

Transfert des polluants agricoles par le ruissellement et l'érosion diffuse et couplage des modèles STREAM et SENEQUE dans le bassin versant de la Vesle

Oumarou Malam Issa, Béatrice Marin, Jean-Baptiste Dessogne, Michel Laurain,
Hubert Guérin, André Pasacal, Vincent Barbin

GEGENA (Groupe d'Etudes sur les Géomatériaux et les Environnements Naturels et Anthropiques) - EA 3795, CREA, 2, Esplanade Roland Garros 51100 REIMS.

E-mail : oumarou.malam-issa@univ-reims.fr, beatrice.marin@univ-reims.fr

1. Objectifs généraux.....	1
2. Objectifs spécifiques.....	1
2.1. Acquisition de données nécessaires à la paramétrisation de STREAM.....	2
2.1.1 Sites d'étude.....	2
2.1.2 Méthodes d'étude	2
2.1.3 Résultats des mesures	3
2.2. Adaptation du modèle STREAM	10
2.2.1 Constitution d'une base de données et intégration dans un SIG	10
3. Conclusion	11
4. Perspectives	12

1. Objectifs généraux

Cette contribution rentre dans la problématique du projet TRANSPOLL proposé par le GEGENA dans le cadre du contrat d'objectifs Aqual (Lutte contre les pollutions diffuses en milieu rural). Elle constitue également le 2^{ème} volet de l'action EROSPACE (prise en compte de l'hétérogénéité spatiale des versants pour la modélisation de l'érosion des sols à l'échelle du bassin). Le projet de couplage STREAM-SENEQUE sur le bassin versant de la Vesle constitue l'axe central de notre contribution au sein du PIREN-SEINE.

Trois objectifs principaux sont visés :

- Etudier les processus physiques et géochimiques, liés aux constituants et aux états hydriques du sol, qui régissent l'adsorption, le transfert et la redistribution des polluants agricoles en général, et des éléments métalliques en particulier ;
- adapter le modèle STREAM en fonction des résultats de l'étude du bassin versant de la Vesle ;
- contribuer à l'élaboration de SENECAM, un outil adapté à l'étude de la répartition spatiale des activités agricoles sur la qualité de l'eau à l'échelle de petits bassins versants (50 – 500 km²).

2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de notre contribution comprennent une phase d'acquisition de données et une phase d'adaptation et d'utilisation du modèle STREAM.

La phase d'acquisition de données comprend les activités suivantes :

- l'acquisition de données sur les caractéristiques des sols ;
- la quantification du ruissellement et de la perte en terres en laboratoire et in situ ;
- la caractérisation physique et chimique des particules érodées ;

- les mesures in situ des capacités d'infiltration de différentes unités de sols homogènes définies sur la base des données cartographiques existantes (pédologique, géologique...), de visites de terrain et de l'occupation du sol ;
- Des mesures en laboratoire (simulation de pluie, mesures de la conductivité hydraulique) et calage des données obtenues sur le terrain.

Ces données sont nécessaires à la paramétrisation de STREAM et la prédiction de la pollution diffuse sur le bassin de la Vesle.

La phase d'adaptation et d'utilisation du modèle STREAM comprend :

- la constitution d'une base de données ;
- l'intégration des données dans un SIG ;
- l'utilisation de STREAM pour prédire l'impact des pollutions métalliques par le ruissellement et l'érosion diffuse et pour tester l'influence de la modification des pratiques agricoles.

2.1. Acquisition de données nécessaires à la paramétrisation de STREAM

2.1.1 Sites d'étude

Les travaux ont concerné les sites localisés en domaine viticole: Nogent l'Abbesse sur la rive droite de la Vesle (Mont de Berru), Mailly-Champagne et Ecueil sur la rive gauche (Montagne de Reims). Ces sites ont fait l'objet de prélèvements et la caractérisation physique et chimique des sols a été réalisée. Les sols des parcelles de Nogent-l'Abbesse et Mailly-Champagne reposent sur un substrat carbonaté (craie et marnes). Elles sont occupées par des vignes avec des routes enherbées et non enherbées. Le sol de la parcelle d'Ecueil repose quant à lui sur un substrat sableux et les routes y sont non enherbées.

D'autres sites sélectionnés en 2005 ont fait l'objet de mesures de conductivité hydraulique, permettant d'évaluer la capacité d'infiltration.

2.1.2 Méthodes d'étude

La réponse au ruissellement de ces trois sols a été étudiée grâce à des expérimentations en laboratoire (pluies simulées) et in situ (pluies naturelles).

L'approche par simulation de pluies a été réalisée à l'INRA d'Orléans grâce à un simulateur de type ORSTOM (actuellement Institut de Recherche pour le Développement). Les expérimentations se font sous conditions contrôlées. Elles permettent l'acquisition facile de données et la comparaison entre différents sols. En outre, elles fournissent des informations sur les processus de ruissellement et d'érosion sur des surfaces élémentaires, indispensables à la compréhension des processus généraux à l'échelle de la parcelle.

