Culture suivie :	interculture	**Essai mis en place par :**	CA 76
Date :	7 et 8 février 2005	**Simulation effectuée par :**	AREAS, CA 76

Objectif de l'essai : lutte contre le ruissellement des intercultures longues, évaluation des flux d'herbicide

Modalités comparées : chaume de blé / moutarde sur un déchaumage

I. Description

A. Caractéristiques du site

Région naturelle :	Pays de Caux	**Sol :**	limon moyen
Commune :	Fresquiennes	**Sable grossier :**	2,0 %
Agriculteur :	Jean Mallet	**Sable fin :**	15,8 %
Coordonnées	X = 504600	**Limon grossier :**	44,1 %
(Lambert II) :	Y = 2508400	**Limon fin :**	25,1 %
	Z = 145	**Argile :**	11,0 %
		MO :	1,9 %
		pH :	6,3
		Pente :	2,8 à 3,2 %

succession culturale :

année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
récolte	escourg.	colza	blé	pois	blé	escourg.	lin	blé

B. Modalités comparées et protocole expérimental

Première modalité : le chantier de récolte de blé n'est pas travaillé, les adventices sont détruites chimiquement au glyphosate le 24 novembre, avec une dose de 3 L/ha.

Seconde modalité : le chantier de récolte de blé est déchaumé et la moutarde est semée à la volée le 6 septembre, puis le 24 novembre la même dose de glyphosate est appliquée. Malgré ce traitement, le 7 février, les moutardes étaient encore vertes et mesuraient environ 50 cm.

En plus du dispositif classique de mesure de ruissellement, un bac accumulateur permet d'échantillonner l'eau ruisselée pour analyse. Ont été dosés :

- le glyphosate et son métabolite l'AMPA sur eau brute (échantillon entier),
- la quantité de matière en suspension (MES),

Les placettes ont été soumises à une pluie de 33 mm/h pendant une durée de 42 à 59 minutes. Parallèlement à l'enregistrement du ruissellement, deux échantillons ont été prélevés. Un premier échantillon provient du bac accumulateur rempli avec les eaux ruisselées au cours des 15 premières minutes de la pluie artificielle. Le second échantillon est un prélèvement ponctuel : il s'agit de l'eau de ruissellement qui coulait à la 52ème minute de la pluie artificielle[1].

[1] sauf pour le second essai de la modalité moutarde (M2) dont la pluie n'a duré que 42 minutes.

essai réalisé grâce au soutien financier de :

L'expérimentation a lieu sur les placettes installées au mois de septembre par la Chambre d'agriculture de la Seine-Maritime pour les mesures sous pluie naturelle. Ainsi, les perturbations du milieu liées à la pose des bordures de la placette et à l'installation du système de recueillement du ruissellement ont été stabilisées par les pluies naturelles, et n'ont pas ajouté de MES d'origine artificielle aux eaux de ruissellement.

C. État lors de la simulation

Les pluies artificielles ont eu lieu par temps beau, sec, sans vent. La parcelle a reçu 198 mm de pluie depuis l'installation du site de mesures mi-novembre. Les figures suivantes montrent des vues de détail des états de surfaces des deux modalités.

Figure 1 : modalité chaume, vue de détail, photo du 7 février 2005

Figure 2 : modalité moutarde, vue de détail, photo du 8 février 2005

II. Résultats

A. présentation synthétique des résultats

Dans ce qui suit, les essais C1 et C2 sont respectivement les essais 1 et 2 de la modalité *chaume*, et les essais M1 et M2 désignent respectivement les essais 1 et 2 de la modalité *moutarde*.

Le Tableau 1 et la Figure 3 présentent l'aspect quantitatif des quatre essais réalisés : quantité d'eau écoulée, vitesses d'infiltration, etc. Les tableaux et figures suivantes présentent les résultats des analyses de qualité : le Tableau 2 et la Figure 4 concernent le premier prélèvement, le Tableau 3 précise le second prélèvement.

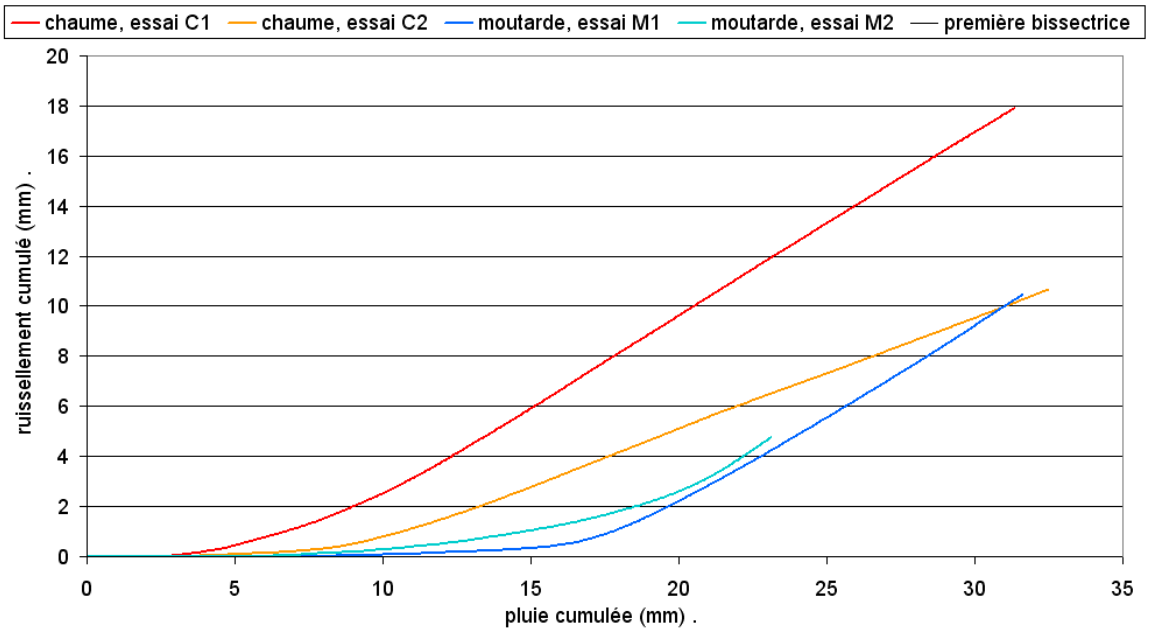


Figure 3 : ruissellement cumulé des différents essais en fonction de la pluie cumulée, sous une pluie artificielle de 33 mm/h.

