

Impact d'itinéraires culturaux du maïs sur les transferts d'herbicides par ruissellement

Djilali Heddadj¹ et Chantal Gascuel-Odoux²

La contamination des eaux superficielles par les pesticides est importante en Bretagne, essentiellement liée aux herbicides provenant des cultures de maïs et de céréales, ainsi qu'aux usages non agricoles. Cette contamination requiert une analyse des causes et la mise en place de solutions adéquates. Le ruissellement de surface semble avoir une importance déterminante sur les fortes concentrations observées en crue dans les eaux de surface, même si sa contribution au débit des rivières est faible (Cheverry, 1998). En effet, ce mode de transfert interagit fortement avec la surface du sol où sont principalement stockés les produits appliqués. Le ruissellement met en solution les matières actives et mobilise des particules de sol qui en sont également vecteurs. Au-delà de sa contribution à la qualité des eaux, le ruissellement redistribue les particules le long des versants. Il peut ainsi avoir des conséquences sur la ressource en sol (Cros-Cayot, 1996). Ces transferts de surface ont lieu sur des pentes même faibles et lors de pluies d'intensité modérée. Ils sont la conséquence d'une dégradation ou d'un tassement des sols qui leur donne une faible infiltrabilité. Le ruissellement est souvent diffus, lame d'eau de faible épaisseur, plus ou moins canalisée par la rugosité du sol liée à l'activité agricole.

Les travaux présentés ici portent sur l'incidence des itinéraires de culture du maïs sur les transferts d'herbicides par ruissellement. Le choix du maïs est lié à son importance à la fois dans les systèmes de culture bretons (450 000 ha, soit

près de 25 % de la SAU) et dans la contamination des eaux, alors même qu'il constitue le pivot de l'alimentation animale, grâce à son énergie, sa facilité de conservation et sa souplesse d'utilisation. Les itinéraires de culture du maïs présentent des risques de transfert par ruissellement assez différents dans le temps. On peut repérer les périodes critiques en superposant les chroniques pluviométriques, de recouvrement végétal du sol et d'état structural du sol au cours de l'itinéraire cultural (figure 1, p. 116) (Le Bissonais et Gascuel-Odoux, 1999). Au début du cycle cultural, les averses de printemps sont souvent de forte intensité, le recouvrement végétal du sol nul ou faible. L'infiltrabilité des sols, forte au semis, diminue rapidement. Cette diminution dépend des caractéristiques du sol et des pratiques culturales : la diminution de l'infiltrabilité est plus rapide dans un sol très affiné. Cette période de printemps et début d'été, proche des traitements herbicides, constitue incontestablement une première période critique. Plus tard en hiver, des trains d'averses, un recouvrement végétal du sol nul en monoculture et une faible infiltrabilité des sols suite aux chantiers de récolte donnant lieu à un tassement des sols, conduisent à une seconde période critique. Cette analyse met en évidence la nécessité de rechercher des itinéraires techniques limitant le ruissellement, basés essentiellement sur l'amélioration ou la restauration de l'infiltrabilité du sol au cours de l'itinéraire technique, dans les périodes critiques grâce notamment au travail du sol et à un meilleur recouvrement

Les contacts

1. Chambre d'agriculture du Morbihan, Station expérimentale de Kerguéhennec 56500 Bignan
2. INRA-ENSAR UMR Sol et agronomie de Rennes-Quimper, 65 Route de Saint-Brieuc CS 84215 35042 Rennes Cedex

végétal du sol (Monnier *et al.*, 1991 ; Mossiman, 1991). Le désherbage mixte et les techniques culturales simplifiées répondent à ces critères. C'est dans ce cadre qu'a été mené ce travail visant à évaluer l'incidence de ces techniques culturales sur les transferts à la surface du sol.

Nous présenterons successivement les techniques et les machines utilisées, les résultats obtenus, en distinguant leur impact sur les concentrations et les flux de particules solides et d'herbicides à la surface du sol (Gascuel-Odoux et Heddadj, 1999). Deux situations expérimentales ont été considérées, celle de Rennes (domaine INRA) et celle de Kerguéhennec (chambre d'agriculture du Morbihan), ces deux situations ayant une pente assez semblable (4,8 % à Rennes contre 5,9 à Kerguéhennec), mais un gradient pluviométrique marqué (670 mm à Rennes contre 890 à Kerguéhennec) et des sols assez différents, à plus faible stabilité structurale à Rennes qu'à Kerguéhennec (13,8 % d'argile, 71,3 % de limons, 14,9 % de sables et 2 % de matières organiques à Rennes, contre 16,3 % d'argile, 52,8 % de limons, 30,7 % de sables, 3,8 % de matière organique à Kerguéhennec). Dans ces deux situations, les dispositifs expérimentaux ont pris en compte un semis de maïs dans le sens de la pente.