Les sols issus des trois parcelles viticoles, ont été reconstitués en laboratoire dans des bacs de 1 m². Une intensité d'environ 50 mm/h a été utilisée, ce qui correspond à une intensité de début d'averse. Deux séries de trois simulations de pluies chacune ont été réalisées. Chaque simulation a duré de 1 à 3 heures. Les eaux de ruissellement et les particules érodées ont été prélevées toutes les 1 à 5 minutes.

L'approche sous pluies naturelles à l'échelle de la parcelle n'a été réalisée que sur le site de Nogent-l'Abbesse. Le dispositif permettant de récolter les eaux de ruissellement et le matériel érodé a été décrit dans un précédent rapport.

Ces expérimentations ont permis l'acquisition de données sur la pluie d'imbibition, le coefficient de ruissellement et la perte en terres.

Les particules érodées ont fait l'objet d'une caractérisation physique et chimique : granulométrie et teneurs en éléments majeurs et traces.

2.1.3 Résultats des mesures

Caractérisation physique et chimique des sols

Les caractéristiques physiques des trois sols étudiés sont présentées dans la Figure 1. Les textures sont limono-argilo-sableuse pour le sol de Nogent-l'Abbesse, limono-argileuse pour le sol de Mailly-Champagne, et sableuse pour le sol d'Ecueil.

De par leur caractéristique granulométrique, ces sols auront une réponse différente vis-à-vis du ruissellement.

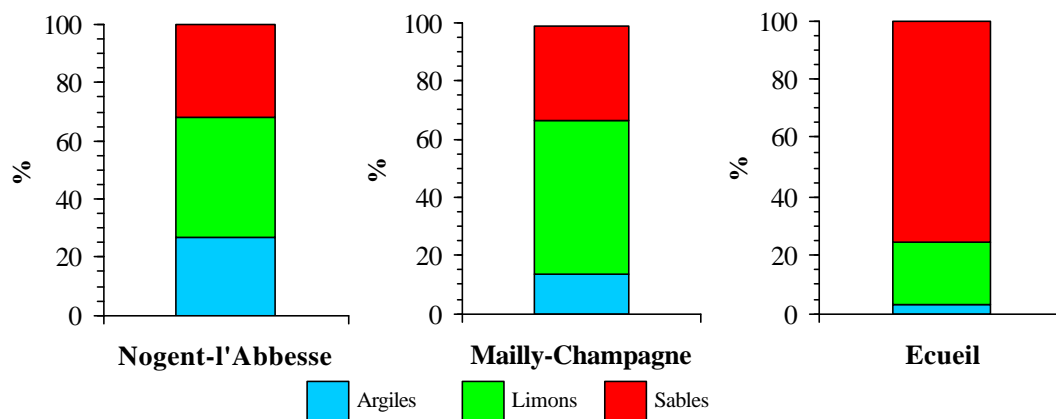


Figure 1: Granulométrie réelle des trois sols étudiés.

Les teneurs en éléments en traces (Cd., Cr, Cu, Pb et Zn) ont été déterminées dans la phase solide des sols afin d'évaluer leur degré de contamination (Figure 2).

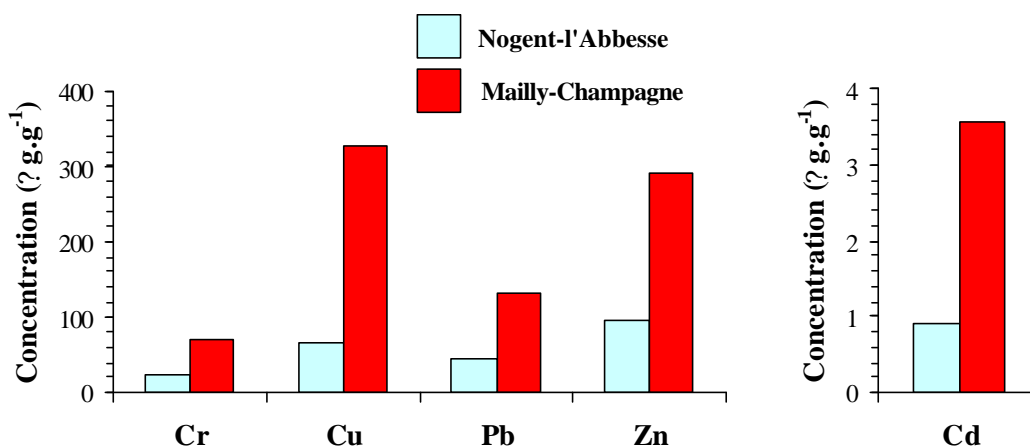


Figure 2: Teneurs en éléments métalliques dans deux des trois sols étudiés

Les teneurs sont inférieures aux normes françaises en vigueur (AFNOR, 1996) dans le sol de Nogent-l'Abbesse et elles leur sont supérieures dans le sol de Mailly-Champagne. Le sol de Nogent-l'Abbesse est donc peu contaminé tandis que celui de Mailly-Champagne peut être considéré comme étant relativement contaminé. Les teneurs 3 à 4 fois plus élevées aux normes françaises en vigueur dans le sol de Mailly-Champagne sont dues à des apports antérieurs à 1993 en compost urbain. Les

deux sols restent néanmoins des sources potentielles de contamination en métaux lourds pour l'environnement. Le sol d'Ecueil est en cours d'étude.