Tableau 1 : synthèse des résultats quantitatifs

	C1	C2	M1	M2
Intensité de la pluie (mm/h)[2]	33	33	33	33
Durée de la pluie (minutes)	57,0	59,0	57,5	42,0
Quantité totale de pluie (mm)	31	32	32	23
Pluie d'imbibition (mm)	2,7	3,1	7,6	5,9
Régime stationnaire atteint ?	Oui	Oui	Oui	Non
Pluie avant le régime stationnaire (mm)	12	14	26	(> 23)
Intensité du ruissellement en régime stationnaire (mm/h)	24	15	25	(> 26)
Infiltration en régime stationnaire (mm/h)	9	18	8	(≤ 7)
Ruissellement cumulé après 23 mm de pluie en 42 minutes (mm)	12,0	6,5	4,3	4,8
Ruissellement total (mm)	19,1	11,5	12,3	6,7

définitions *:*
- *Pluie d'imbibition* : pluie nécessaire depuis le début de la simulation pour observer le début du ruissellement ;
- *Pluie avant le régime stationnaire* : pluie nécessaire depuis le début de la simulation pour observer un régime stationnaire ;
- *Ruissellement cumulé après 23 mm de pluie en 42 minutes* : volume ruisselé cumulé après 42 minutes de fonctionnement du simulateur de pluie.

[2] l'intensité de la pluie a une précision de quelques millimètres par heure, voir III.B.2 page 14.

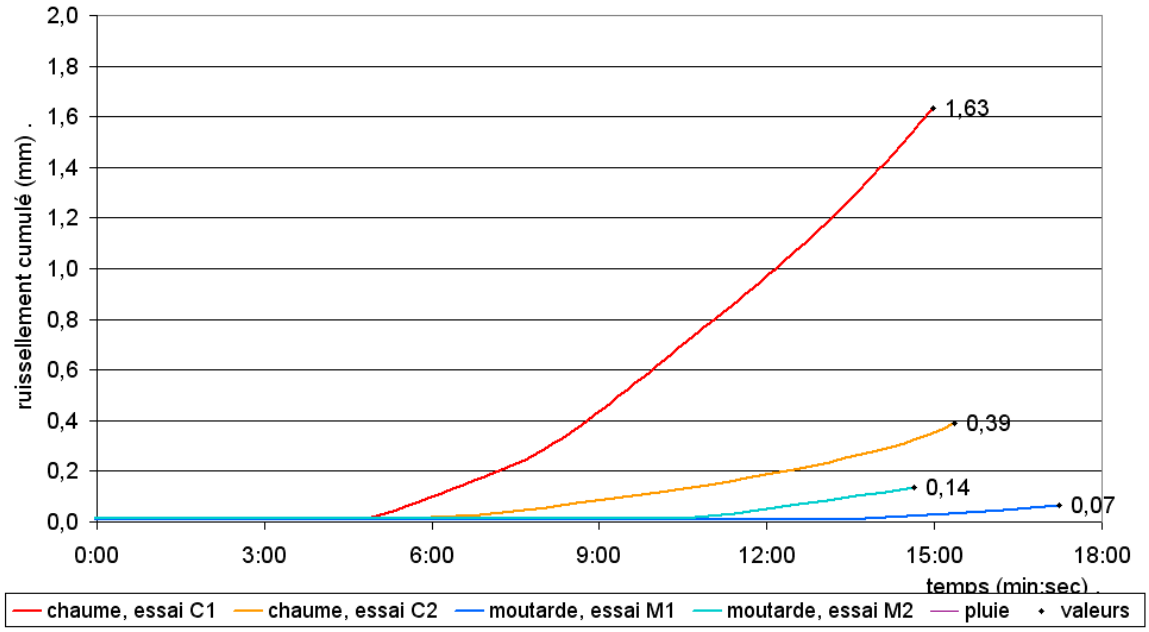


Figure 4 : ruissellement cumulé au cours du premier prélèvement

Tableau 2 : synthèse des résultats qualitatifs du premier prélèvement, échantillon du ruissellement cumulé sur un quart d'heure de pluie (analyses sur eau brute)

	C1	C2	M1	M2
Durée du premier prélèvement (min:sec)	15:00	15:28	17:30	15:00
Pluie cumulée (mm)	8,2	8,5	9,7	8,2
Ruissellement cumulé (mm)	1,63	0,39	0,07	0,14
Coefficient de ruissellement	19,9 %	3,3 %	0,7 %	1,7 %
concentration en MES (mg/l)[3]	843	354	--	391
MES exportée (g/m²)	1,37	0,138	--	0,0547
concentration en glyphosate (µg/l)	3,5	1,7	0,45	0,64
glyphosate exporté (µg/m²)	5,7	0,66	0,032	0,090
concentration en AMPA (µg/l)	6,2	4,3	1,4	1,6
AMPA exporté (µg/m²)	10	1,7	0,098	0,22

[3] le volume ruisselé sur l'essai M1 fut trop faible pour permettre une mesure de MES

Tableau 3 : synthèse des résultats qualitatifs du second prélèvement, échantillon instantané en fin de pluie (sur eau brute)

	C1	C2	M1	M2
Date du second prélèvement (min:sec)	52:00	52:00	52:00	42:00
Pluie cumulée (mm)	28,6	28,6	28,6	23,1
intensité de la pluie (mm/h)	33	33	33	33
intensité instantanée du ruissellement (mm/h)	23,8	14,8	23,7	26,9
concentration en MES (mg/l)	184	108	218	229
flux spécifique de MES (mg/m²/s)	1,22	0,444	1,44	1,71
concentration en glyphosate (µg/l)	0,81	0,68	0,44	0,53
flux spécifique de glyphosate (pg/m²/s)	5,36	2,80	2,90	3,96
concentration en AMPA (µg/l)	2,4	2,5	1,7	1,6
flux spécifique d'AMPA (pg/m²/s)	15,7	10,3	11,2	12,0

B. Modalité *chaume*, essai 1

La placette mesure 5,0 m par 1,5 m, porte sur une demi largeur d'outil, et comporte une trace de roue. La pente vaut 3,2 %. Cet essai est noté C1.

