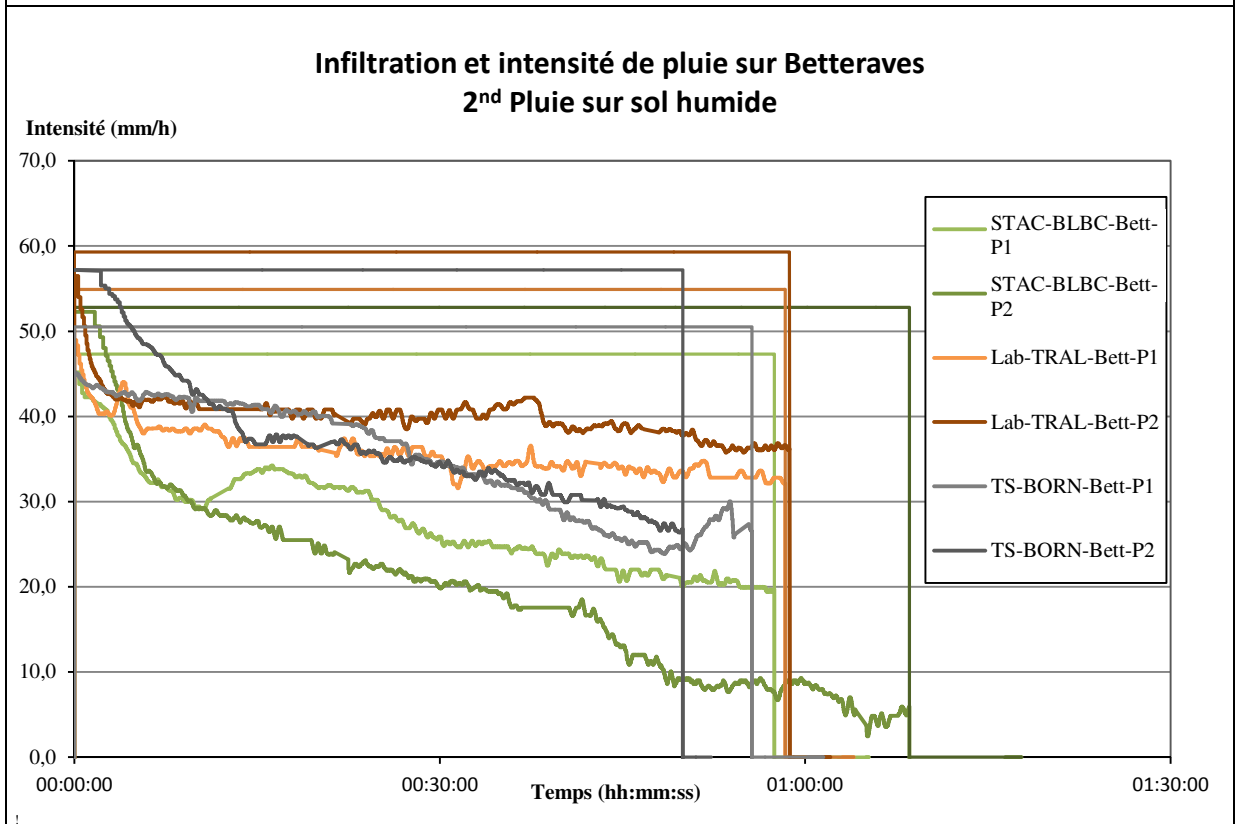


Figure 23 - Comparaison des courbes d'infiltration sur Betteraves avec la 2nd pluie de 54 mm/h de moyenne sur sol humide

5.4. Analyse des Résultats de ruissellement-Infiltration à saturation

Après une phase préliminaire d'imbibition suivie d'une phase transitoire plus ou moins longues où le ruissellement progresse rapidement, les écoulements atteignent généralement une phase stable d'écoulement constant, dit "régime permanent" qui correspond à la capacité d'infiltration à saturation. Cet état caractérise l'infiltration minimale de l'état de surface et/ou du sol. On s'intéresse ici à ce paramètre.

Les figures suivantes N° 22 à 23 présentent les différentes courbes de réponse des sites en fonction des techniques d'implantation utilisées.

Les paramètres suivants sont successivement analysés :

- intensité de ruissellement à saturation ;
- intensité d'infiltration à saturation ;

A noter que **le régime permanent n'a pas toujours été atteint, notamment :**

- sur les 2 placettes en semis direct de Bolbec et pour chacune des pluies (STAC-BLBC-Bett-P1 et P2)
- sur l'une des placettes en semis avec un travail simplifié à Trouville-Alliquerville lors de la seconde pluie. (TS-BORN-Bett-P1 et P2)

Il est donc impossible de déterminer précisément leur capacité d'infiltration à saturation, mais seulement la borne supérieure.

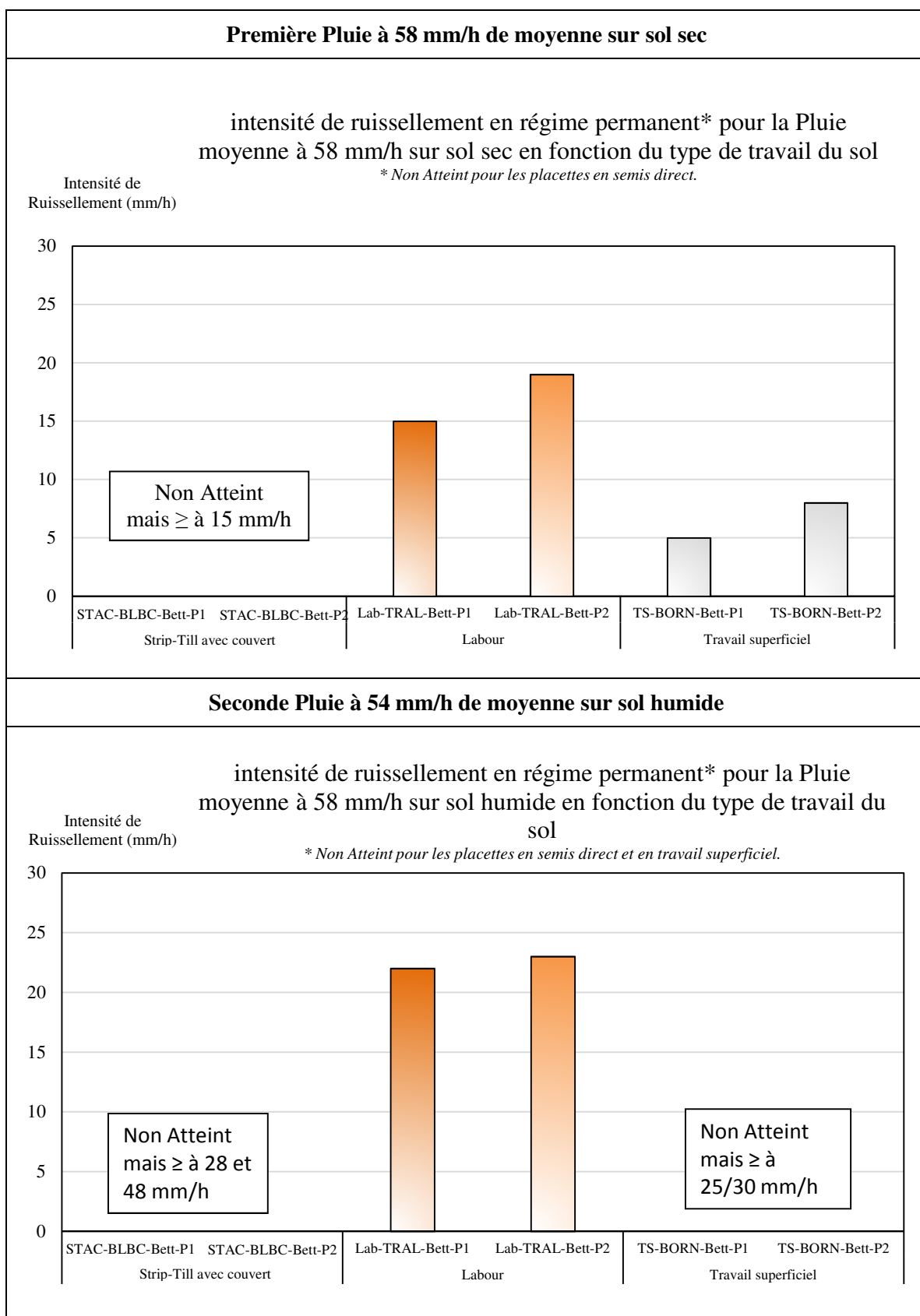


Figure 24 - Comparaison des intensités moyennes de ruissellement (mm/h) pendant le régime permanent lors des 2 pluies à 58 et 54 mm/h en fonction des modes d'implantation des betteraves.