La concentration totale en éléments métalliques permet d'évaluer le degré de contamination d'un sol mais elle fournit des informations insuffisantes sur la mobilité potentielle de ces éléments. Or, les effets environnementaux des éléments métalliques sont directement en relation avec les formes chimiques sous lesquelles ils existent dans un sol (c'est-à-dire leur répartition géochimique). Ils peuvent être associés à divers constituants qui diffèrent par leur capacité à retenir ou à libérer les éléments métalliques. Ils peuvent être adsorbés à la surface des minéraux argileux, adsorbés ou inclus dans les (hydr)oxydes de fer et manganèse, complexés à la matière organique ou présents dans les réseaux cristallins des minéraux primaires (carbonates, alumino-silicates).

La mobilité potentielle des éléments métalliques dans les sols peut être indirectement appréhendée grâce aux procédures d'extractions séquentielles. Elles consistent à appliquer successivement plusieurs réactifs chimiques à un échantillon solide afin d'attaquer les diverses phases constitutives du sol et d'extraire les éléments qui leur sont liés. La procédure choisie dans ce travail est celle recommandée depuis 1993 par le Bureau Commun de Référence (actuellement Standard, Measurement and Testing Program) de la Commission des Communautés Européennes. Ce schéma d'extractions séquentielles permet de séparer quatre fractions : acido-soluble (fraction échangeable et carbonatée), réductible (fraction liée aux oxydes de fer et manganèse), oxydable (fraction liée à la matière organique et aux sulfures) et résiduelle (fraction contenue dans les minéraux primaires). Les trois premières fractions sont susceptibles d'être mobilisées lors d'un changement des conditions environnantes tandis que la fraction résiduelle peut être considérée comme immobile.

La répartition géochimique parmi ces 4 fractions dans les sols de Nogent-l'Abbesse et Mailly-Champagne sont présentées sur la Figure 3. L'attention doit être portée sur les points suivants :

- Certains éléments métalliques (Cd, Cu, Pb et Zn) sont potentiellement plus mobiles que d'autres (Cr).
- La fraction acido-soluble (en jaune) renferme une part significative de Cd et Zn alors qu'elle est pratiquement nulle pour les trois autres éléments.
- La fraction réductible (en rouge) est beaucoup mieux représentée dans la parcelle de Mailly-Champagne. Le fort pourcentage en fer dans cette fraction indiquerait l'abondance des oxydes de fer.
- Le cuivre et le plomb présentent une répartition très différente entre les deux sols. Ils sont principalement associés à la fraction oxydable dans le sol de Nogent-l'Abbesse et à la fraction réductible dans le sol de Mailly-Champagne.

Quantification du ruissellement et de la perte en terres

Les expérimentations effectuées sous pluies simulées ont mis en évidence les caractéristiques hydrodynamiques différentes des trois sols :

- Le sol de Nogent-l'Abbesse se caractérise par une pluie d'imbibition d'environ 50 mm de pluie cumulée, une augmentation progressive et un palier de coefficient de ruissellement de 70-80 % (Figure 4). La perte en terres est d'environ $1 \text{ g.m}^{-2}.\text{mn}^{-1}$.
- Le sol de Mailly-Champagne présente une pluie d'imbibition d'environ 10 mm de pluie cumulée, une augmentation rapide et un palier de coefficient de ruissellement élevé (80-90 %). La perte en terres est d'environ $4 \text{ g.m}^{-2}.\text{mn}^{-1}$.
- Le sol d'Ecueil montre une pluie d'imbibition de 45 mm de pluie cumulée, une augmentation rapide et un palier de coefficient de ruissellement faible (30-40 %). La perte en terres est comprise entre $1 \text{ et } 2 \text{ g.m}^{-2}.\text{mn}^{-1}$.