1. *État de surface au cours de l'essai*

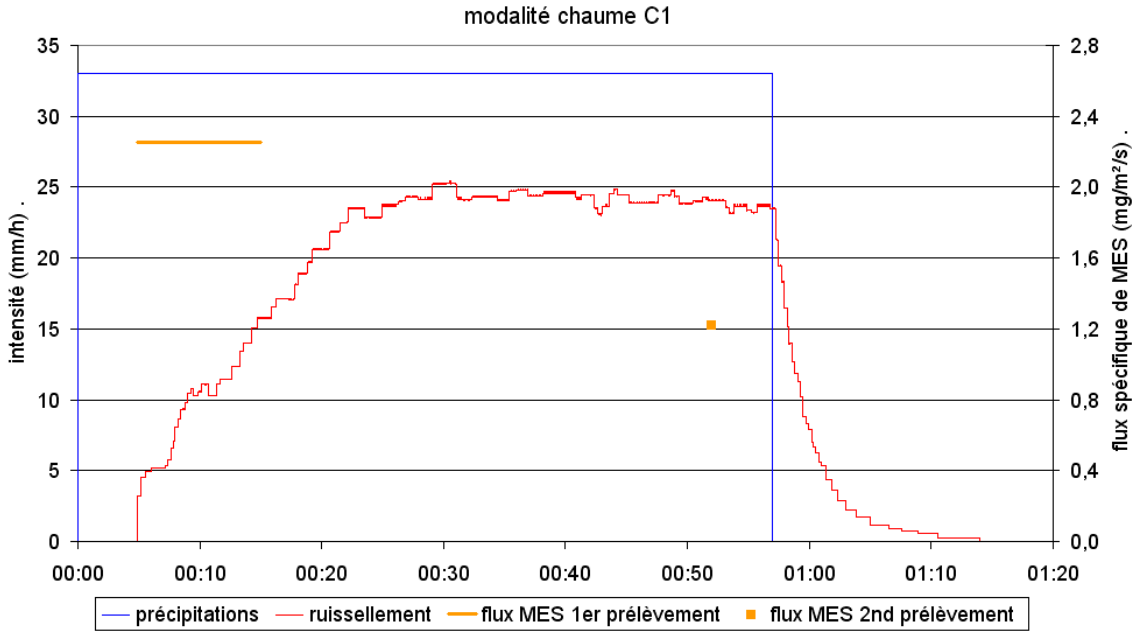
		Avant la pluie artificielle	Après la pluie artificielle
Développement de la croûte de battance		F2	Idem
Macroporosité		peu de macroporosité en dehors des chaumes en place, pas de fissures	Idem
Rugosité		R0	Idem
Couvert végétal		chaumes et adventices : 30 % mousse : 20 à 30 % CV total : 50 à 60 %	Idem
Humidité pondérale	0 – 2 cm	30,1 %	34,2 %
	9 – 11 cm	27,7 %	28,1 %
	24 – 26 cm	27,9 %	32,3 %

Les adventices ont bien été tuées par l'herbicide.

Figure 5 : modalité chaume, essai 1, le 7 février 2005 avant la pluie

Figure 6 : modalité chaume, essai 1, le 7 février 2005 après la pluie

2. *Enregistrement*



Durée de la pluie (minutes)	57,0	Durée du premier prélèvement (min:sec)	15:00
Quantité totale de pluie (mm)	31	Pluie cumulée au cours du premier prélèvement (mm)	8,2
Pluie d'imbibition (mm)	2,7	Ruissellement cumulé au cours du premier prélèvement (mm)	1,63
Régime stationnaire atteint ?	Oui	Date du second prélèvement (min:sec)	52:00
Pluie avant le régime stationnaire (mm)	12	Intensité du ruissellement lors du second prélèvement (mm/h)	23,8
Intensité du ruissellement en régime stationnaire (mm/h)	24		
Infiltration en régime stationnaire (mm/h)	9	Ruissellement cumulé après 23 mm de pluie en 42 minutes (mm)	12,0

C. Modalité *chaume*, essai 2

La placette mesure 5,4 m par 1,5 m, dans l'alignement du premier. Elle porte donc également sur une demi largeur d'outil, et comporte une trace de roue. La pente vaut 2,8 %. Cet essai est noté C2.

1. *État de surface au cours de l'essai*

		Avant la pluie artificielle	Après la pluie artificielle
Développement de la croûte de battance		F2	Idem
Macroporosité		peu de macroporosité en dehors des chaumes en place, pas de fissures	Idem
Rugosité		R0	Idem
Couvert végétal		chaumes et adventices : 30 % mousse : 20 à 30 % CV total : 50 à 60 %	Idem
Humidité pondérale	0 – 2 cm	31,0 %	35,7 %
	9 – 11 cm	28,5 %	28,6 %
	24 – 26 cm	27,6 %	28,3 %

Les adventices ont bien été tuées par l'herbicide.