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

En régime permanent, le sol est considéré comme étant à saturation. Cela signifie que l'on a atteint la valeur limite minimale de la capacité d'infiltration du sol pour l'intensité de pluie choisie.

Pendant cette phase de régime permanent, le ruissellement constant peut être un ruissellement composite car la surface est composée de sous-ensembles de perméabilités différentes. Mais le résultat est représentatif 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° 24, sont récapitulés dans le tableau N° 14 ci-dessous pour chaque placette.

Ruissellement en régime permanent (mm/h)			Pluie 1 Sol sec		Pluie 2 Sol humide	
			58 mm/h.		54 mm/h.	
Labour	Trouville- Alliquerville	TRAL	15	19	22	23
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	5	8	NA (≈26)	NA (≈30)
Strip Till Avec Couvert	BOLBEC	BLBC	NA (≥10,5)	NA (≥20)	NA (≈27)	NA (≈49,5)

Tableau 14 - Intensité de ruissellement à saturation en régime constant (mm/h) sur Betteraves pour chaque placette de chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée. NA = non atteint.

Pour le labour et les semis sur travail du sol simplifié, les résultats démontrent une bonne homogénéité entre les répétitions (placettes 1 & 2).

En outre, on constate que les résultats sont très dépendants de la saturation du sol.

En semis au Strip Till Avec Couvert, le régime permanent n'a jamais été complètement atteint, même après la seconde pluie et un cumul de 115 mm de pluie (les courbes restent croissantes avec une pente de même ordre de grandeur). Néanmoins, à la fin de chacune des 2 pluies, on s'en rapproche. Il y a une différence importante entre chaque répétition. En fin de première pluie sur sol initialement sec, les intensités de ruissellement vont de 10 à 20 mm/h ; et en fin de seconde pluie sur sol humide, les valeurs vont de 27 à 49 mm/h.

En Travail superficiel, lors de la première pluie sur sol initialement sec, le régime permanent est atteint, l'intensité de ruissellement se stabilise autour de 6,5 mm/h en moyenne. Le régime permanent est presque atteint en fin de la seconde pluie sur sol humide et s'élève à 28 mm/h en moyenne.

Cette différence entre les résultats des 2 pluies peut s'expliquer par :

- Soit la totalité de la placette n'est pas connectée à l'exutoire
- Soit la couche superficielle travaillée avant le semis n'est pas encore saturée à la fin de la première pluie.

En Labour le régime permanent est atteint lors des deux pluies et de façon assez rapide. L'intensité de ruissellement atteint 17 mm/h en moyenne lors de la première pluie sur sol sec et 22.5 mm/h en moyenne lors de la seconde pluie sur sol humide.

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

Ruissellement moyen en régime permanent (mm/h)	Pluie 1 Sol sec	Pluie 2 Sol humide	sites
	58 mm/h	54 mm/h	
Semis sur Labour	17	22.5	TRAL
Semis sur Travail Superficiel	6.5	≈ 28	BORN
Semis Strip till Avec Couvert	NC (10 à 20)	NC (27 à 49)	BLBC

Tableau 15 - Résumé Intensités moyennes de ruissellement à saturation en régime constant (mn) sur Betteraves pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée

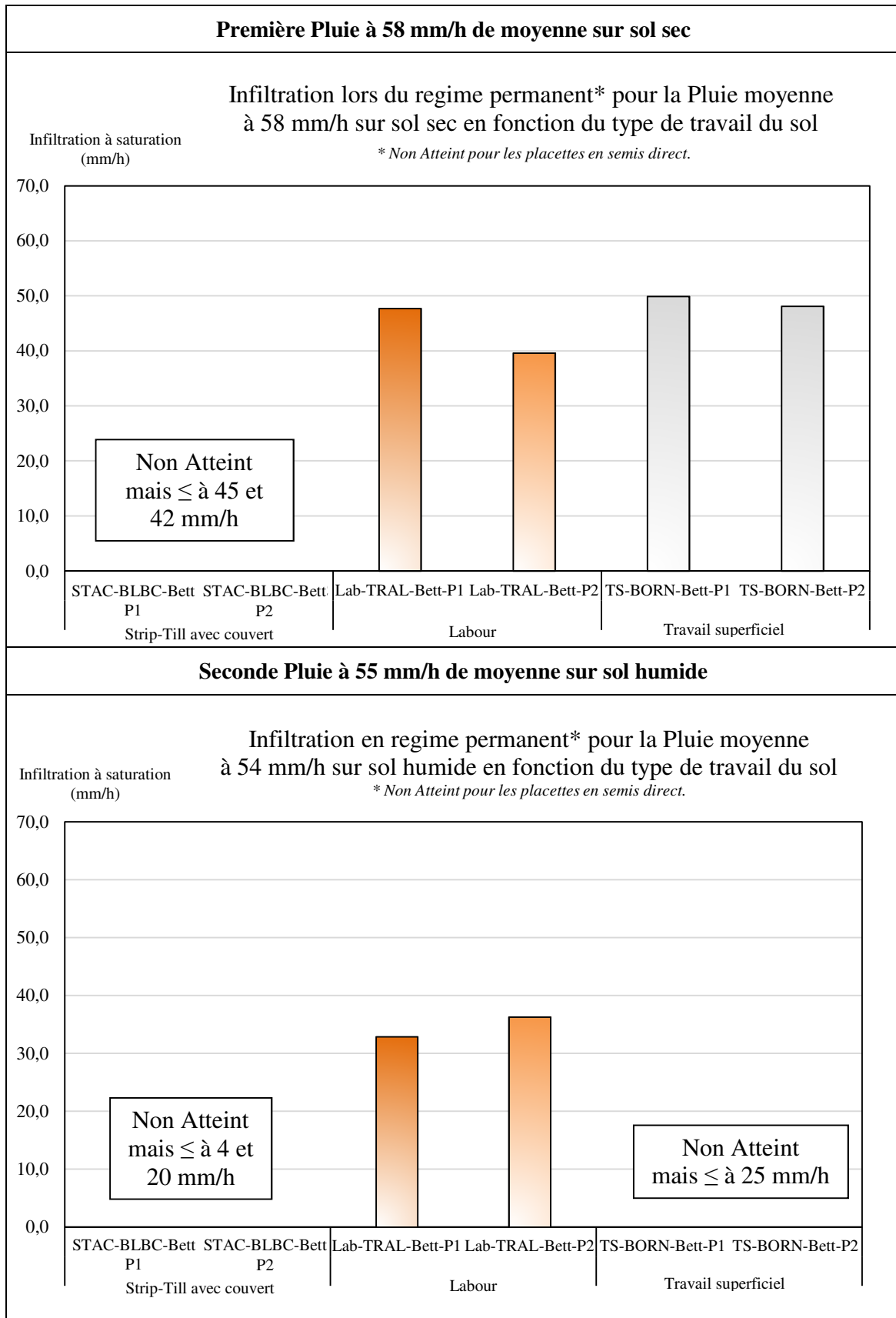


Figure 25 - Comparaison des intensités moyennes d'infiltration (mm/h) pendant le régime permanent lors des 2 pluies à 58 et 54 mm/h en fonction des modes d'implantation des betteraves et de l'humidité initiale.

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

En simulation de pluie, la connaissance de la capacité d'infiltration des sols (ou infiltrabilité) 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° 25 et le tableau N° 16 ci-dessous.

infiltration moyenne en régime permanent (mm/h)			Pluie 1		Pluie 2	
			Sol sec		Sol humide	
			58 mm/h.		54 mm/h.	
Labour	Trouville-Alliquerville	TRAL	48	40	33	36
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	50	48	NA ≈24	NA ≈ 25
Strip Till Avec Couvert	Bolbec	BLBC	NA (≤ 45)	NA ≤ 42	NA ≈ 20	NA ≈ 4

Tableau 16 - Infiltrabilité moyenne à saturation en régime constant (mm/h) sur Betteraves pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée. NA= non atteint.

Il ressort de ces résultats que globalement les répétitions entre placettes donnent des valeurs proches et cohérentes entre elles. A l'exception d'une placette en semis direct, les valeurs sont relativement élevées (> à 20 mm/h). Les raisons sont les suivantes :

- pour le labour, et les semis après un travail superficiel, l'état de surface était majoritairement en faciès F1 assez motteux encore perméable et ce sont essentiellement les traces de roues qui ont généré des ruissellements ;
- pour les techniques sans labour, les couverts plus ou moins abondants ont préservé des zones assez perméables (cas des STAC) et une forte capacité de flaquage (cas des TS).