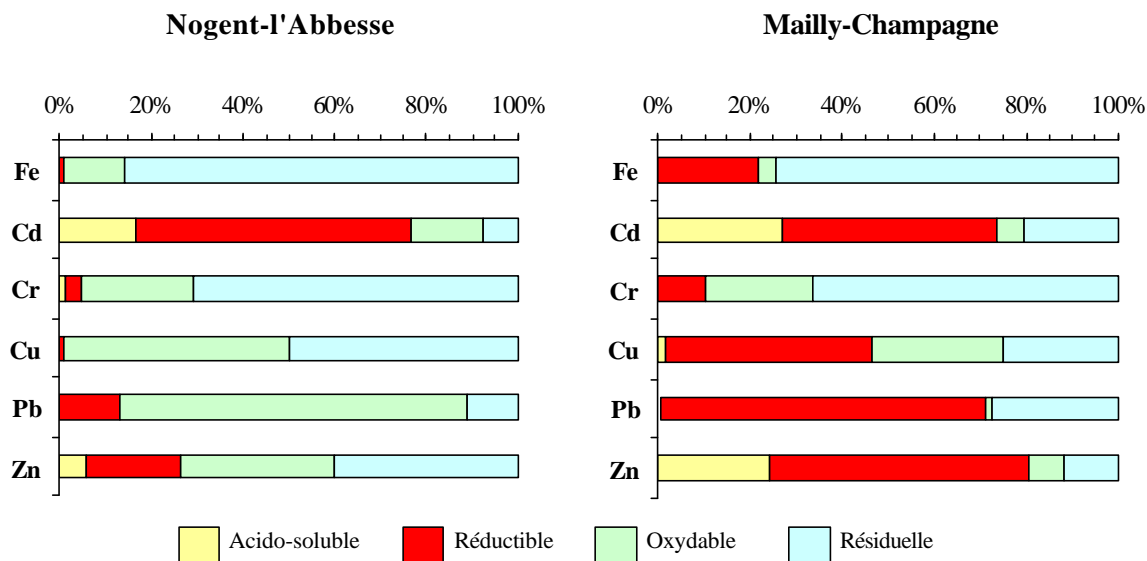


Figure 3 : Répartition géochimique des éléments métalliques parmi les différentes fractions constitutives du sol de Nogent-l'Abbesse, obtenue grâce à la procédure d'extractions séquentielles du BCR. Les résultats sont exprimés en pourcentage relatifs de la concentration totale.

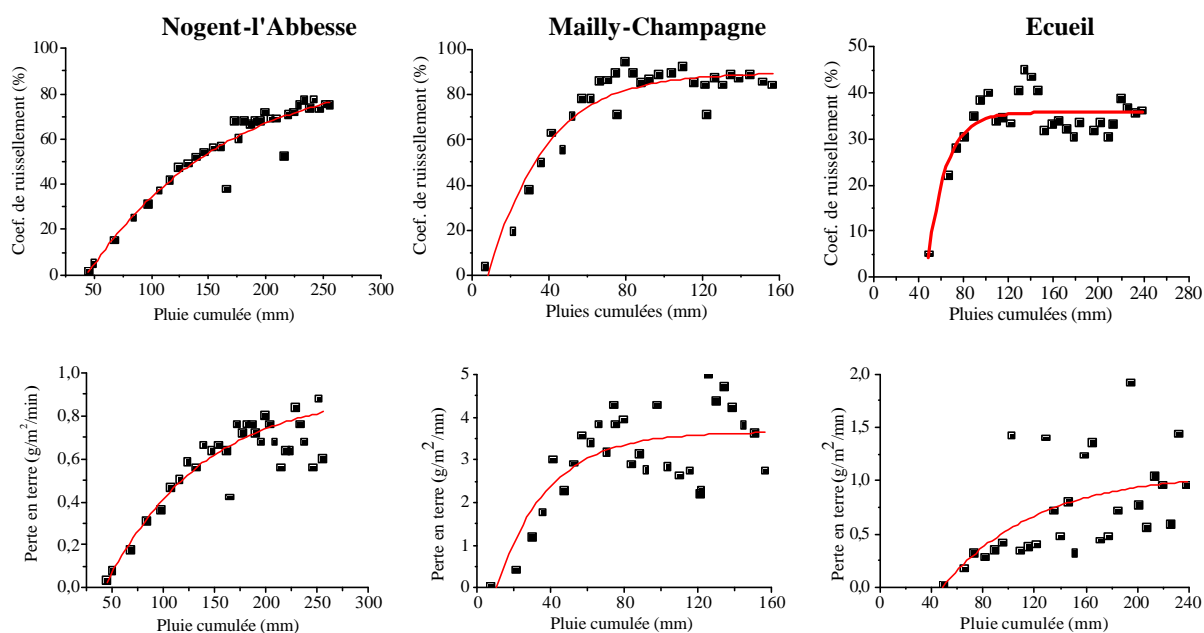


Figure 4 : Coefficient de ruissellement (%) et perte en terres (g.m⁻².min⁻¹) au cours de séries de trois simulations de pluie en laboratoire sur les trois sols.

Les processus de ruissellement à la surface des sols dépendent de leurs capacités d'infiltration et de leurs stabilités structurales, deux paramètres fortement liés aux caractéristiques granulométriques.

La richesse en argiles du sol de Nogent-l'Abbesse lui confère une stabilité structurale relativement élevée, et donc une faible sensibilité aux phénomènes de battance et à l'érosion. Au

contraire, ce sol serait beaucoup plus sensible à une baisse de porosité liée aux phénomènes de tassement et de la prise en masse. Le déclenchement tardif du ruissellement et le fort coefficient de ruissellement enregistrés sont probablement liés à la richesse de ce sol en éléments fins.