Figure 7 : modalité, essai 2, le 7février avant la pluie

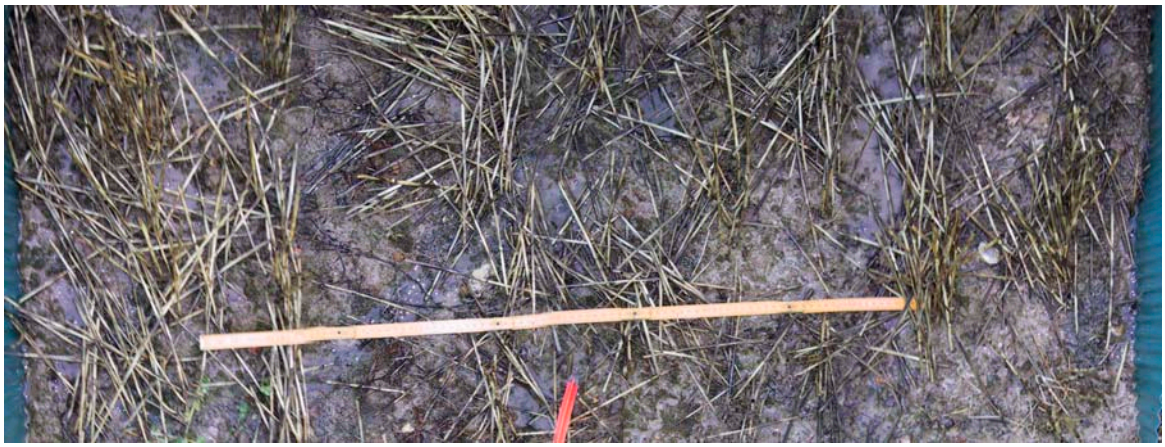
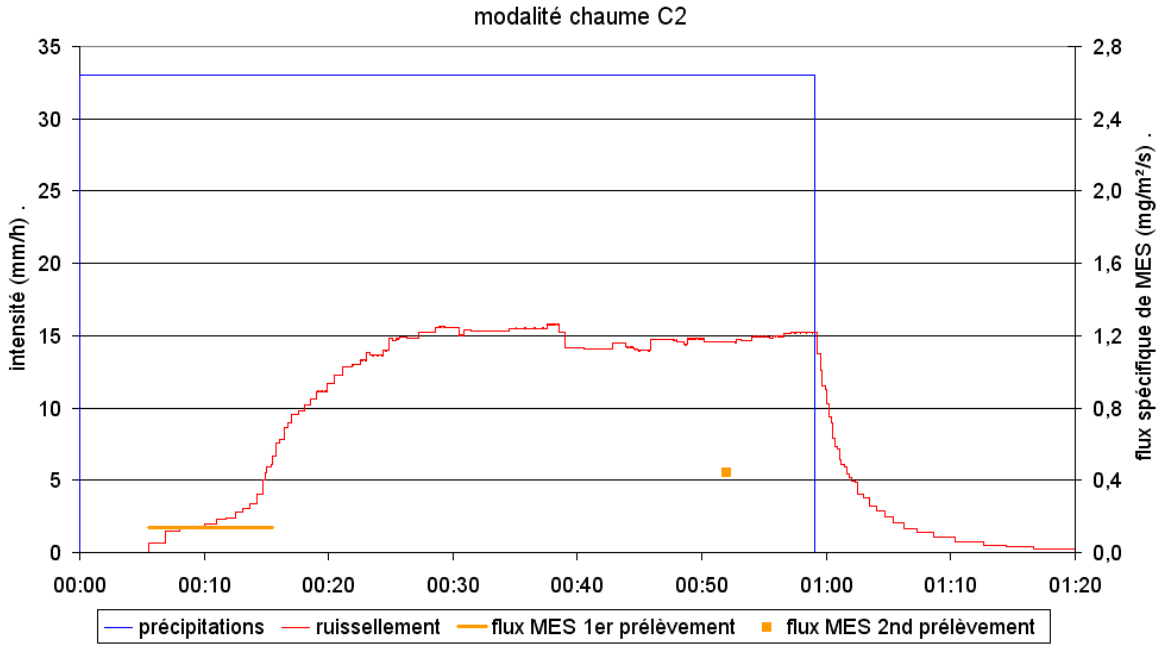


Figure 8 : modalité, essai 2, le 7 février après la pluie

2. *Enregistrement*



Durée de la pluie (minutes)	59,0	Durée du premier prélèvement (min:sec)	15:28
Quantité totale de pluie (mm)	32	Pluie cumulée au cours du premier prélèvement (mm)	8,6
Pluie d'imbibition (mm)	3,1	Ruissellement cumulé au cours du premier prélèvement (mm)	0,39
Régime stationnaire atteint ?	Oui	Date du second prélèvement (min:sec)	52:00
Pluie avant le régime stationnaire (mm)	14	Intensité du ruissellement lors du second prélèvement (mm/h)	14,8
Intensité du ruissellement en régime stationnaire (mm/h)	15		
Infiltration en régime stationnaire (mm/h)	18	Ruissellement cumulé après 23 mm de pluie en 42 minutes (mm)	6,5

D. Modalité *moutarde*, essai 1

La placette mesure 5,4 m par 1,5 m, porte sur une demi largeur d'outil, et comporte une trace de roue. La pente vaut 3,3 %. Cet essai est noté M1.