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

Infiltration moyenne en régime permanent (mm/h)	Pluie 1 Sol sec	Pluie 2 Sol humide	sites
	58 mm/h	54 mm/h	
Semis sur Labour	44	34.5	TRAL
Semis sur Travail Superficiel	49	≈24,5	BORN
Semis Strip till Avec Couvert	≤42	≤ 4 à 20	BLBC

Tableau 17 - Infiltrabilité moyenne à saturation en régime constant (mn) sur Betteraves pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.

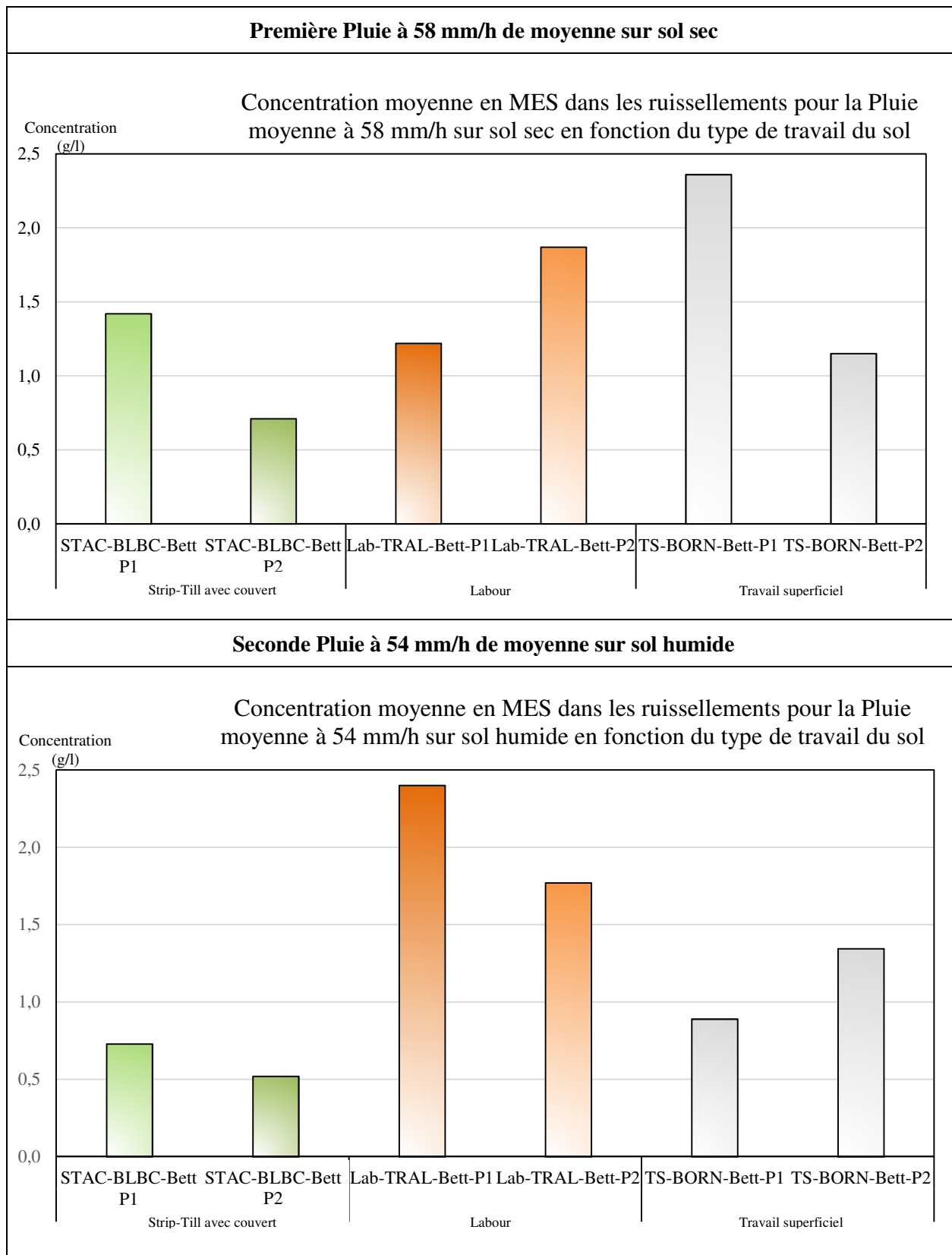


Figure 26- Concentration moyenne en MES (mg/l) dans les ruissellements pour les 2 pluies à 58 et 54 mm/h, et pour chaque mode d'implantation des betteraves et de l'humidité initiale.

5.5. Analyse des Résultats sur l'érosion diffuse :

Cette analyse du taux d'érosion diffuse se fait par le biais de l'examen des concentrations en MES sur 2 ou 3 prélèvements pendant chaque ruissellement.

Le détail des teneurs en MES dans les échantillons de ruissellement prélevés pendant chaque simulation de pluie est présent sur les figures N° 13,14 et 15 placées en annexe N°05.

Les concentrations moyennes en MES par expérimentation sont présentées dans le tableau N° 18 ci-dessous et sur l'histogramme de la figure N° 26 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.

Taux moyen de M.E.S (mg/l)			Pluie 1 Sol sec		Pluie 2 Sol humide	
			58 mm/h.		54 mm/h.	
Labour	Trouville- Alliquerville	TRAL	1 220	1 870	2 400	1 770
Travail Superficiel	Bornambusc	BORN	2 360	1 150	890	1 345
Strip Till Avec Couvert	Bolbec	BLBC	1 420	710	729	520

Tableau 18 - Teneur moyenne en MES (mg/l) dans chaque lame ruisselée sur Betteraves, par expérimentation et pour chaque pluie simulée.

Les résultats sont classiques. Dès lors que le sol n'est pas travaillé sur une partie de la surface, l'érosion diffuse est réduite. La diminution est d'un facteur 2 selon les types d'implantation et l'humidité initiale du sol.

Ainsi par exemple, sous la seconde pluie simulée sur sol humide et d'intensité moyenne égale à 54 mm/h, pour les sols travaillés la concentration moyenne varie entre 1 345 et 1 770 mg/l et pour le semis au Strip Till Avec Couvert, la teneur moyenne entre 729 et 520 mg/l.

En synthèse, le tableau N°19, donne les concentrations moyennes par type d'implantation des betteraves pour chaque intensité de pluie.

MES (mg/l)	Pluie 1 Sol sec	Pluie 2 Sol humide	moyenne
	58 mm/h	54 mm/h	
Semis sur Labour	1 545	2 085	1 815
Semis sur Travail Superficiel	1 755	1 117	1 436
Semis Strip till Avec Couvert	1 065	624	845

Tableau 19 - Teneur moyenne en MES (mg/l) dans chaque lame ruisselée sur Betteraves, pour chaque type de technique d'implantation plus ou moins ruisselante et de l'humidité initiale.