Le sol de Mailly-Champagne est particulièrement sensible aux phénomènes de battance en relation avec sa richesse en limons. Le fort taux d'érosion mesuré sur ce sol est la conséquence d'une évolution structurale rapide de la surface du sol d'une part, et du détachement des particules fines par les gouttes de pluies d'autre part.

La texture sableuse du sol d'Ecueil serait la cause du déclenchement tardif du ruissellement ainsi que le taux de ruissellement final (palier du ruissellement) enregistré lors des simulations de pluies. Compte tenu de sa texture, ce sol est en effet favorable à une forte infiltration accompagnée d'une évolution structurale dominée par le lessivage des particules fines. Il en résulte de cette évolution structurale une croûte dite de tamisage, constituée par deux couches, l'une superficielle, riche en éléments grossiers, et l'autre sous-jacente, riches en particules fines lessivées dans la phase d'imbibition du sol. Un palier de ruissellement est rapidement atteint, ce qui traduit l'intensité du lessivage.

Les trois sols étudiés présentent des caractéristiques hydrodynamiques différentes en relation avec leurs caractéristiques granulométriques et des évolutions structurales contrastées.

Des campagnes de mesures sous pluies naturelles ont été menées pendant les étés 2004 et 2005 sur la parcelle de Nogent-l'Abbesse. La collecte d'eau ruissellée et de matériel érodé lors de huit événements pluvieux a permis de mettre en évidence l'influence du couvert végétal sur le volume d'eau ruissellée et sur la masse de terres érodées (Figure 5).

Les résultats montrent des différences très significatives entre les routes enherbées et non enherbées. Le volume d'eau ruissellée sur les routes enherbées est en moyenne 10 à 20 fois moins important que sur les routes non enherbées. De même, les pertes en terres correspondantes sont environ 100 fois moins élevées. Le taux d'érosion est clairement conditionné par la présence ou l'absence de couvert végétal.

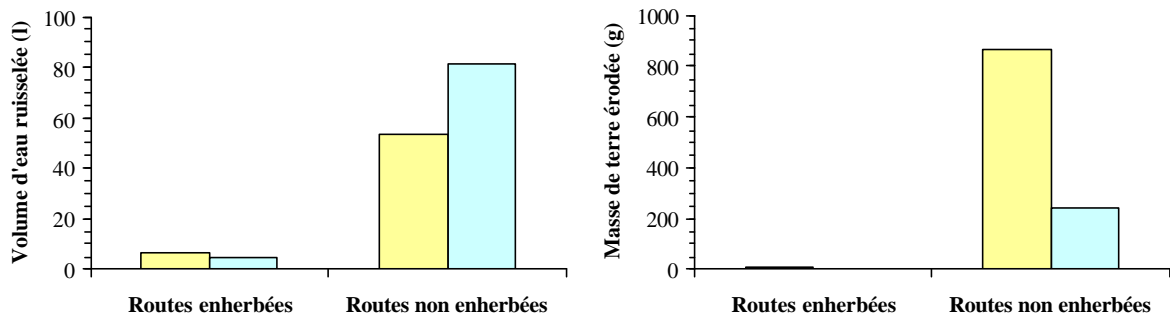


Figure 5 : Volume d'eau ruissellée (l) et masse de terres érodées (g) mesurées sous pluies naturelles au cours de 8 événements pluvieux (étés 2004 et 2005) sur la parcelle de Nogent-l'Abbesse.

Caractérisation physique et chimique des particules érodées

Les distributions granulométriques des particules érodées sous pluies simulées sont conformes à la granulométrie des trois sols et à leur évolution structurale.

Les taux de particules inférieures à 50 µm (argiles et limons) sont compris entre 5 % (Ecueil) et 45 % (Nogent-l'Abbesse ; Figure 6). Ils sont compris entre 30 et 95 % dans le matériel érodé sous pluies simulées. Le matériel érodé se caractérise donc par une prédominance des particules et agrégats de taille inférieure à 50 µm. La forte proportion du matériel fin dans les particules érodées est très

significative dans le sol de Nogent-l'Abbesse, et dans une moindre mesure dans celui de Mailly-Champagne. Au contraire, les particules érodées du sol d'Ecueil sont majoritairement des particules de la taille des sables (diamètre des particules > 50 µm).