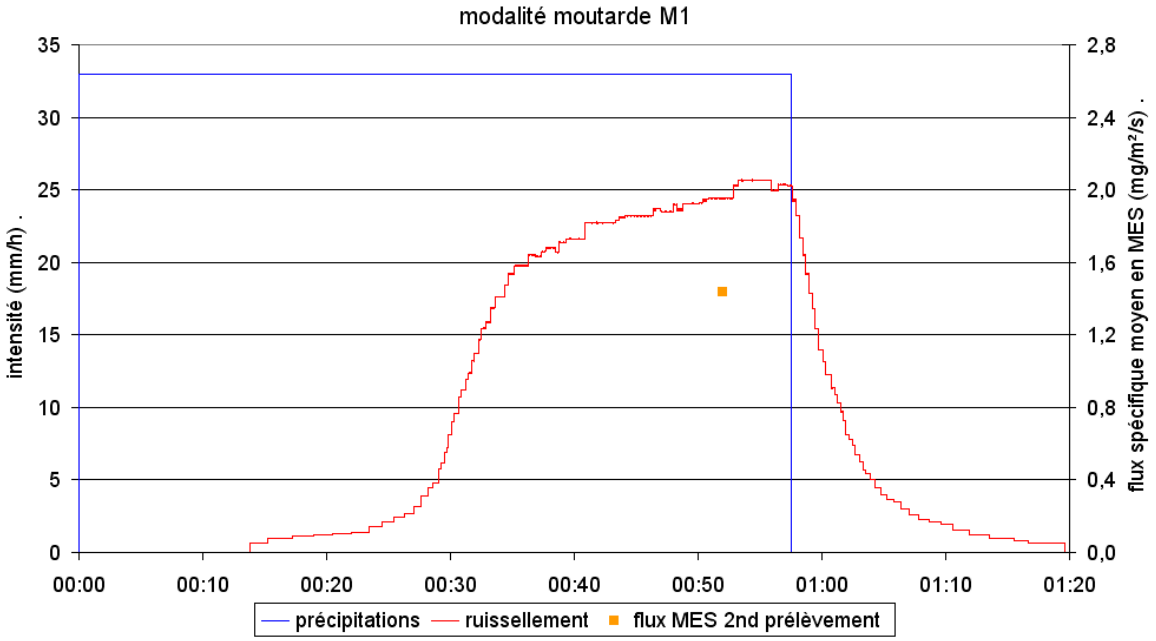
1. *État de surface au cours de l'essai*

		Avant la pluie artificielle	Après la pluie artificielle
Développement de la croûte de battance		F1 sur ¾ de la surface, F12 sur les zones basses (traces de roue)	Idem
Macroporosité		Forte sur le F1, nulle sur le F12	Idem
Rugosité		R1-R2	Idem
Couvert végétal		Moutarde : 20 % Moutarde + chaumes + mousse : 40 %	Idem
Humidité pondérale	0 – 2 cm	32,0 %	36,2 %
	9 – 11 cm	27,7 %	30,6 %
	24 – 26 cm	25,8 %	29,9 %

Figure 9 : modalité moutarde, essai 1, le 8 février avant la pluie

Figure 10 : modalité moutarde, essai 1, le 8 février après la pluie, pieds de moutarde coupés

2. *Enregistrement*



Durée de la pluie (minutes)	57,5	Durée du premier prélèvement (min:sec)	17:30
Quantité totale de pluie (mm)	32	Pluie cumulée au cours du premier prélèvement (mm)	9,7
Pluie d'imbibition (mm)	7,6	Ruissellement cumulé au cours du premier prélèvement (mm)	0,07
Régime stationnaire atteint ?	Oui	Date du second prélèvement (min:sec)	52:00
Pluie avant le régime stationnaire (mm)	26	Intensité du ruissellement lors du second prélèvement (mm/h)	23,7
Intensité du ruissellement en régime stationnaire (mm/h)	25		
Infiltration en régime stationnaire (mm/h)	8	Ruissellement cumulé après 29 mm de pluie en 42 minutes (mm)	4,3

E. Modalité *moutarde*, essai 2

La placette mesure 5,55 m par 1,5 m, porte sur une demi largeur d'outil, et comporte une trace de roue. La pente vaut 2,8 %. Cet essai est noté M2.

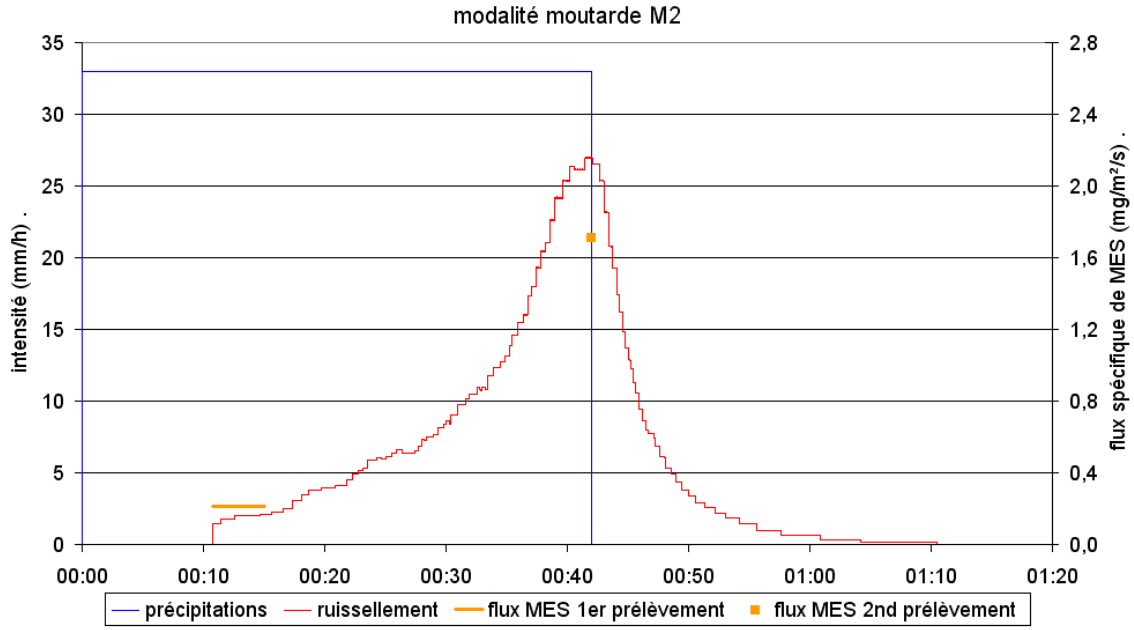
1. *État de surface au cours de l'essai*

		Avant la pluie artificielle	Après la pluie artificielle
Développement de la croûte de battance		F1 sur ¾ de la surface, F12 sur les zones basses (traces de roue)	Idem
Macroporosité		Forte sur le F1, nulle sur le F12	Idem
Rugosité		R1-R2	Idem
Couvert végétal		Moutarde : 30 % Moutarde + chaumes + mousse : 40 %	Idem
Humidité pondérale	0 – 2 cm	32,2 %	39,0 %
	9 – 11 cm	28,0 %	28,6 %
	24 – 26 cm	26,8 %	32,2 %