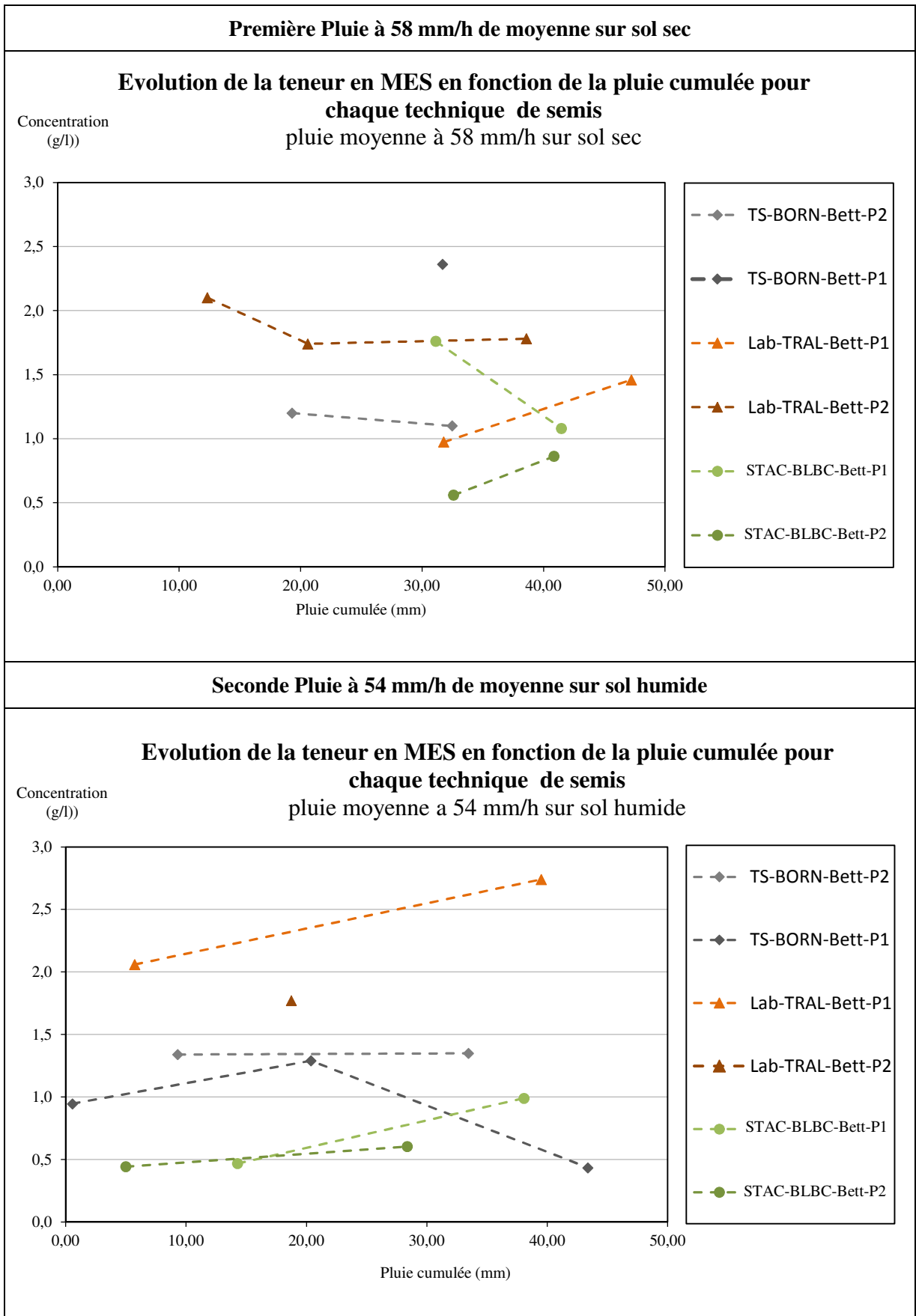


Figure 27 - Dynamique de l'évolution des concentrations en MES (g/l) dans chaque ruissellement pour les 2 pluies à 58 et 54 mm/h, et pour chaque mode d'implantation des Betteraves.

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 d'un couvert, de croûtes denses, de zones tassées (voire compactes) mais perforées en surface dans l'interrang des betteraves 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 liée aux mottes, plus élevée sur Labour que sur Semis au Strip Till avec Couvert, présente de nombreuses mottes saillantes en surface qui restent accessibles aux gouttes de pluie.

En terme de dynamique d'érosion diffuse au cours de la pluie, la figure N° 27 montre les évolutions des concentrations en MES par modalité en fonction de la somme des pluies cumulées. Globalement, pratiquement toutes les concentrations sont assez stables à mesure que le cumul de pluie augmente.

Pour terminer, le tableau suivant N° 20, donne une estimation indicative du taux d'érosion diffuse atteint pour une hauteur de pluie de 20 mm.

Taux d'érosion diffuse pour 20mm de pluie	Pluie 1 Sol sec	Pluie 2 Sol humide	Sites
	58 mm/h	54 mm/h	
Semis sur Labour	33 Kg/ha	123 Kg/ha	TRAL
Semis sur Travail Superficiel	14 Kg/ha	46 Kg/ha	BORN
Semis Strip till Avec Couvert	2,7 Kg/ha	42 Kg/ha	BLBC

Tableau 20 - Taux d'érosion sur Betteraves sous un cumul de pluie de 20 mm, pour chaque type de technique d'implantation et d'humidité initiale.

5.6. Analyse des Résultats en phase transitoire

L'analyse des résultats en phase transitoire (Cf. figure n°8), entre la première phase d'imbibition et la dernière phase de régime permanent est compliquée car très variable selon les modalités et les répétitions. Cette partie est placée en Annexe N°06

6. BILAN sur les résultats en betteraves

6.1. Pour les semis après Labour

Le semis de betteraves sur la parcelle de Trouville-Alliquerville est peu à moyennement ruisselant. Cela tient à plusieurs paramètres.



D'abord, les semis ont été réalisés plus tardivement par rapport aux autres parcelles avec au minimum trois semaines d'écart. Le cumul de pluie à partir du semis s'en est trouvé un peu réduit de 10 à 15 %.

Les états de surface initiaux sont donc restés motteux et rugueux : Faciès F1 en majorité.

De plus il s'avère que la zone testée dispose d'une bonne teneur en matière organique de 2,1 %. Cette matière organique a permis le maintien d'une structure motteuse avant et pendant les essais, créant une forte rugosité et une bonne rétention superficielle.

Cependant les passages de roues bien visibles sur la photo (figure 28) ci-contre ont généré un ruissellement rapide ce qui a eu pour conséquence de ne pas obtenir beaucoup de pertes initiales et d'avoir une phase transitoire courte.

Figure 28 - placette de Trouville-Alliquerville en Labour

En bilan, cette parcelle présente toutes les caractéristiques d'un semis sur labour peu ruisselant.

Avec la première simulation de pluie d'intensité égale à 58 mm/h sur sol initialement sec, la lame ruisselée moyenne après 20 mm de pluie est de 2,15 mm (soit 11 %). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0,7 mm (soit 7 %). Ces résultats sont plus élevés que pour les autres parcelles testées.

La saturation de la parcelle est atteinte au bout de 45 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation reste très élevée à 44 mm/h. Il est fort probable que seuls les passages de roues ont vraiment contribué aux ruissellements de la placette, en effet l'inter-rang, visible sur la photo, reste motteux, même suite à 125 mm de pluie intense cumulée.

6.2. Pour les Semis au Strip Till Avec Couvert dans l'inter-rang :

Le semis au Strip Till a été réalisé fin mars, après l'interculture détruite en milieu d'hiver. Il en résulte que tous les tassements des mois précédents liés aux chantiers de récolte, traitements et semis, sont encore partiellement présents. Le taux de couvert lors des essais est le plus important de toutes les parcelles testées, de l'ordre de 50 % dont 20 % de résidus d'interculture. En dehors de la bande de semis, les surfaces ont une forte rugosité liée au mulch mélangé avec des mottes. Il en résulte un faciès F2 qui couvre près de 10% de la surface et une rugosité générale de la placette assez forte. Les passages de roues au semis sont bien visibles sur la photo ci-dessous, les résidus ont déjà partiellement disparu et la surface est tassée. La porosité semble moyenne sur l'ensemble de la placette, mais forte sous le mulch.



Figure 29 - Parcelle de betteraves en Semis au Strip Till Avec Couvert de Bolbec

En Bilan, pour cette parcelle les résultats de simulation de pluie démontrent qu'un semis au Strip Till peut retarder voir limiter la genèse des ruissellements sans pour autant le supprimer totalement. Les raisons sont vraisemblablement liées aux tassements et à la trop faible abondance de porosité verticale et continue.

Avec la première simulation de pluie d'intensité égale à 58 mm/h sur sol initialement sec, la lame ruisselée après 20 mm de pluie n'est que de 0,25 mm (soit 1 %). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0 mm. Ceci est très intéressant. Néanmoins, si la pluie dure longtemps, on constate qu'après 60 mm de pluie cumulée, la lame ruisselée pour ce type de semis est identique à celle obtenue avec la placette en labour la moins favorable.

Après la seconde pluie sur sol initialement humide, la saturation de la parcelle n'est jamais atteinte lors des essais, mais l'infiltrabilité moyenne en fin d'essai devient faible, de l'ordre de 5 à 20 mm/h.

6.3. Pour le semis après Travail Superficiel

Le semis de betteraves après un travail superficiel a été peu à moyennement ruisselant, à l'image des semis après labour. Sur cette parcelle en non labour depuis longtemps, cela tient à plusieurs paramètres :

- Sur cette parcelle, la teneur en matière organique de 1.5 % est faible, ce qui lui confère une stabilité structurale faible.
- L'état de surface sans couvert a pu se dégrader rapidement, et devenir un peu plus propice aux ruissellements. L'état de surface avant les essais est noté en faciès F2 sur 20 %.
- La porosité est très présente et permet de minimiser les effets de l'état de surface dégradé.



Figure 30 – parcelle de betteraves en travail superficiel à Bornambusc

Avec la première pluie de 58 mm/h sur sol sec, le ruissellement démarre rapidement, avec une phase transitoire assez courte, mais un régime permanent plutôt faible.