Le désherbage mixte

Principe et itinéraire cultural

Le désherbage mixte associe un désherbage chimique sur le rang et un désherbage mécanique, par binage, sur l'inter-rang (Heddadj et Gascuel-Odoux, 1997 ; Heydel, 1998). Les quantités apportées de matières actives sont alors réduites de deux tiers, un tiers de la surface étant traité, les concentrations apportées restant identiques. Le désherbage mixte combine ainsi différentes

stratégies : (1) une diminution des quantités de matières apportées en mettant en œuvre une application localisée limitée à une dizaine de centimètres de part et d'autre du rang de maïs ; (2) une réduction potentielle du ruissellement durant la période de printemps-été par le binage de l'inter-rang qui permet de détruire la croûte de battance et restaurer l'infiltrabilité du sol ; (3) une réduction potentielle du ruissellement durant la période d'inter-culture par l'association optionnelle d'un semis intercalaire dans l'inter-rang de maïs.

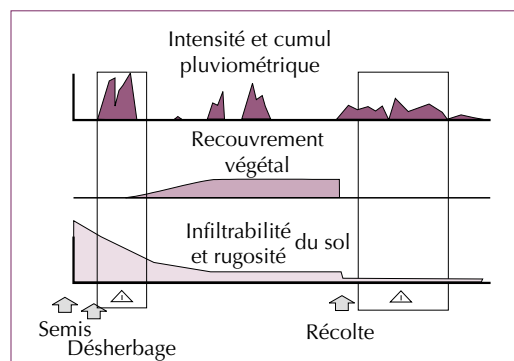
Cette technique nécessite l'utilisation d'un engin combiné comprenant : (1) une bineuse qui assure le désherbage de l'inter-rang, communément sur quatre ou six rangs ; (2) un pulvérisateur à jets dirigés qui réalise la pulvérisation localisée sur le rang ; (3) facultativement, un semoir centrifuge à petites graines qui permet la mise en place d'une culture intercalaire. À l'inverse, l'association du semoir sur la bineuse n'implique pas obligatoirement son utilisation.

L'itinéraire cultural prévoit classiquement deux interventions culturales. La première est réalisée dès que l'envahissement des adventices le nécessite, vers le stade 3-4 feuilles du maïs. Elle associe un binage sur l'inter-rang et une pulvérisation sur le rang. Le second passage est réalisé au stade 8 à 10 feuilles du maïs. Il se fait, sauf cas exceptionnel, sans utilisation de désherbant. Un semis simultané de ray-grass (semis à 20-25 kg/ha) peut y être associé. À ce stade, on considère que cette culture intercalaire ne concurrence pas le développement du maïs. Le ray-grass, implanté en sous étage dans l'inter-rang de maïs permet le développement d'un couvert d'interculture qui prend très rapidement le relais de la culture précédente, tout en économisant une intervention automnale. Cette culture intercalaire peut également avoir un effet bénéfique sur le bilan d'azote.

Étude sous simulation de pluie

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Le protocole de simulation de pluie comprend trois pluies successives d'une intensité de 40 mm/h, d'une durée d'une heure chacune, réalisées à quelques jours d'intervalle, à environ deux mois du traitement. Cette simulation de pluie a été appliquée sur des placettes de 3 m de long, sur 1,6 m de large, intégrant deux inter-rangs de 75 cm de large. Le site expérimental



► Figure 1 – Périodes à risques dans l'itinéraire cultural d'une succession maïs-maïs.

est celui de Rennes. Trois modalités ont été comparées : un désherbage en plein à 1 000 g/ha d'atrazine ; un désherbage mixte, à la même dose de surface traitée, avec deux types de binage, l'un superficiel, à 3-5 cm, l'autre plus profond, à 6-8 cm de profondeur.

RÉSULTATS (TABLEAU 1)

Le ruissellement apparaît plus tardivement quand il y a binage. Cet effet est plus marqué pour la plus grande profondeur de binage pour laquelle aucun ruissellement n'est enregistré à la première pluie. Pour le binage plus superficiel, le ruissellement apparaît lors de la première pluie mais n'atteint pas le régime stationnaire. Le binage conduit ainsi à une plus grande infiltrabilité et rugosité du sol qui retarde le déclenchement du ruissellement et le réduit fortement lors de la première pluie par rapport à un itinéraire conventionnel. Pour les deux pluies suivantes, les temps de déclenchement et les intensités de ruissellement sont du même ordre de grandeur pour les différentes modalités. La dégradation structurale de la surface du sol, qui s'opère rapidement dans ces sols à faible stabilité structurale, limite ainsi les effets du binage à la première pluie simulée. Le binage a donc un effet temporaire sur le ruissellement.