Figure 11 : modalité moutarde, essai 1, le 8 février avant la pluie

Figure 12 : modalité, essai 1, le 8 février après la pluie, pieds de moutarde coupés

2. *Enregistrement*



Durée de la pluie (minutes)	42,0	Durée du premier prélèvement (min:sec)	15:00
Quantité totale de pluie (mm)	23	Pluie cumulée au cours du premier prélèvement (mm)	10,2
Pluie d'imbibition (mm)	5,9	Ruissellement cumulé au cours du premier prélèvement (mm)	0,14
Régime stationnaire atteint ?	Non	Date du second prélèvement (min:sec)	42:00
Pluie avant le régime stationnaire (mm)	(> 23)	Intensité du ruissellement lors du second prélèvement (mm/h)	26,9
Intensité du ruissellement en régime stationnaire (mm/h)	(> 26)		
Infiltration en régime stationnaire (mm/h)	(< 7)	Ruissellement cumulé après 29 mm de pluie en 42 minutes (mm)	4,8

III. Analyse et commentaire

A. protocole expérimental

Les choix concernant les modalités d'échantillonnage ont amené quelques difficultés :

- la durée de la pluie pour le premier prélèvement aurait dû être calée sur la placette connue pour être la moins ruisselante, de façon à être sûr d'avoir un volume ruisselé suffisant pour les échantillons dans chacune des quatre placettes ;
- pour que le premier prélèvement soit tout à fait comparable à une analyse de ruissellement issu de pluies naturelles, il aurait fallu arrêter la pluie artificielle, et attendre la fin du ruissellement avant de réaliser le prélèvement ;
- les disponibilités des expérimentateurs et de l'agriculteur au cours de l'expérimentation furent telles que l'on se trouva à manquer d'eau pour atteindre la saturation sur la modalité M2.

B. Qualité des enregistrements

1. mesure du ruissellement

Cet essai ayant profité des placettes mises en place par la Chambre d'agriculture au mois de novembre, aucun problème de métrologie n'est à déplorer. La seule intervention sur les placettes a été de réduire leur longueur de 10 à 5,5 m, garantissant ainsi un minimum de perturbation de la surface des placettes, et donc la fiabilité des mesures de qualité de l'eau de ruissellement.

2. pluie artificielle

L'étude du simulateur en conditions contrôlées au cours de l'été 2005 a permis de montrer la grande influence du vent sur la répartition spatiale des intensités. Les mesures faites à Fresquiennes étant antérieures, l'intensité globale dans les conditions de vent de l'expérimentation n'a pas été mesurée. L'intensité moyenne théorique délivrée par le simulateur est de 33 mm/h, mais il est difficile d'évaluer *a posteriori* l'incertitude de cette valeur pour les conditions expérimentales des 7 et 8 février 2005. Elle est probablement de quelques millimètres par heure.

C. La modalité « chaume »

Les deux placettes ont des réponses tout à fait similaires : pluies d'imbibition et pluies nécessaires pour atteindre le régime stationnaire sont proches. Cependant, les infiltrations en régime stationnaire sont sensiblement différentes : 9 mm/h dans un cas, et 18 mm/h dans l'autre, bien que rien ne distingue les états de surface, et que les pentes ne soient différentes que de 0,4 %.

Néanmoins, la hiérarchie des lames ruisselées est conforme aux observations sous pluie naturelle.

D. La modalité « moutarde sur déchaumage »

Les deux placettes ont des réponses tout à fait similaires.

On note que après une demi-heure de pluie, soit 17 mm d'une pluie très intense (33 mm/h), surtout pour une période hivernale, le ruissellement est plus faible sur la modalité moutarde (Figure 3, page 3) : au plus 1,5 mm sur la modalité moutarde contre au moins 3,7 mm sur la modalité chaume. La première partie de ce graphique est parfaitement cohérente avec les mesures effectuées sur ces mêmes placettes sous pluie naturelle entre novembre et février.

Cependant, après 42 minutes de pluie à 33 mm/h, lorsque les placettes ont atteint un régime stationnaire ou s'en approchent, la hiérarchie des intensités de ruissellement est différente. Bien que les lames ruisselées restent plus fortes sur la modalité chaume (Figure 13), les essais C1, M1 et M2 sont au delà de 23 mm/h de ruissellement, soit des infiltrations proches et toutes inférieures à 10 mm/h (Figure 14), et seule la répétition C2 ruisselle un peu moins, avec une infiltration de 18 mm/h.

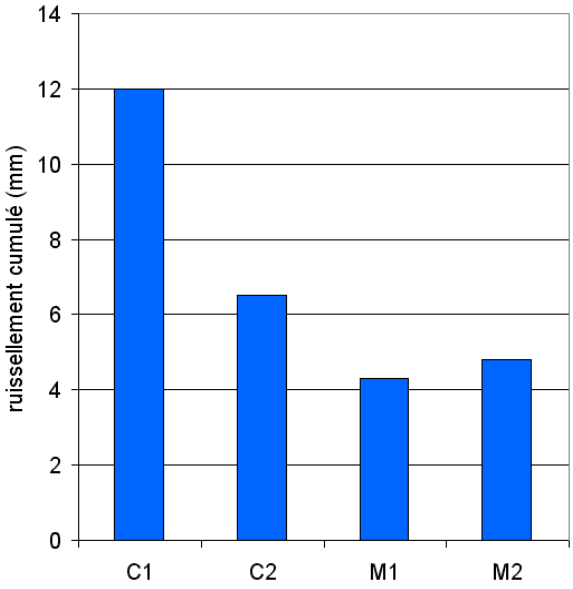


Figure 13 : lames ruisselées par chaque placette après 23 mm de pluie en 42 minutes