Tous ces éléments signent **la présence de zones peu perméables et ruisselantes à côté de zones perméables**. Lors de la seconde pluie sur sol humide, on retrouve la signature de ces zones à laquelle s'ajoutent la dégradation lente du reste de la surface et la saturation progressive de l'épaisseur travaillée.

En bilan, cette parcelle présente toutes les caractéristiques d'un semis peu à moyennement ruisselant.

Avec la première simulation de pluie d'intensité égale à 58 mm/h sur sol initialement sec, la lame ruisselée après 20 mm est de 0.8 mm (soit 4 %). Après 10 mm de cette pluie, la lame ruisselée est de 0.2 mm (soit 2 %).

Avec la seconde pluie simulée sur sol humide, la saturation de la parcelle est atteinte au bout de 25 mn et l'infiltrabilité moyenne à saturation est alors de 25 mm/h. Malgré les caractéristiques pas très favorables de la surface, les résultats sont intéressants et montrent clairement que le travail du sol sur cette placette a permis une nette amélioration des réponses à la pluie.

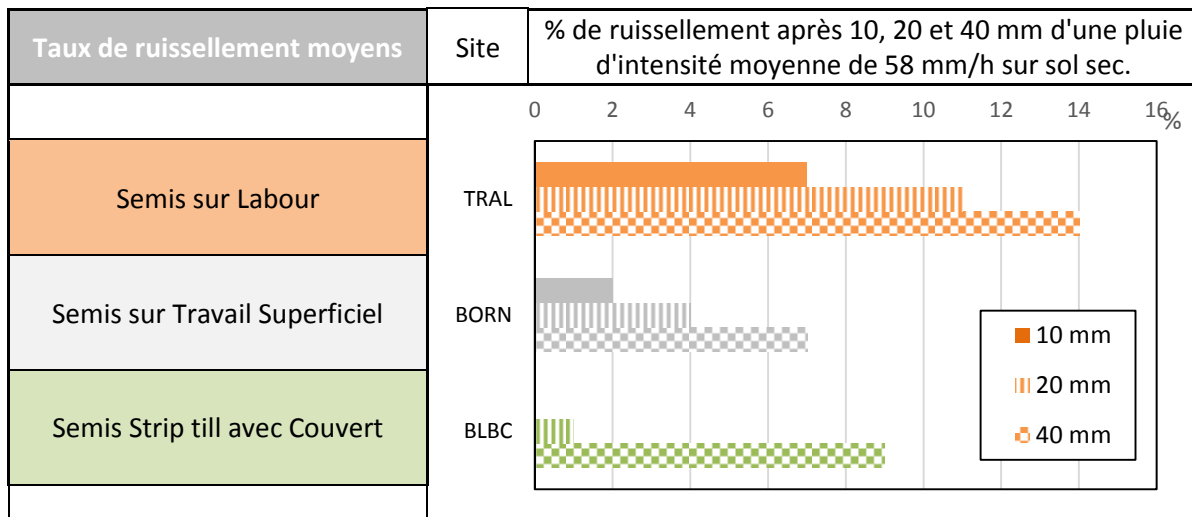


Figure 31 - Comparaison des taux moyens de ruissellement après 10, 20 et 40 mm de pluie simulée avec une intensité moyenne de 58 mm/h sur sol sec en fonction des modes de semis des Betteraves

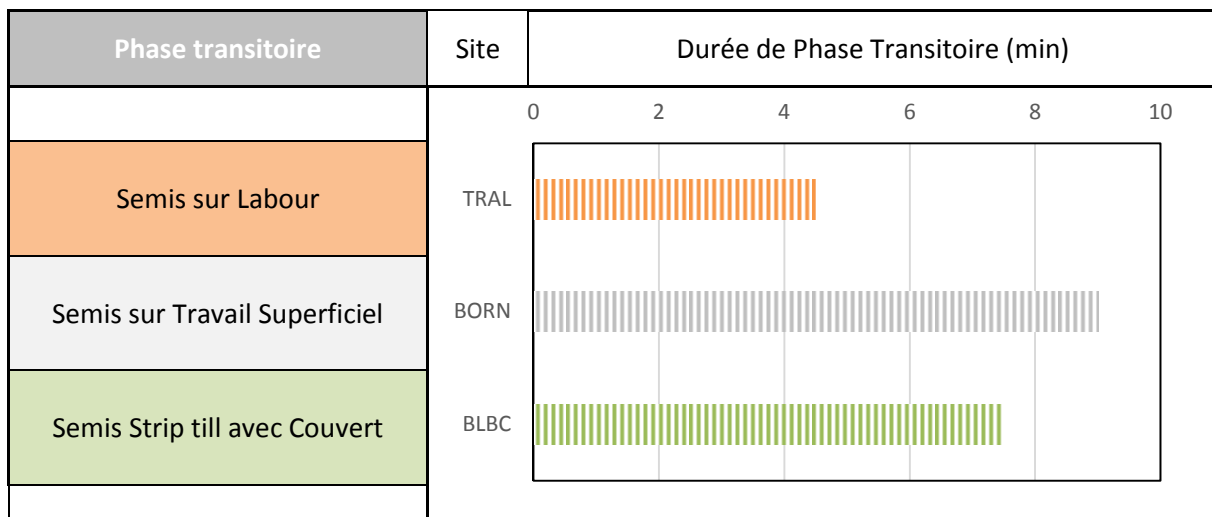


Figure 32 - Comparaison des durées moyennes de la phase transitoire sous pluie simulée avec une intensité moyenne de 58 mm/h sur sol sec en fonction du mode de semis des Betteraves.

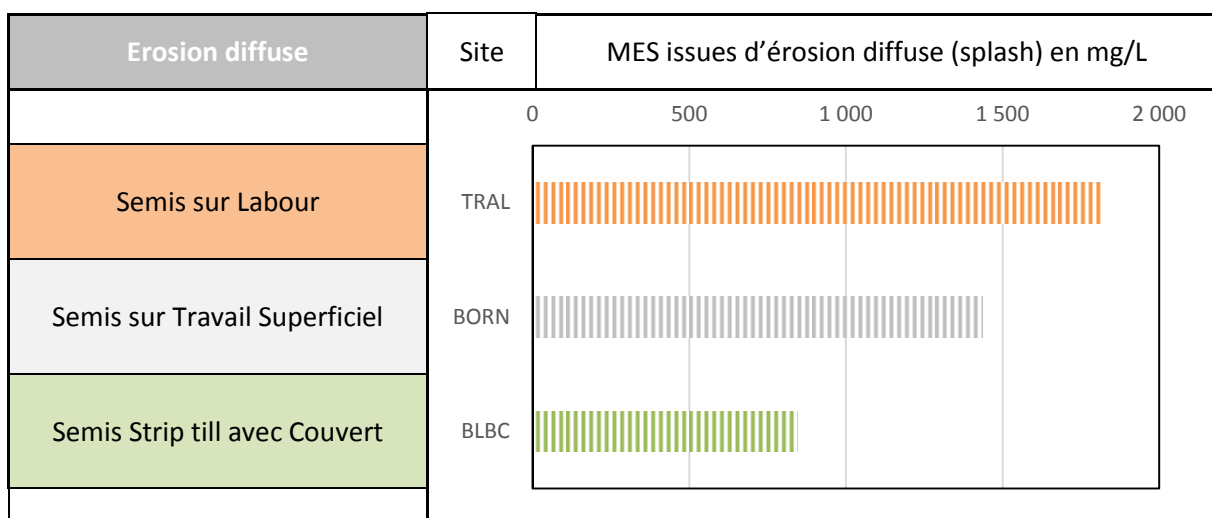


Figure 33 - Comparaison des taux moyens de MES sous les deux pluies simulées en fonction des modes d'implantation des Betteraves.

6.4. Résumé général des principaux résultats au cours de la première pluie

Le tableau N° 21 récapitule les 4 principales caractéristiques des ruissellements moyens. Cela permet de distinguer les 3 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 de la première pluie d'intensité à 58 mm/h sur sol sec.			Durée phase transitoire <i>mn</i>	Infiltrabilité à saturation <i>mm/h</i>	MES Issues d'érosion diffuse (splash) (moyenne sur les deux pluies) <i>mg/l</i>
		10 mm	20 mm	40 mm			
Semis sur labour	TRAL	7	11	14	45	44	1 815
Semis sur Travail Superficiel	BORN	2	4	7	25	50	1 436
Semis Strip till Avec Couvert	BLBC	0	1	9	>50	< 43	845

Tableau 21 - Récapitulatif – moyenne des principales caractéristiques sous pluie simulée d'une intensité moyenne à 58 mm/h sur Betteraves en sol initialement sec, pour chacun des 3 modes d'implantation

Le tableau N° 22 présente les résultats relatifs par rapport à ce type de témoin de semis de blé sur labour.