L'érosion n'est présente, lors la première pluie, que sur l'itinéraire conventionnel. Cette érosion s'accroît lors des deux pluies suivantes, de manière comparable pour les différentes modalités. Lors de la seconde pluie, on note une teneur en particules solides légèrement moins importante sur le témoin que sur les inter-rangs binés, le binage le plus superficiel ayant alors la plus forte concentration en particules solides.

Le binage, en favorisant la disponibilité des éléments fins, tend à accroître la charge solide des eaux de ruissellement lors du premier événement ruisselant. Malgré l'accroissement de l'intensité de ruissellement, les charges solides dans les inter-rangs binés ont globalement diminué lors de la troisième pluie.

Le transfert des herbicides par ruissellement a pris en compte l'atrazine et ses métabolites, la DEA et la DIA, en distinguant la phase soluble et la phase particulaire. On observe une diminution dans le temps des concentrations en molécules des eaux de ruissellement, liée à un lavage progressif de la surface du sol au cours des trois pluies. Dans la phase soluble, la concentration en atrazine est cinq fois moins importante sur l'inter-rang biné que sur l'inter-rang témoin lors de la seconde pluie (2 contre 11,6 mg/l) et 2,5 fois moins importante lors du troisième pluie (2,3 contre 6,2 mg/l). Des résultats analogues sont observés pour l'atrazine adsorbée. Les concentrations sont quatre fois moins importantes sur l'inter-rang biné que sur l'inter-rang témoin lors de la seconde pluie (65 contre 250 mg/kg) et deux fois moins importantes lors de la troisième pluie (33 contre 78 mg/kg).

Ces résultats s'expliquent par la diminution de quantités de matières actives apportées dans le cas du désherbage mixte (réduction de deux tiers par rapport à un itinéraire conventionnel), mais aussi, pour la première pluie ruisselante (ici la seconde pluie), par une dilution des eaux de ruissellement par les eaux provenant de l'inter-rang et une infiltration partielle des eaux venant du rang. Le binage, en créant une forte porosité et rugosité de surface, favorise l'infiltration et l'adsorption des molécules du rang vers l'inter-

	1 ^{re} pluie	2 ^e pluie	3 ^e pluie
Temps de déclenchement du ruissellement			
Itinéraire conventionnel	7 min 40	6 min 40	1 min 24
Désherbage mixte : binage 3-5 cm	25 min 40	8 min 10	2 min
Désherbage mixte : binage 6-8 cm	–	10 min 10	3 min
Intensité du ruissellement en régime permanent (mm/h)			
Itinéraire conventionnel	15,6	18,4	35,4
Désherbage mixte : binage 3-5 cm	–	19,4	38,8
Désherbage mixte : binage 6-8 cm	–	19,4	39
Concentration en charge solide en régime permanent (g/l)			
Itinéraire conventionnel	7,9	14,6	19,8
Désherbage mixte : binage 3-5 cm	–	21,6	18,9
Désherbage mixte : binage 6-8 cm	–	17,1	12

◀ Tableau 1 – Caractéristiques du ruissellement et de l'érosion sous pluie simulée sur le site de Rennes.

rang. Il accentue ainsi l'effet de la réduction des flux de pesticides lors de la première pluie ruisselante. Lors de la seconde pluie ruisselante (troisième pluie simulée), la concentration en atrazine sur l'inter-rang biné est trois fois moins importante que sur le témoin, selon le ratio correspondant aux quantités apportées. L'effet du binage apparaît temporaire, contrairement à celui de la réduction des apports.

Globalement, le désherbage mixte permet une diminution des transferts d'atrazine par ruissellement. Des mesures sous pluie naturelle ont confirmé ces résultats (Gascuel-Oudou et Heddadj, 1999). En effet, le désherbage mixte a permis de diminuer les flux d'un ordre de dix lors des premières pluies ruisselantes, puis d'un ordre de trois lors des pluies suivantes, selon le ratio des quantités apportées.