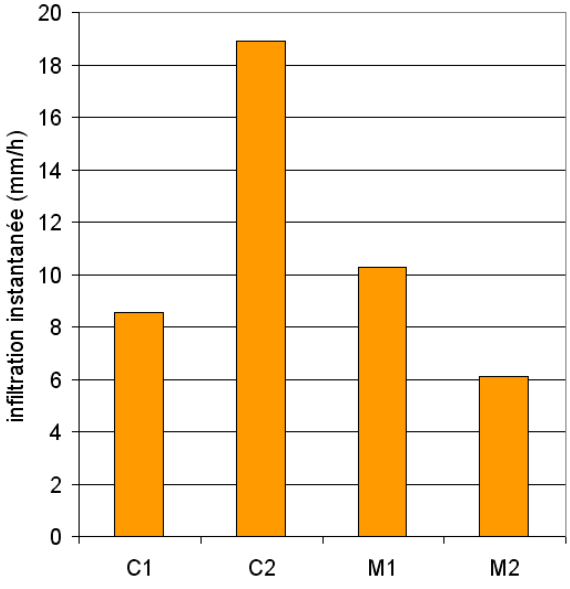


Figure 14 : infiltration instantanée de chaque placette au cours de la 42ème minute de pluie artificielle à 33 mm/h

E. Mesures qualitatives

1. *analyse de l'eau de la cuve*

Un échantillon de l'eau provenant du système d'arrosage a été prélevé et analysé. Il montre une concentration en glyphosate de 0,21 µg/l et une concentration en AMPA inférieure au seuil de détection de 0,1 µg/l. Ce rapport de concentrations plaide pour une pollution récente, rendue possible par la présence sur site du bidon qui avait servi au traitement du champ. Or, pour contaminer ainsi les 3 m^3 de la cuve, 1,75 mL de produit à 360 g/L auraient été nécessaires, soit plusieurs grosses gouttes du bidon versées dans la cuve. Cette hypothèse est peu vraisemblable. La contamination est donc due aux traces de produit présentes sur les mains de l'expérimentateur qui a effectué le prélèvement.

2. *premier prélèvement*

Les résultats de ce prélèvement sont page 4 et suivantes. Rappelons qu'il provient du bac accumulateur rempli avec les eaux ruisselées au cours des 15 premières minutes de la pluie artificielle.

1. *matières en suspension*. Nous ne disposons que de trois valeurs. Étant donné la grande variabilité au sein de la modalité *chaume*, les valeurs sont trop peu nombreuses pour établir l'existence d'un effet modalité. Le premier facteur explicatif des flux de MES est la lame ruisselée, avec une corrélation positive (Figure 15).
2. *glyphosate et AMPA*. Pour ces deux molécules, les concentrations sont plus fortes sur *chaume*. En croisant cela avec les lames ruisselées également plus fortes sur *chaume*, on obtient des flux sensiblement plus importants sur la modalité *chaume* que sur la modalité *moutarde* à l'issue d'une pluie identique

pour les quatre placettes. Pour le glyphosate, les placettes de la modalité moutarde ont exporté 0,03 à 0,09 µg/m², contre 0,66 à 5,7 µg/m² pour la modalité chaume. La Figure 16 illustre ces valeurs de flux.

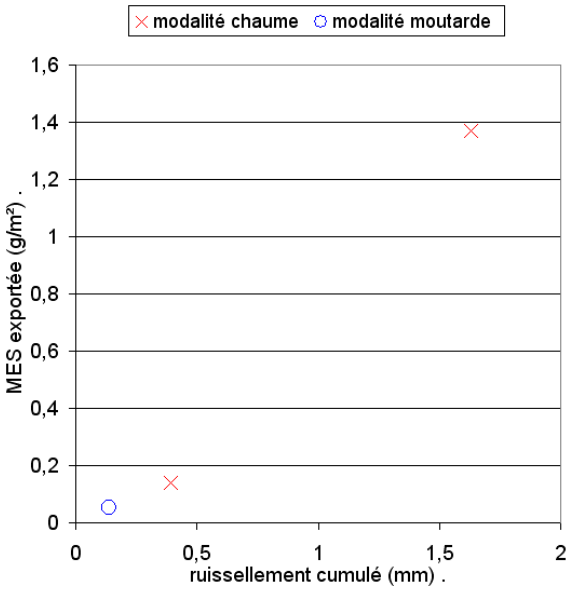


Figure 15 : premier prélèvement, corrélation positive entre MES exportée et ruissellement cumulé

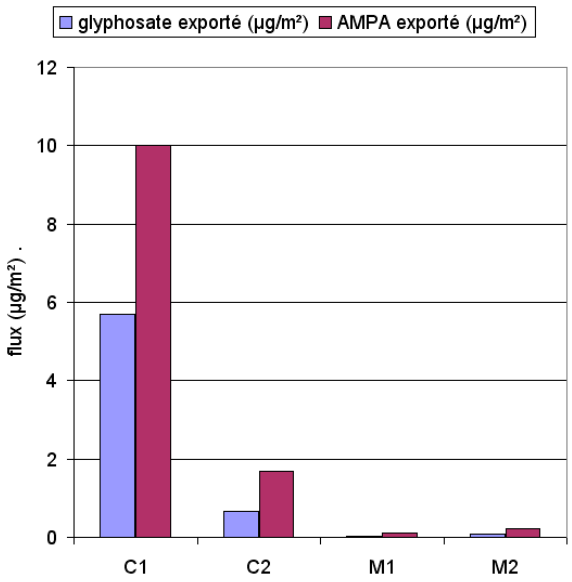


Figure 16 : premier prélèvement, flux de glyphosate et d'AMPA après une pluie d'environ 9 mm

3. second prélèvement

Ces résultats sont sur le Tableau 3 page 5. Contrairement au premier prélèvement, qui était un échantillon moyen du ruissellement cumulé après un quart d'heure de pluie artificielle, celui-ci est un prélèvement ponctuel, donc représentatif de l'instant du prélèvement uniquement.