Résultats généraux moyens	sites	sites	% de ruissellement par rapport au témoin, après x mm de la première pluie d'intensité à 58 mm/h sur sol sec.			Durée phase transitoire <i>mn</i>	Infiltrabilité à saturation <i>mm/h</i>	MES Issues d'érosion diffuse (splash) (moyenne sur les deux pluies) <i>mg/l</i>
			10 mm	20 mm	40 mm			
Semis sur labour	TEMOIN	TRAL	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Semis sur Travail Superficiel		BORN	29 %	36 %	50 %	56 %	114 %	79 %
Semis Strip till Avec Couvert		BLBC	0 %	9 %	64 %	>110 %	< 98 %	47 %

Tableau 22 - Résultats relatifs (%) par rapport au témoin pour les moyennes des principales caractéristiques sous pluie simulée d'une intensité moyenne à 58 mm/h sur Betteraves sur sol initialement sec, pour chacun des 3 modes d'implantation

Ces 2 figures n° 34 et 35 ci-dessous illustrent aussi très bien l'importance de la durée des simulations de pluie sur les résultats et sur leur interprétation.

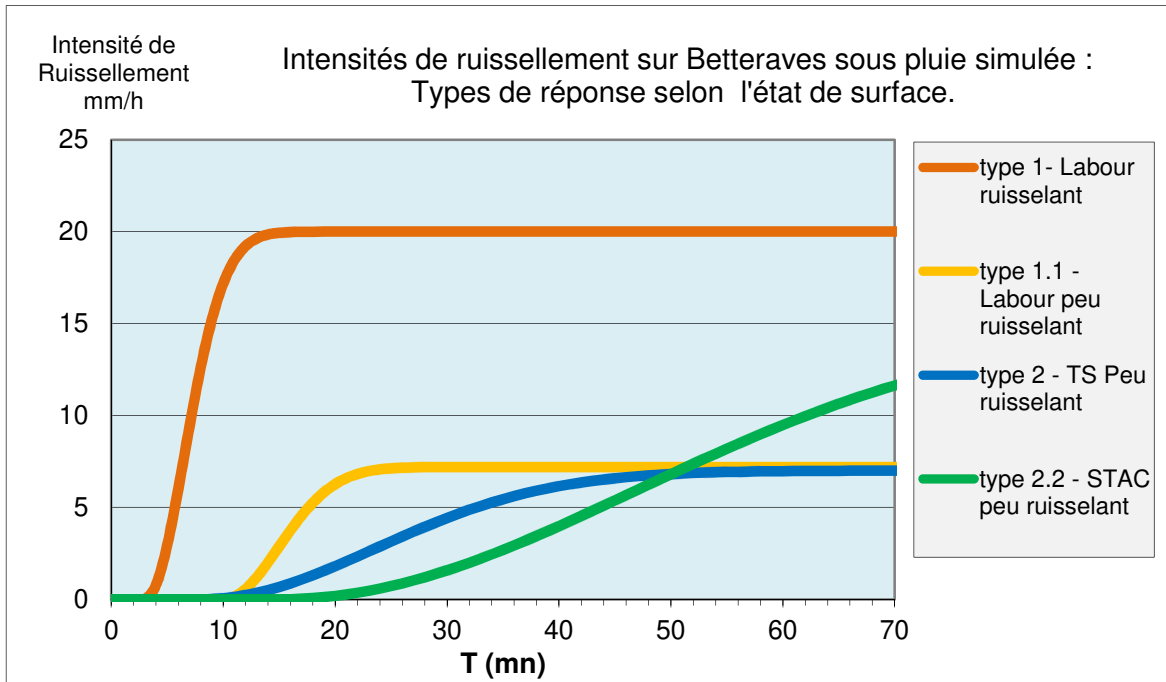


Figure 34 - Courbes types d'évolution des Intensités de Ruissellement sous pluies simulées sur Betteraves en fonction des états de surface.

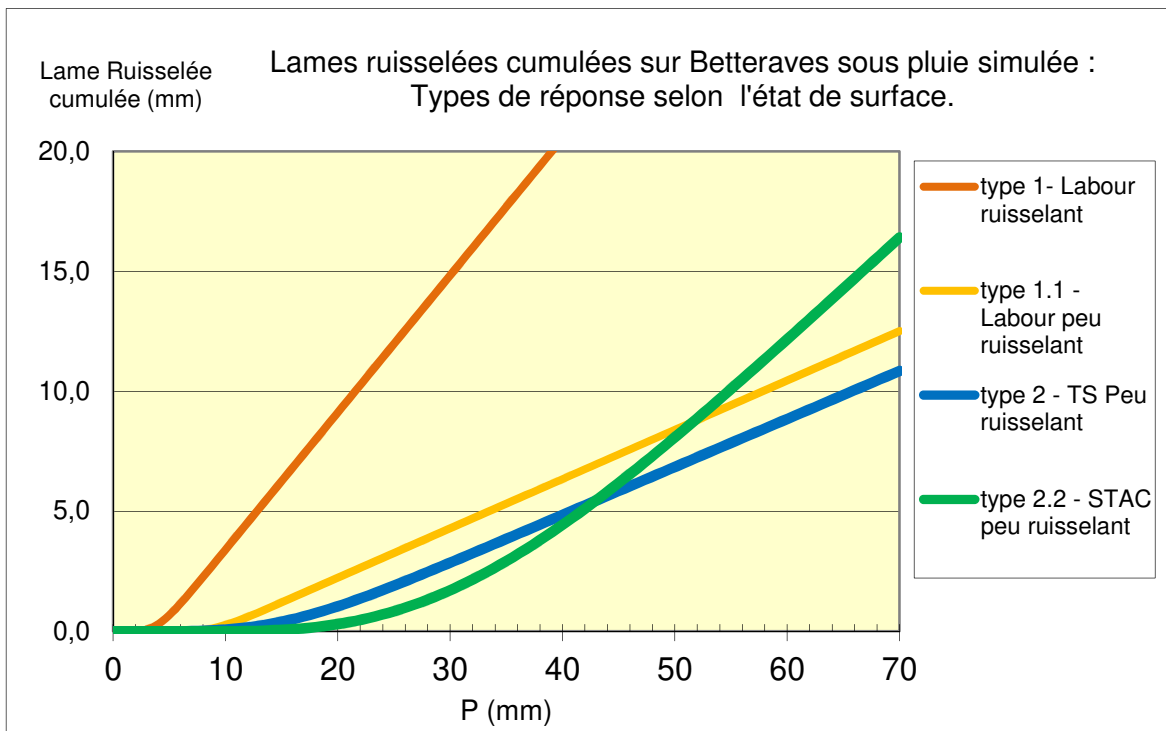


Figure 35 - Courbes types des Lames Ruisselées cumulées sous pluies simulées sur Betteraves en fonction des états de surface

Dans les conditions de réalisation de cette série d'expérimentations en simulation de pluie, les résultats sous la première pluie à 58 mm/h d'intensité sur sol sec permettent d'identifier 3 types de comportement pour lesquels les caractéristiques ont été quantifiées :

- **CAS N° 1 – Le semis après Labour** : Ce cas se caractérise par un ruissellement précoce dont l'intensité croît rapidement (courte durée de phase transitoire, moins de 30 mn) mais une bonne capacité d'infiltration à saturation. Ce type de réponse rapide correspond à tous les états de surface avec une croûte sédimentaire généralisée et sans porosité. L'infiltration à saturation élevée de ce semis provient vraisemblablement du Faciès peu dégradé de la parcelle (F1) associé au taux de MO plus élevé et de l'état motteux qui en découle. La surface contributrice à l'écoulement ne correspond donc pas à l'ensemble de la placette mais aux passages de roues et aux surfaces proches et directement connectées. Les réponses différenciées des deux placettes correspondent à deux zones tassées aux caractéristiques un peu différentes : surface et degré de perméabilité.
- **CAS N° 2 – Le semis après Travail Superficiel** : Ce cas se caractérise par un ruissellement précoce suivi d'une intensité de ruissellement qui croît lentement. Au final, ce cas présente une forte capacité d'infiltration à saturation (plus de 40 mm/h). . Ce type de réponse correspond à un état de surface marqué par la présence de traces de roues, le reste étant perméable et capable de stocker un volume de pluie important en surface, bien qu'ayant peu de résidus.
- **CAS N° 3 – Le Semis au Strip Till Avec Couvert**: Ce type se caractérise par un ruissellement tardif dont l'intensité croît lentement et de façon continue pendant toute l'expérimentation. Finalement la capacité d'infiltration à saturation est longue à obtenir mais atteint une valeur assez faible. Ce type de réponse correspond à des sols re-tassés (naturellement ou pas), avec une forte présence de résidus qui retarde les écoulements (flaques), une porosité verticale existante mais pas suffisante. Cela peut résulter de tassements répétés qui diminuent la capacité d'infiltration en régime permanent.