Étude sous pluie naturelle – Confrontation à l'efficacité de bandes enherbées

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental met en comparaison le ruissellement de surface en sortie de parcelle et après une bande enherbée de 12 mètres de large. Huit parcelles de 50 m de long sur 6 m de large ont été mises en place. Elles sont équipées de collecteurs de 620 litres reliés à une gouttière recueillant l'eau de ruissellement soit directement en sortie de parcelle (quatre parcelles), soit après la bande enherbée (quatre parcelles). Quatre modalités de désherbage ont été considérées, chacune étant répétée deux fois, côte à côte, correspondant respectivement à un recueil des eaux de ruissellement avant et après bande enherbée. Deux modalités (quatre parcelles) prennent en compte un désherbage en plein, à 1 000 g/ha d'atrazine, dont l'une avec binage de l'inter-rang (effet du binage seul). Deux modalités (quatre parcelles) prennent en compte un désherbage mixte, le désherbage chimique étant réalisé à la même dose de surface traitée qu'en plein (effet combiné du binage et de la réduction des apports), une modalité étant assortie d'un semis intercalaire de ray-grass. Le site expérimental est situé sur le domaine expérimental de Kerguéhennec (Morbihan). Trois événements pluvieux, de cumul pluviométrique de respectivement 9, 19 et 6 mm, d'intensité maximale sur 6 mn de respectivement 38, 60 et 34 mm/h, ont été suivis au printemps et durant l'été. Le ruissellement, les concentrations et flux de MES et d'atrazine ont été mesurés. En interculture, seul le ruissellement a été noté.

RÉSULTATS

Le ruissellement est réduit par le binage, cette réduction étant d'autant plus prononcée que l'averse considérée est importante et proche du binage. Le ruissellement est alors quasiment nul après la bande enherbée, sauf pour l'averse la plus importante pour laquelle il subsiste un ruissellement important après la bande enherbée.

Les flux de charge solide décroissent d'averse en averse, en relation avec la diminution de la disponibilité en particules. Ils apparaissent, de même, fortement réduits par le binage, passant de plus de 100 kg/ha en conduite conventionnelle à quelques kg/ha avec binage. Par comparaison, les flux de charge solide en sortie de la bande enherbée sont faibles dans tous les cas, comparables aux niveaux atteints par le binage.

Les concentrations en atrazine des eaux de ruissellement sont du même ordre de grandeur avec un traitement en plein, avec ou sans binage. Elles sont par contre plus faibles avec le désherbage mixte, et plus faibles encore avec une bande enherbée, quelle que soit la modalité. Lorsque l'on combine les flux d'eau et les concentrations pour calculer les flux d'atrazine, on hiérarchise trois niveaux de flux (figure 2) : le premier, de respectivement 700 et 200 mg/ha à la première et la seconde averse ruisselante, correspondant au désherbage en plein sans binage; le second, de respectivement 200 et 50 mg/ha à la première et la seconde averse ruisselante, correspondant au désherbage en plein avec binage, niveau pour lequel le binage induit une réduction des flux de ruissellement particulièrement notable lors première averse; le troisième, inférieur à 10 mg/ha, correspondant au désherbage mixte et à toutes les modalités avec bande enherbée. La bande enherbée apparaît ainsi comme la technique d'assurance, limitant les pertes par ruissellement quel que soit l'itinéraire technique de désherbage. À l'opposé, un itinéraire de désherbage mixte atteint l'efficacité d'une bande enherbée, en considérant les flux d'eau, de MES et d'atrazine à la surface du sol.

En interculture, seul l'installation d'un ray-grass intercalaire limite le ruissellement de manière comparable à une bande enherbée.

Conclusion

Ces expérimentations montrent l'intérêt environnemental du désherbage mixte combinant

une stratégie de réduction des apports de désherbant et de contrôle des états de surface. Des travaux ont par ailleurs démontré la faisabilité agronomique et économique (coût, temps de travail) du désherbage mixte (Heddadj et Gascuel-Odoux, 1997). Les résultats présentés montrent que le désherbage mixte peut atteindre l'efficacité d'une bande enherbée. Ces résultats, très partiels dans leur durée et la diversité des modalités retenues, indiquent que l'amélioration des pratiques agronomiques de désherbage du maïs constitue une solution concurrentielle à des solutions d'aménagement. Ceci est d'autant plus important que les agriculteurs semblent, actuellement et pour certaines régions, relativement réceptifs à des solutions agronomiques par comparaison à des solutions d'aménagement de l'espace (Gascuel et Heddadj, 1999).

Les techniques culturales simplifiées

Depuis une dizaine d'années, les techniques culturales simplifiées suscitent un intérêt croissant. La motivation pour le gain de temps, la réduction du coût d'implantation des cultures et, de plus en plus, l'amélioration de la qualité agronomique des sols. Sous le terme de simplification, des techniques très différentes sont regroupées (Monnier *et al.*, 1991). Les outils peuvent être classés en trois familles : (1) des outils spécifiques ne travaillant que la ligne de semis (semoirs à disques); (2) des outils travaillant sur toute la surface (outils rotatifs); (3) des outils polyvalents travaillant à profondeurs variables (outils de pseudo-labour). Ce sont des outils appartenant à cette dernière catégorie qui ont été utilisés et comparés à la conduite conventionnelle.