1. *matières en suspension.* Comme pour le premier prélèvement, le premier facteur explicatif des différences de flux de MES est le débit de ruissellement (Figure 17). De plus, il semble qu'à débit équivalent, le flux de MES soit supérieur pour la modalité moutarde, qui présente une croûte de battance moins développée. Ce résultat va dans le même sens que ceux trouvés dans la littérature[4].
2. *glyphosate et AMPA.* Les valeurs moyennes de flux spécifique sont légèrement plus fortes pour la modalité chaume : 4,08 pg/m²/s de glyphosate contre 3,43 pg/m²/s en moyenne pour la modalité moutarde (Figure 18). Néanmoins, en comparaison avec le premier essai, les différences sont faibles.

[4] notamment chez Philippe Martin, sur ce même thème des intercultures en Pays de Caux dans sa thèse.

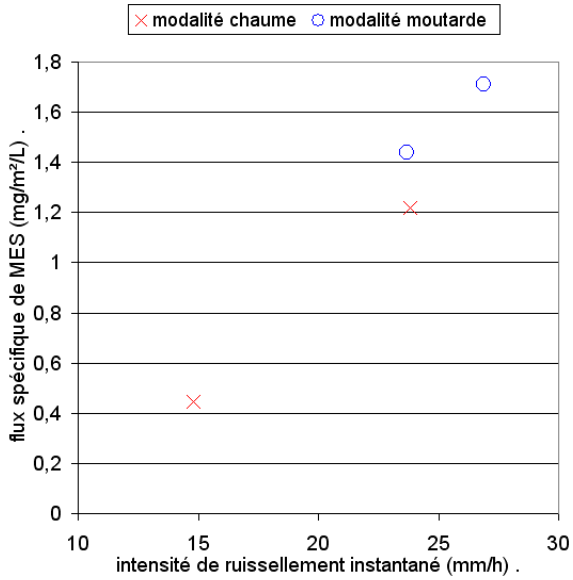


Figure 17 : second prélèvement, corrélation positive entre flux spécifique instantané de MES et ruissellement instantané

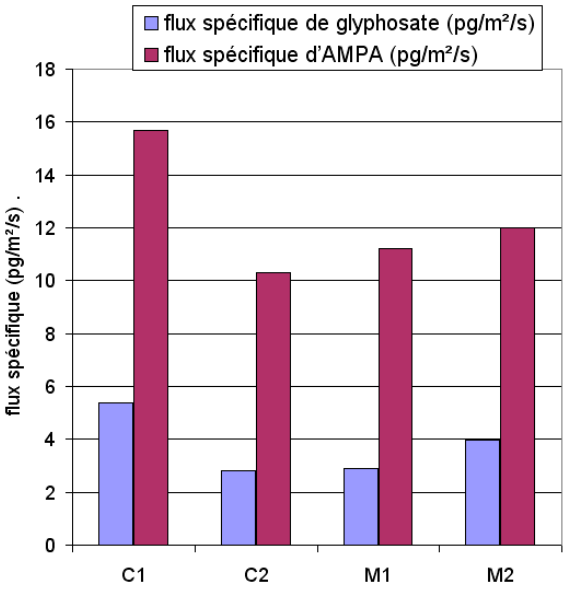


Figure 18 : second prélèvement, flux spécifique de glyphosate et d'AMPA après 42 à 52 minutes d'une pluie à 33 mm/h

Ainsi, au bout de 52 minutes[5] d'une pluie artificielle d'une intensité et d'une durée exceptionnelle pour un mois de février, les réponses instantanées de nos deux modalités sont très proches, en terme de ruissellement comme en terme de flux de pesticide.

4. *bilan sur l'ensemble de la pluie*

Les deux prélèvements effectués ne permettent pas d'établir un bilan précis de l'exportation des MES et des pesticides au cours de l'ensemble de l'événement pluvieux. Néanmoins, les volumes d'eau ruisselés sur l'ensemble de l'événement sont supérieurs sur la modalité *chaume* (Figure 13 page 15), et les concentrations en glyphosate et AMPA des deux prélèvements sont également supérieures sur la modalité *chaume*. Le bilan est donc favorable à la modalité *moutarde* sur déchaumage, même dans ces conditions de pluie exceptionnelles.

[5] sauf pour la modalité M2 : 23 mm en 42 minutes

IV. Conclusion

La pluie artificielle de 33 mm/h pendant près d'une heure au mois de février est un événement très rare en conditions naturelles. Selon les calculs de Météo France pour la station de Rouen-Boos, pour une pluie de 60 minutes, la hauteur d'eau cinquantennale est de 33,9 mm. Dans ces conditions particulièrement agressives, les mesures quantitatives et qualitatives de cet essai ont montré deux choses :

Autour du premier prélèvement, réalisé dans des conditions proches de celles d'une pluie hivernale, nous avons trouvé des résultats, en terme de lame ruisselée, de flux de MES et de pesticides, comparables aux mesures faites sous pluie naturelle au cours de cet hiver 2004-2005 peu pluvieux : la modalité *chaume non travaillé* ruisselle plus que la modalité *moutarde sur déchaumage* (coefficient de ruissellement moyen de 11,6 % contre 1,2 %), et émet plus de glyphosate et d'AMPA (export moyen de 3,2 µg/m² contre 0,06 µg/m² pour le glyphosate), bien que les deux modalités aient subi le même traitement. Ces conclusions sont les mêmes que celles de l'étude de ces placettes sous pluie naturelle entre novembre 2004 et février 2005. Elles se confortent donc mutuellement.

Autour du second prélèvement, représentatif du ruissellement instantané des placettes en fin d'événement, nos résultats montrent que dans ces conditions extrêmes (pluie proche de la cinquantennale de 60 minutes), les différences entre les deux modalités sont largement gommées, et les réponses des quatre essais sont très proches, aussi bien en terme de ruissellement que de matière exportée.

Le bilan global sur cet événement pluvieux exceptionnel reste favorable à la modalité moutarde sur déchaumage, à la fois pour le volume ruisselé et pour les matières exportées, même si nos mesures ne permettent pas de chiffrer le flux global de ces dernières.