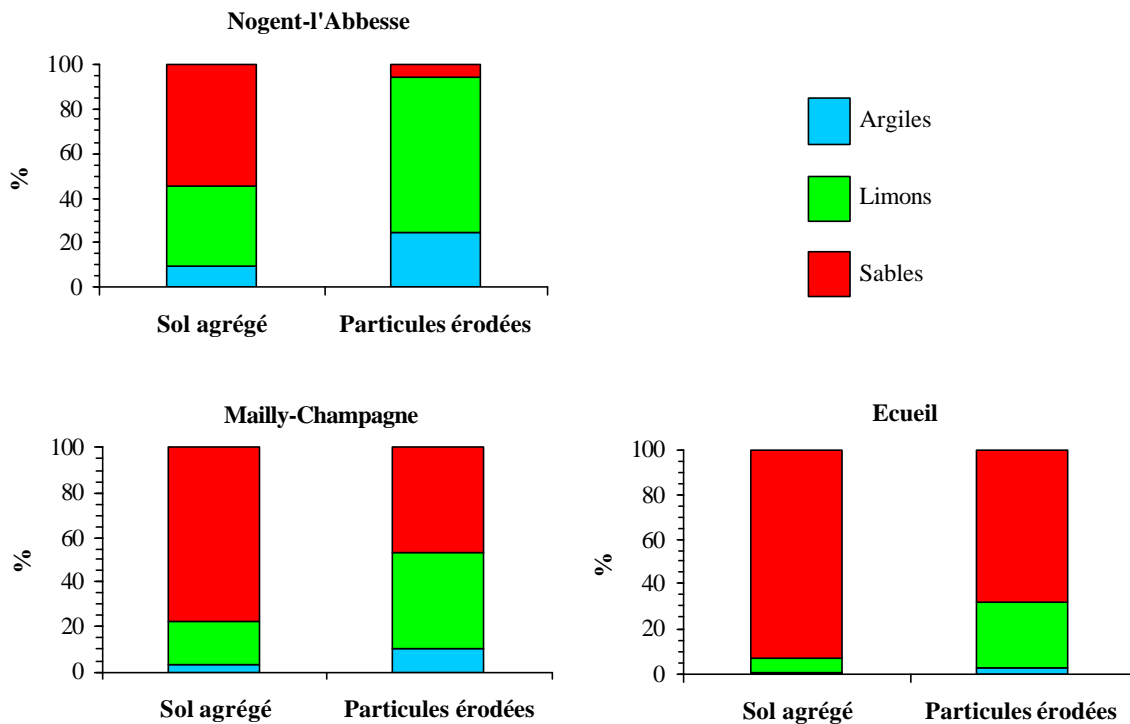


Figure 6 : Distribution de la taille des particules dans les sols et le matériel érodé sous pluies simulées.

La taille granulométrique des particules érodées lors des pluies naturelles sur la parcelle de Nogent-l'Abbesse est présentée sur la Figure 7. Ce sont les particules fines qui sont préférentiellement mobilisées lors des événements pluvieux. Les taux de limons et d'argiles des particules érodées (60-80 % et 15-40 %) sont en effet supérieurs à ceux du sol de la parcelle (41 et 27 %). Ceci est en accord avec les résultats obtenus lors des expérimentations sous pluies simulées.

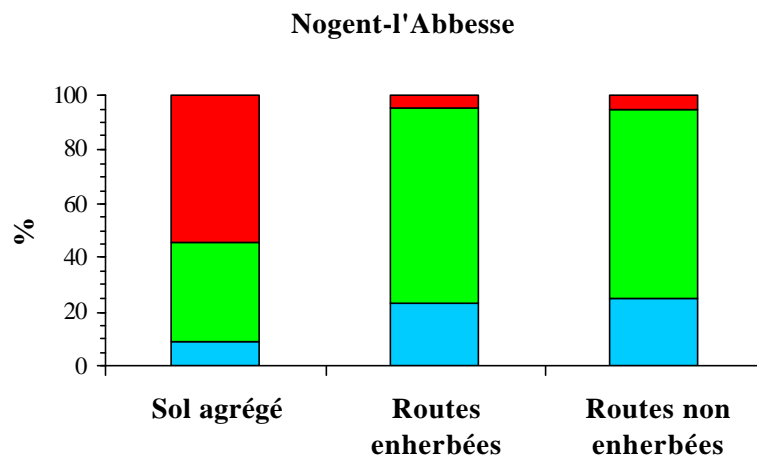


Figure 7 : Distribution granulométrique des particules érodées sous pluies naturelles (routes enherbées et non enherbées) et du sol initial (parcelle de Nogent-l'Abbesse).

La Figure 8 présente les concentrations en éléments traces mesurées dans les particules érodées sous pluies simulées sur les sols de Nogent-l'Abbesse et Mailly-Champagne.

Le transfert des éléments métalliques par ruissellement diffère d'un élément à un autre en relation avec les phases chimiques assurant leur rétention dans le sol initial. Les teneurs totales en Cd et Zn des particules érodées sont supérieures à celle des deux sols initiaux. La part significative de la fraction acido-soluble dans la répartition géochimique de ces deux éléments conditionnerait leur mobilisation préférentielle en association avec le matériel fin carbonaté. A l'inverse, Pb serait lié à des particules grossières peu mobilisées puisque les teneurs en Pb des particules érodées sont similaires à celles des deux sols initiaux. Enfin, Cr et Cu présentent des teneurs dans les particules érodées supérieures à celles du sol de Nogent-l'Abbesse et égales à celles du sol de Mailly-Champagne, en relation avec leur répartition géochimique dans les sols initiaux.