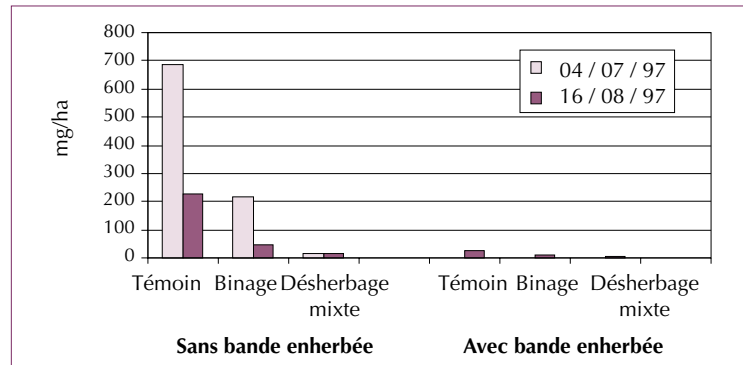
Les techniques culturales expérimentées

LA CONDUITE CONVENTIONNELLE

Elle consiste en un labour à 25 cm de profondeur et un semis en deux passages (herse rotative et semoir). Cette conduite a servi de référence pour évaluer l'impact des techniques culturales simplifiées.

« LE COMBILOW »

Un outil combiné, appelé *combiplow* et dit de pseudo-labour a été utilisé. Cet outil permet d'implanter la culture en un seul passage. Il réalise trois opérations simultanées : (1) un décompactage par des dents de décompactage;



(2) un ameublissement superficiel par un rouleau cage; (3) un semis avec un semoir monograine pneumatique.

▲ Figure 2 – Flux d'atrazine selon les différentes techniques culturales.

Les dents de décompactage sont constituées de six lames, espacées entre elles de 50 cm, alignées sur une largeur de 3 mètres et situées derrière les roues du tracteur. Ces lames sont équipées de socs à leur base. La lame et le soc de forme effilée (20 mm d'épaisseur) pénètrent facilement dans le sol. Elles ne sont pas perpendiculaires au sens de travail du sol mais plutôt incurvées vers l'intérieur. Elles permettent ainsi d'ameublir le sol par une action de soulèvement. Le travail de la lame serait efficace sur 15 à 40 cm de profondeur.

Le rouleau cage se positionne juste derrière les lames du *combiplow*. Ce rouleau est équipé de quatre coutres circulaires en fer disposés entre les lames, séparés d'une distance de 0,75 cm. La fonction de ce rouleau est de niveler le sol soulevé par les lames et de briser les mottes sur les lignes de semis.

Le semoir mono-graine pneumatique de quatre rangs présente l'inconvénient de ne pas disposer d'un outil animé servant à préparer le lit de semence avant l'implantation de la graine.

« LE PARASEMIS »

Comme le *combiplow*, le parasemis est un outil combiné. Il a pour principe d'assurer le semis du maïs en un seul passage et comprend quatre outils.

À l'avant du tracteur, un épandeur permet un apport localisé d'engrais sur la bande de semis. La fumure minérale est mélangée dans le lit de semence par une herse rotative située derrière le tracteur. Derrière le tracteur, les quatre outils combinés sont situés sur une structure semi-portée.

Les dents obliques du *paraplow* du tracteur n'ont pas d'ailette à la différence de celles du *combiplow* mais sont beaucoup plus larges. Elles ont pour fonction de décompacter le sol par une action de fissuration et de soulèvement afin de lui redonner la porosité nécessaire à une bonne circulation de l'air et de l'eau, et permettre la pénétration des racines en profondeur. Ce soulèvement a par ailleurs pour intérêt de ne pas mélanger les couches de terre.

Le rouleau cage sert à niveler le sol après le passage des dents.

Le rotasemis prépare un lit de semence sur une profondeur d'environ 5 cm et une largeur de 20 cm. Cette bande de semis est située à l'aplomb du soc du *paraplow*, là où la porosité du sol est la plus homogène.

Le semoir pneumatique de type monograinne réalise un semis en ligne. Ce système permet d'améliorer la régularité de la profondeur du semis.

Résultats

Les résultats ont été obtenus sur les sites de Rennes et de Kerguéhennec.