7. CONCLUSION GENERALE SUR BETTERAVES ET PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Cette série d'expérimentations conduite en pluie simulée sur betteraves au cours du printemps 2015, a permis de quantifier tant les lames ruisselées que les différences de comportement entre les différentes modalités d'implantation des betteraves testées.

Le choix des parcelles et des exploitants a permis d'avoir les 3 principaux types d'Etat de Surface rencontrés pour les semis de betteraves, après labour et sans labour. Ainsi, il a été possible de comparer les résultats pour des parcelles classiques et des parcelles conduites avec des techniques sans labour bien maîtrisées depuis plusieurs années par les exploitants. Ces situations illustrent le potentiel d'infiltration des différentes techniques culturales lorsqu'elles sont correctement mises en œuvre, comme nous le recherchions.

Les résultats obtenus doivent être replacés dans leur contexte.

- Premièrement, le printemps 2015, pendant lequel ces mesures ont été réalisées, n'a pas été très pluvieux, ce qui a conduit à des états de surface fermés, mais avec peu de croutes sédimentaires développées (de 15 à 20 % des surfaces). Les faciès étaient encore assez motteux et au stade des croûtes structurales (faciès F1). A cela s'ajoute la présence importante de mulch pour les semis avec le Strip Till. **Le tout aboutit à des états de surface assez perméables et globalement peu ruisselants.**
- Deuxièmement, les **mesures de printemps** ont été réalisées sur des parcelles en faible pente, avec des betteraves assez développées (# 30 % de couvert) et avec **une activité biologique assez élevée en cette période**, là où elle peut se développer. Les résultats entre répétitions (placettes) présentent une certaine homogénéité.

Dans ces conditions :

- Pour les semis après labour (technique classique), les résultats obtenus reflètent les cas de figure régulièrement observés sur le terrain sur limons battants assez pauvre en matière organique. L'état de surface est encore au stade des croûtes structurales (Faciès F1) et donc assez infiltrant. La réponse hydrologique montre un ruissellement précoce qui croît brutalement jusqu'à une valeur, puis ensuite, le ruissellement est relativement constant pendant toute l'expérimentation. Ce type de réponse confirme les observations, à savoir que c'est essentiellement la trace de roue compactée qui engendre un ruissellement important. Lors de la première pluie, sur sol initialement sec, on observe aussi que l'une des deux répétitions ruisselle 2 fois plus que l'autre, ce qui correspond à la seconde trace de roue plus marquée sur le terrain. L'infiltrabilité moyenne à saturation est encore de 34 mm/h après les deux pluies. Quant à l'arrachement des particules par splash, les concentrations moyennes de MES sur sol sec s'élèvent à 1,55 g/l. Cela représente un taux d'érosion de 33,3 Kg/ha pour une pluie intense de 20 mm.
- Pour le semis en technique de Travail Superficiel sans labour, les états de surface sont similaires à ceux constatés sur labour, avec un peu plus de faciès F2. Mais, les résultats montrent une phase d'imbibition plus longue, puis une augmentation régulière et progressive du ruissellement, pour finir avec une infiltrabilité moyenne à saturation encore élevée de 24 mm/h après les deux pluies. Les concentrations

moyennes de MES sur sol sec s'élèvent à 1,8 g/l, cela représente un taux d'érosion de 14,4 Kg/ha pour une pluie intense de 20 mm.

- Pour les semis au Strip Till Avec Couvert dans l'inter-rang, le comportement observé est encore bien différent. Les résultats montrent une longue phase d'imbibition, puis une augmentation régulière et plus forte du ruissellement, pour finir avec une infiltrabilité moyenne à saturation assez faible de 4 à 20 mm/h après les deux pluies, soit 2 à 10 fois moins que les semis avec travail du sol généralisé en surface. Les concentrations moyennes de MES sur sol sec s'élève à 1,1 g/l. Cela représente un taux d'érosion de 2.7 Kg/ha pour une pluie intense de 20 mm.

Premier Enseignement :

En période culturale à risque, du fait de l'absence de couvert, lorsque la pluie intense tombe sur un sol non saturé (sec), les techniques de semis au strip Till avec couvert et de travail superficiel ont permis de retarder l'apparition des premiers ruissellements. Cela conduit à réduire les flux d'un facteur 2 ou 3 fois et l'érosion diffuse d'un facteur 2, tant que la hauteur de pluie reste inférieure à 40 mm.

Second Enseignement tiré de la deuxième pluie sur sol très humide :

Sous labour, le ruissellement est principalement gouverné par les paramètres d'état de surface : zone tassée, faciès et flaquage. Avec le temps, ces paramètres vont évoluer et avoir tendance à réduire l'infiltration et le flaquage.

Pour les techniques sans labour, on constate une influence principale et supplémentaire des paramètres de perméabilité de la couche de sol superficielle dont la saturation progressive, à mesure que la pluie tombe, conduit à réduire progressivement l'infiltration pendant la pluie. Néanmoins, dans le cas du Strip Till, le mulch en surface permet de conserver sur le long terme une perméabilité assez élevée, du moins pour la première pluie sur sol initialement sec. Dans le cas du travail superficiel, la forte infiltrabilité s'explique par une bonne perméabilité liée au type de croûte de faciès F1.

Troisième Enseignement :

Du point de vue dynamique, deux 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 : présence des traces de roues compactées (labour), porosité de la croûte structurale au stade F1 (semis après travail superficiel) et vers de terre, couverture du sol (Strip Till), la rugosité, le stockage superficiel (TS, Strip Till et labour), la continuité entre les flaques et la capacité d'infiltration sur toute l'épaisseur du labour (tassement et activité biologique en Strip Till).

Pour les cultures en 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 les tassements nuisent beaucoup. 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.

En matière de flaquage, on confirme les résultats obtenus sous blé, il apparaît que la taille et la répartition des flaques en non labour soient différentes : flaques plus vastes et séparées par les paquets de mulch.

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

L'ensemble de ces résultats sont conformes aux résultats de la bibliographie internationale. On constate surtout que les capacités d'infiltration à saturation sur des états de surface peu dégradés au printemps restent à des valeurs moyennes très élevées de 40 à 50 mm/h pour la pluie intense n° 1 sur sol initialement sec, 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 significativement réduite.

Néanmoins, comme avec les céréales en hiver, ces valeurs moyennes cachent en réalité des hétérogénéités de surface, avec des portions du champ aux 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 pour tous les types de semis, qu'ils soient en labour ou en non labour. La condition pour que les coulées de boues soient totalement évitées, est de supprimer ces zones compactées en surface par des mesures efficaces.

Perspectives :

L'objectif était de mesurer les potentiels d'infiltration aux périodes où les risques de ruissellement sont élevés. Les résultats présentés ont permis de conclure sur l'intérêt de ces techniques avec leurs limites. Il pourrait être utile de confirmer ces valeurs à d'autres dates pour avoir d'autres états de surface. Pour cela, un suivi sous pluies naturelles pourrait être mis en œuvre, ou il pourrait être fait d'autres séries de pluies simulées.

Mais, puisque les résultats sont positifs, d'ores et déjà il est judicieux et nécessaire de communiquer sur les résultats obtenus.



Figure 36 - Exemple représentatif de semis de betteraves fait après un travail du sol superficiel et localisé au Strip Till sous couvert de mulch dense de pailles de blé plus résidus d'interculture avec forte porosité sous le couvert (Bolbec 26/05/2015).