Le transfert par ruissellement sous pluies naturelles semble être régi par les mêmes mécanismes que sous pluies simulées. Les observations entre les teneurs dans le matériel érodé et dans le sol initial sont en effet les mêmes pour Cd, Cr, Pb et Zn (concentrations en Cd, Cr et Zn supérieures à celles du sol ; concentrations en Pb similaires à celles du sol ; Figure 9). En revanche, la distorsion des résultats obtenus pour Cu en laboratoire sous pluies simulées et sur le terrain sous pluies naturelles montre que les processus assurant le transfert de Cu sont affectés par l'échelle expérimentale.

Les mesures de perte en terres avaient montré l'influence du couvert végétal sur la quantité de particules érodées sous pluies naturelles (Figure 5). Cette influence n'est pas reflétée par l'étude des caractéristiques chimiques. Les particules érodées récoltées sur les routes enherbées et non enherbées présentent des teneurs en éléments métalliques identiques (Figure 9) Le couvert végétal ne présente donc aucune influence sur la nature des particules mobilisées.

La détermination de la répartition géochimique des éléments métalliques dans la phase solide des particules érodées permettra de mieux comprendre l'influence de la nature des phases porteuses sur la redistribution spatiale des éléments Ceci sera complété par l'analyse de la teneur en matière organique et en CaCO_3 de ces particules.

Mesures in situ des capacités d'infiltration de différentes unités de sols

Les mesures des capacités d'infiltration ont porté sur 16 unités de sol définies par le Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne (CIVC). Au total, 93 mesures de conductivités hydrauliques réparties sur 11 unités de sols ont été réalisées.

Le tableau 1 présente une synthèse des valeurs obtenues en fonction de la texture des différents sols. Les valeurs de conductivité hydraulique se caractérisent par une forte variabilité entre les différentes unités de sols d'une part, et au sein des unités de sol d'autre part. On observe les plus fortes variabilités de conductivité hydraulique dans les textures à dominance argileuse (sol brun calcaire sur produits de recouvrement peu carbonatés ou sol brun calcaire sur sable calcaire). Les textures à dominante sableuse et limoneuse montrent des valeurs de conductivité plus homogènes, de faibles à modérées.

Ces résultats montrent que la texture des différents sols n'est pas le seul facteur explicatif de la variabilité de la conductivité hydraulique. Les mesures d'autres facteurs physiques comme la résistance à la pénétration et la densité apparente sont envisagées. De même, un calage des mesures de conductivité obtenues sur le terrain par simulations de pluie est envisagé. Ces travaux complémentaires permettront d'établir une hiérarchisation des valeurs de conductivité hydraulique obtenues sur le terrain. Le terrain sera ainsi organisé en unités hydrologiques homogènes destinées à une intégration au modèle STREAM pour le ruissellement.