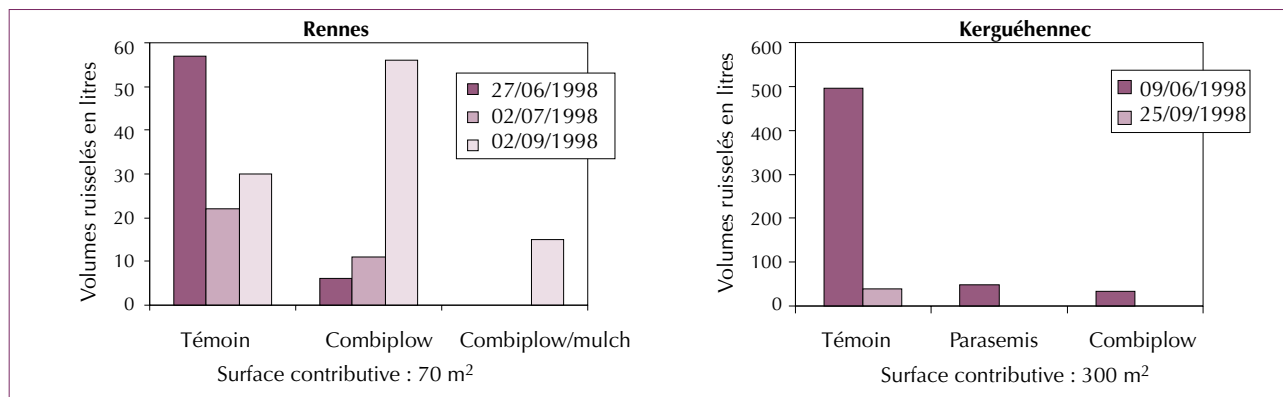
LE RUISSELLEMENT (FIGURE 3)

Sur le site de Rennes, trois modalités ont été comparées : la conduite conventionnelle, le *combiplow* sur sol nu et le *combiplow* sur mulch (RGI détruit chimiquement). Trois pluies ruisselantes ont pu être observées durant cette période, les 27/06, 02/07 et 02/09/1998. Sur la conduite conventionnelle, c'est la première pluie qui provoque le plus de ruissellement malgré une hauteur de pluie relativement faible (8 mm), mais une intensité maximale sur 6 mn de

24 mm/h. À l'inverse, la seconde pluie provoque le moins de ruissellement malgré une hauteur de 27 mm mais une intensité maximale sur 6 mn de 7 mm/h. Les résultats montrent que la technique du *combiplow* permet de limiter le ruissellement. Cette limitation est particulièrement marquée pour le premier événement pluvieux ruisselant. Cet impact semble s'atténuer au cours du temps du fait probablement d'une évolution rapide des états de surface. Le *combiplow* induit donc une forte infiltrabilité du sol due à la décompaction et à la forte rugosité créée en surface. La présence d'un mulch limite fortement le ruissellement lors des trois pluies.

Une simulation de pluie d'une heure à intensité constante de 30 mm/h, réalisée sur les trois modalités, a permis d'évaluer la conductivité hydraulique à saturation de chacune d'elles. Celle-ci est respectivement de 2 mm/h, 22 mm/h et supérieure à 22 mm/h pour la conduite conventionnelle, le *combiplow* sur sol nu et *combiplow* avec mulch.

Sur le site de Kerguéhennec, trois modalités ont été également comparées : la conduite conventionnelle, le *combiplow* sur sol nu et le parasemis sur sol nu. La conduite conventionnelle est celle qui provoque les ruissellements les plus importants lors des deux événements pluvieux enregistrés, caractérisés par une hauteur de pluie de 26 mm et une intensité maximale sur 6 mn de 16,5 mm/h pour le premier et une hauteur de pluie de 36,6 mm et une intensité maximale sur 6 mn de 30 mm/h pour le second. Les techniques culturales simplifiées (*paraplow* et *combiplow*) ont un effet important sur le ruissellement. L'impact de ces techniques est lié à l'amélioration de l'infiltrabilité des sols provoquée par les dents de décompaction utilisées à la fois sur le



▲ Figure 3 – Volumes ruisselés selon les techniques culturales.

parasemis et le *combiplow* et à l'augmentation de la rugosité induite dans le cas seulement du *combiplow*.

Une simulation de pluie d'une heure à intensité constante de 40 mm/h, réalisée sur les trois modalités, a permis d'évaluer la conductivité hydraulique à saturation de chacune d'elles. Celle-ci est de 2 mm/h, 33,7 mm/h et supérieure à 40 mm/h pour, respectivement, la conduite conventionnelle, le parasemis et le *combiplow*.

Les techniques simplifiées permettent de réduire nettement le ruissellement sur les deux sites, particulièrement lors du premier événement.

LES TRANSFERTS D'ATRAZINE (FIGURE 4)

Le traitement herbicide est composée d'atrazine, de sulcotrione et de nicosulfuron. À Rennes, le traitement a été réalisé le 17/05/98, avec 1 000 g/ha d'atrazine, 300 g/ha de sulcotrione et 40 g/ha de nicosulfuron. À Kerguéhennec, le traitement a été réalisé le 05/06/98, à la même dose d'atrazine, à des doses de respectivement 225 g/ha et 30 g/ha pour la sulcotrione et le nicosulfuron.