Tables des illustrations

Figure 1 - localisation schématique des 11 parcelles testées en Pays de Caux. En jaune celles en Betteraves , et en rouge les parcelles de Blé (source du fond de plan : ViaMichelin.fr).	8
Figure 2 - Exemple d'une installation pour effectuer une mesure précise de l'intensité de pluie délivrée sur la surface exacte d'une placette	10
Figure 3- le simulateur de pluie de l'AREAS en fonctionnement, sans son toit.....	12
Figure 4 - Auget basculeur avec enregistreur et fosse de sortie en aval.....	12
Figure 5 - Exemple d'enregistrement brut de la pluie, du ruissellement et des prélèvements sur une placette de Betteraves en Semis direct sous couvert (SS AC) à Bolbec pendant la succession des 2 phases de la pluie à 55mm/h sur sol sec et à 47 mm/h sur sol humide.....	14
Figure 6- intensités des 2 séries de pluies utilisées sur chaque placette.....	14
Figure 7 - Placette en labour à Trouville-Alliquerville, Intensités de pluie et de ruissellement, Taux de M.E.S.....	16
Figure 8 - Zoom sur la capacité d'infiltration du sol à saturation (mm/h) pour la placette en labour à Trouville-Alliquerville, Intensités de pluie et d'infiltration, Taux de M.E.S.	16
Figure 9 - Lame de ruissellement cumulée (mm) pour la placette en Labour à Trouville-Alliquerville.	17
Figure 10 - Comparaison des teneurs en argile et en Matière Organique	21
Figure 11 - Taux de couvert des parcelles lors des essais en fonction des itinéraires techniques.....	22
Figure 12 - Taux de couvert des parcelles selon les types de couverts lors des essais.....	22
Figure 13 - Courbes d'évolution théorique de la surface des sols battants au printemps en fonction du cumul pluviométrique et selon les itinéraires techniques.....	23
Figure 14 - Planche photos des états de surface des différentes parcelles testées.....	24
Figure 15 - Comparaison des lames ruisselées cumulées de pluie en fonction de la hauteur de pluie précipitée pour les 2 pluies à 58 et 54 mm/h sur sol sec puis humide, et pour chaque mode d'implantation des betteraves.....	30
Figure 16 – Zoom sur les lames ruisselées cumulées pendant 40 mn de pluie en fonction de la hauteur de pluie précipitée pour la pluie sur sol sec à 58 mm/h, et pour chaque mode d'implantation des betteraves.....	31
Figure 17 - Comparaison des lames ruisselées après 20 et 40 mm de pluie pour la première pluie sur sol sec à 58 mm/h en fonction des modes d'implantation des betteraves.	34
Figure 18 - Comparaison des coefficients de ruissellement pour des hauteurs de 10 à 40 mm de pluie des deux pluies intenses successives en fonction des modes d'implantation des betteraves.	36
Figure 19 - Comparaison de toutes les courbes de réponse sur Betteraves pour les 2 intensités de pluie sur les 2 niveaux d'humidité initiale.	38
Figure 20 - Comparaison des pertes initiales (mm) pendant la phase d'imbibition pour les parcelles en betteraves et les premières pluies d'intensité moyenne de 58 mm/h	40
Figure 21 - Comparaison des pertes initiales (mm) pendant la phase d'imbibition pour les parcelles en betteraves et les deux pluies d'intensité moyenne de 48 mm/h	40
Figure 22 - Comparaison des courbes d'infiltration sur Betteraves avec la 1 ^{ère} pluie de 58 mm/h de moyenne sur sol sec.....	42
Figure 23 - Comparaison des courbes d'infiltration sur Betteraves avec la 2 nd pluie de 54 mm/h de moyenne sur sol humide.....	42
Figure 24 - Comparaison des intensités moyennes de ruissellement (mm/h) pendant le régime permanent lors des 2 pluies à 58 et 54 mm/h en fonction des modes d'implantation des betteraves....	44
Figure 25 - Comparaison des intensités moyennes d'infiltration (mm/h) pendant le régime permanent lors des 2 pluies à 58 et 54 mm/h en fonction des modes d'implantation des betteraves et de l'humidité initiale.....	48
Figure 26- Concentration moyenne en MES (mg/l) dans les ruissellements pour les 2 pluies à 58 et 54 mm/h, et pour chaque mode d'implantation des betteraves et de l'humidité initiale.	53
Figure 27 - Dynamique de l'évolution des concentrations en MES (g/l) dans chaque ruissellement pour les 2 pluies à 58 et 54 mm/h, et pour chaque mode d'implantation des Betteraves.....	55

Figure 28 - placette de Trouville-Alliquerville en Labour	57
Figure 29 - Parcelle de betteraves en Semis au Strip Till Avec Couvert de Bolbec	58
Figure 30 – parcelle de betteraves en travail superficiel à Bornambusc	60
Figure 31 - Comparaison des taux moyens de ruissellement après 10, 20 et 40 mm de pluie simulée avec une intensité moyenne de 58 mm/h sur sol sec en fonction des modes de semis des Betteraves .	61
Figure 32 - Comparaison des durées moyennes de la phase transitoire sous pluie simulée avec une intensité moyenne de 58 mm/h sur sol sec en fonction du mode de semis des Betteraves.	61
Figure 33 - Comparaison des taux moyens de MES sous les deux pluies simulées en fonction des modes d'implantation des Betteraves.....	61
Figure 34 - Courbes types d'évolution des Intensités de Ruissellement sous pluies simulées sur Betteraves en fonction des états de surface.	63
<i>Figure 35 - Courbes types des Lames Ruisselées cumulées sous pluies simulées sur Betteraves en fonction des états de surface</i>	<i>63</i>
Figure 36 - Exemple représentatif de semis de betteraves fait après un travail du sol superficiel et localisé au Strip Till sous couvert de mulch dense de pailles de blé plus résidus d'interculture avec forte porosité sous le couvert (Bolbec 26/05/2015).....	67
Tableau 1 - Localisation des 11 sites expérimentaux.....	8
Tableau 2 - Liste des communes où les simulations de pluies ont été réalisées.....	9
Tableau 3 - Résumé des principales caractéristiques des parcelles testées	18
Tableau 4 - Dénomination des 6 placettes expérimentales sous betteraves.	19
Tableau 5 - Dénomination des 6 placettes expérimentales sous betteraves et caractéristiques des pluies appliquées.....	20
Tableau 6 - Etats de surface des Betteraves le jour de l'expérimentation - Résumé des points remarquables des parcelles testées.	25
Tableau 7 - Eléments clés des parcelles dans les processus d'infiltration et de ruissellement le jour des expérimentations	27
Tableau 8 - Synthèse de l'ensemble des résultats sur Betteraves.....	28
Tableau 9 - Lame ruisselée (mm) sur Betteraves sous un cumul de pluie de 10 à 40 mm, pour chaque type de technique d'implantation et la pluie simulée n°1 à 58 mm/h sur sol sec.....	35
Tableau 10 - Lame ruisselée (mm) sur Betteraves sous un cumul de pluie de 10 à 40 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée n°2 à 54 mm/h sur sol humide.	35
Tableau 11 - Lame ruisselée (mm) sur Betteraves sous un cumul de pluie de 20 mm, pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.	37
Tableau 12 - Hauteur des pluies d'imbibition (mm) sur Betteraves pour chaque type de technique et répétition.....	41
Tableau 13 - Pluies d'imbibition moyenne (mm) sur Betteraves par modalité d'implantation.	41
Tableau 14 - Intensité de ruissellement à saturation en régime constant (mn/h) sur Betteraves pour chaque placette de chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée. NA = non atteint...	45
Tableau 15 - Résumé Intensités moyennes de ruissellement à saturation en régime constant (mn) sur Betteraves pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.....	47
Tableau 16 - Infiltrabilité moyenne à saturation en régime constant (mn/h) sur Betteraves pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée. NA= non atteint.	50
Tableau 17 - Infiltrabilité moyenne à saturation en régime constant (mn) sur Betteraves pour chaque type de technique d'implantation et de pluie simulée.	52
Tableau 18 - Teneur moyenne en MES (mg/l) dans chaque lame ruisselée sur Betteraves, par expérimentation et pour chaque pluie simulée.	54
Tableau 19 - Teneur moyenne en MES (mg/l) dans chaque lame ruisselée sur Betteraves, pour chaque type de technique d'implantation plus ou moins ruisselante et de l'humidité initiale.....	54
Tableau 20 - Taux d'érosion sur Betteraves sous un cumul de pluie de 20 mm, pour chaque type de technique d'implantation et d'humidité initiale.	56
Tableau 21 - Récapitulatif – moyenne des principales caractéristiques sous pluie simulée d'une intensité moyenne à 58 mm/h sur Betteraves en sol initialement sec, pour chacun des 3 modes d'implantation	62

Tableau 22 - Résultats relatifs (%) par rapport au témoin pour les moyennes des principales caractéristiques sous pluie simulée d'une intensité moyenne à 58 mm/h sur Betteraves sur sol initialement sec, pour chacun des 3 modes d'implantation..... 62