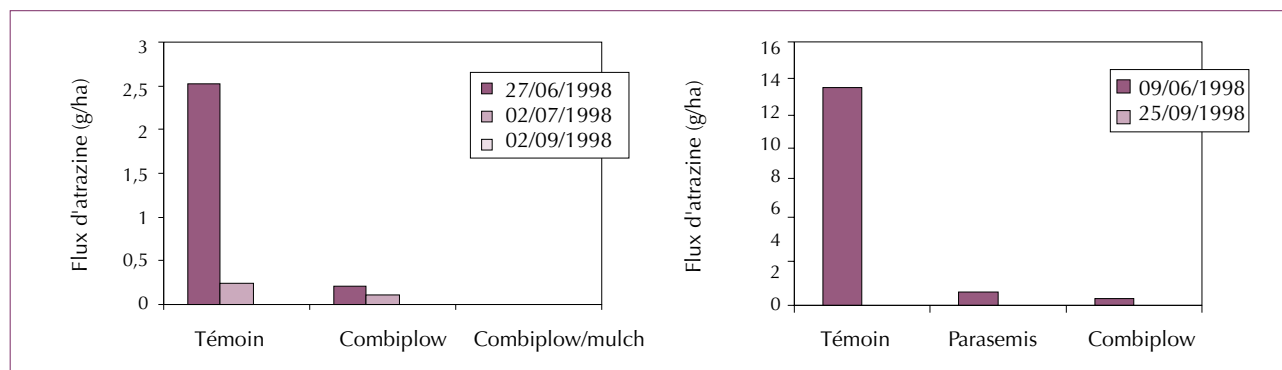
Sur le site de Rennes, les concentrations en atrazine pour le travail simplifié sur mulch sont très faibles (presque nulles) quelle que soit la pluie considérée. En revanche, pour le travail simplifié sur sol nu et la conduite conventionnelle, les concentrations en atrazine sont importantes lors de la première pluie, de 272 µg/l pour le travail simplifié sur sol nu et de 302 µg/l pour la conduite conventionnelle. Lors de la seconde pluie, les concentrations diminuent mais toujours avec des concentrations importantes, un peu moindres pour le travail simplifié sur sol nu (41 µg/l) par rapport à celles de la conduite

conventionnelle (86 µg/l). Lors de la troisième pluie, les concentrations des deux modalités sont faibles et voisines (0,9 et 0,6 µg/l).

Ces résultats démontrent l'intérêt du travail simplifié sur mulch pour réduire considérablement les transferts de pesticides par ruissellement. Le mulch limite d'une manière très importante les écoulements de surface, réduisant ainsi les transports de charges solides et de pesticides. Le travail simplifié sur sol nu conduit à des concentrations un peu moins élevées que dans le cas de la conduite conventionnelle, ces concentrations restant tout de même élevées, plus élevées en tout cas que celles du travail simplifié avec mulch.

Dans les cas où les ruissellements sont importants (conduite conventionnelle et à un degré moindre le travail simplifié sur sol nu), c'est au cours de la première pluie que les départs de pesticides sont les plus marqués. Ensuite, les concentrations vont en diminuant progressivement d'une pluie à l'autre.

Sur le site de Kerguéhennec, les concentrations d'atrazine les plus élevées sont celles qui concernent le premier événement ruisselant intervenu seulement quatre jours après le traitement. C'est sur la parcelle en conduite conventionnelle que l'on observe la plus forte concentration (817 µg/l). Pour les techniques sans labour, les concentrations sont nettement moins élevées. Elles sont de 181 µg/l pour le *combiplow* et de 424 µg/l pour le parasemis. Pour la seconde pluie, l'atrazine est détectée uniquement sur la conduite conventionnelle à une concentration de 1,34 µg/l. Les flux d'atrazine sont surtout liés à la conduite conventionnelle. Ils atteignent lors du premier ruissellement



▲ Figure 4 – Transferts d'atrazine selon les différentes techniques de travail du sol.

13,49 g/ha. Ces flux sont respectivement de 0,68 g/ha et de 0,20 g/ha pour le parasemis et le *combiplow*. Pour ce premier ruissellement, les techniques simplifiées permettent globalement une réduction des flux d'au moins 95 %, en référence à la conduite conventionnelle.

Conclusion

Des dispositifs expérimentaux ont été mis en place sur de petites parcelles pour analyser l'incidence des itinéraires de culture du maïs sur le ruissellement et les transferts d'herbicides à la surface du sol.

Le désherbage mixte, comparativement à un traitement chimique en plein, permet de réduire la concentration des matières actives dans les eaux de ruissellement. Cette réduction d'un ordre de grandeur de 75 % pour la première pluie ruisselante, est liée à la diminution de la surface traitée et à la localisation des produits sur le rang, limitant leur transfert vers l'inter-rang. En favorisant l'infiltration grâce au binage, cette technique permet de limiter les flux de manière importante (de plus de 90 % à Kerguéhennec sur la première pluie ruisselante). Cette efficacité apparaît comparable à celle de la bande enherbée. Malgré son intérêt environnemental confirmé, cette technique demeure encore malheureusement au stade de la démonstration. Des efforts méritent d'être développés pour faire connaître cet itinéraire de désherbage et la bineuse.

Les techniques culturales simplifiées testées à la fois sur le site de Rennes et de Kerguéhennec ont porté sur l'utilisation du parasemis et du *combiplow*. Des résultats concordants et encourageants ont été obtenus. En effet, ces techniques sans labour ont un effet important sur l'infiltrabilité du sol. Par rapport à une conduite conventionnelle, celle-ci est multipliée, grâce au *combiplow*, par 10 à Rennes et par 15 à Kerguéhennec et elle l'est par 3,5 pour le parasemis à Kerguéhennec. Si l'influence de ces techniques sur les concentrations des eaux reste relativement limitée, les surfaces étant traitées en plein, en revanche elle est particulièrement élevée sur la réduction des flux (de l'ordre de 90 %). Comme pour le désherbage mixte, ces techniques peuvent être encouragées. Outre leur intérêt environnemental, elles permettent de réduire le temps d'implantation des cultures, à l'heure où le facteur temps au sein des exploitations devient limitant. Toutefois, des précautions sont à prendre sur les parcelles drainées ou proches de la nappe, là où l'écoulement de surface peut être relayé par des infiltrations préférentielles et des écoulements rapides de subsurface. Si ces transferts sont *a priori* relativement faibles en période de printemps-été, ils doivent être analysés à d'autres périodes. Ces résultats doivent ainsi être considérés comme des résultats préliminaires, d'autres références étant nécessaires pour analyser d'autres périodes que le printemps et d'autres outils.

□

Résumé

L'incidence de différents itinéraires techniques de la culture du maïs sur les transferts d'herbicides a été analysée à l'échelle parcellaire, sur deux types de sol, sous pluies simulées et naturelles. Le désherbage mixte, comparativement à un traitement en plein, permet de réduire la concentration et les flux de matières actives pour les premières pluies ruisselantes, en relation avec la diminution de la surface traitée et le binage qui favorise l'infiltration. Les techniques culturales simplifiées basées sur l'utilisation du *paraplow* et du *combiplow* augmentent l'infiltrabilité des sols par rapport à une conduite conventionnelle. Si l'influence de ces techniques reste faible sur les concentrations, les surfaces étant traitées en plein, en revanche elle est particulièrement nette sur les flux. Ces techniques culturales, alliant une maîtrise des états de surface, montrent leur efficacité pour limiter les transferts de pesticides par ruissellement.

Abstract

The effect of tillage techniques for maize crop on herbicide transport at soil surface was analysed at field scale, on two sites, under natural rainfall and using rainfall simulator. The combined strategy for weed control was compared to the classical whole chemical weed control. It induced a decrease in herbicide concentrations and export on the first rainfall events, due to the lower amount spreaded and tillage that restore initial soil infiltrability. The no-till methods had no effect on concentration but on soil infiltrability and herbicide export compared to the classical tillage, due to band wise mulch planting and decompacting. These cultivation techniques, that improve soil surface conditions and infiltration of water are efficient to decrease soil surface transport and herbicide export in surface water.

Bibliographie

- CHEVERRY, C., 1998, *Agriculture et qualité des eaux, Le programme CORMORAN Caractérisation, observation et modélisation de la qualité des eaux en milieu agricole intensif*, INRA-Édition, 297 p.
- CROS-CAYOT, S., 1996, *Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant*, Thèse ENSA-INRA Rennes, 218 p.
- GASCUEL-ODOUX, C., HEDDADJ, D., 1999, *Maîtrise des transferts de surface dans le contexte armoricain*, 115 p.
- HEDDADJ, D., GASCUEL-ODOUX, C., 1997, *Le désherbage mixte du maïs, Synthèse régionale des expérimentations*, 48 p.
- HEYDEL, L., 1998, *Diagnostic et maîtrise des contaminations des eaux souterraines par les résidus d'atrazine*, Thèse de l'INPL, 160 p.
- LE BISSONNAIS, Y., GASCUEL-ODOUX, C., 1999, L'érosion hydrique des sols cultivés, In : *Sols, interfaces fragiles*, INRA Éditions, p. 129-144.
- MONNIER, G., THEVENET, G., LESAFFRE, B., 1991, *Simplification du travail du sol*, INRA-Éditions, collection « les colloques », 172 p.
- MOSSIMAN, 1991, *Lutte contre l'érosion des sols cultivés, Guide pour la conservation des sols*, 187 p.