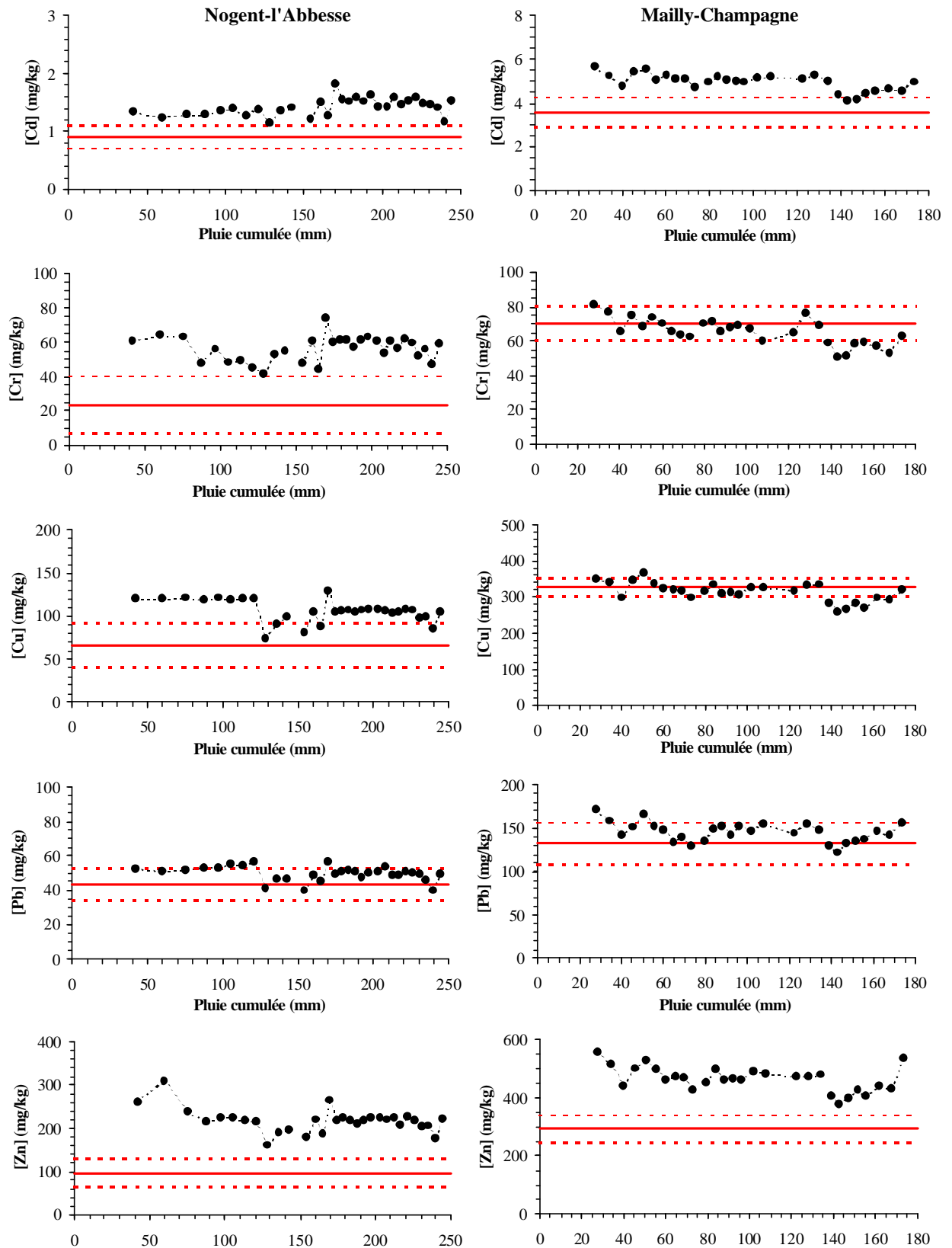


Figure 8 : Concentrations en éléments métalliques (Cd, Cr, Cu, Pb et Zn) mesurées dans les particules érodées sous pluies simulées sur les sols de Nogent-l'Abbesse et Mailly-Champagne. Les lignes horizontales correspondent aux teneurs maximales, moyennes et minimales mesurées dans le sol initial.

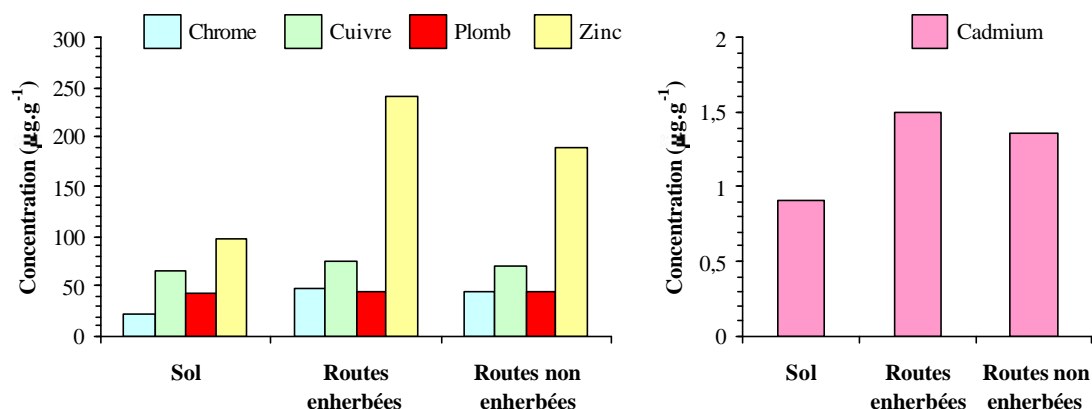


Figure 9 : Concentrations en éléments métalliques des particules érodées sous pluies naturelle (routes enherbées et non enherbées) et du sol initial (parcelle de Nogent-l'Abesse).

Tableau 1 : Gamme de valeurs (minimales, moyennes et maximales) des conductivités hydrauliques à saturation mesurées sur les différentes unités de sol définies par le CIVC.

Sol	Textures	Min	Moy	Max	n
Rendzine et sol brun calcaire sur craie	LAS à A	0	3,0	7,3	6
	LAS				
Sol brun calcaire sur gravier de craie	LAS à A LAS à AL	0	3,9	9,6	9
Sol brun calcaire sur marnes blanches	SL à ALS	1,9	5,2	8,5	3
Sol brun calcaire sur produits carbonatés	LAS à A	1,0	1,7	2,3	2
	ALS à A				
	ALS à A				
	LAS à A				
	ALS à A				
Sol brun calcaire sur produits peu carbonatés	LAS à A LAS à AL LAS à ALS SA à SL SL à A	0	4,4	29,0	56
Sol brun calcaire sur sable calcaire	SA à SL	0	1,8	6,6	13
Sol brun sur argile à meulière	AS à A	0,5	1,1	1,7	4
Sol brun sur limon calcaire	LA à AL				
Sol brun sur limon calcaire	LAS à AL	0,8	1,4	4,1	6

2.2. Adaptation du modèle STREAM : Constitution d'une base de données et intégration dans un SIG

La Figure 10 montre la carte de répartition des unités de sol dans le secteur viticole de la vallée de la Vesle (plages colorées). Cette carte montre également les points de mesures de conductivité hydrauliques, géoréférencés à l'aide d'un GPS (points rouges).

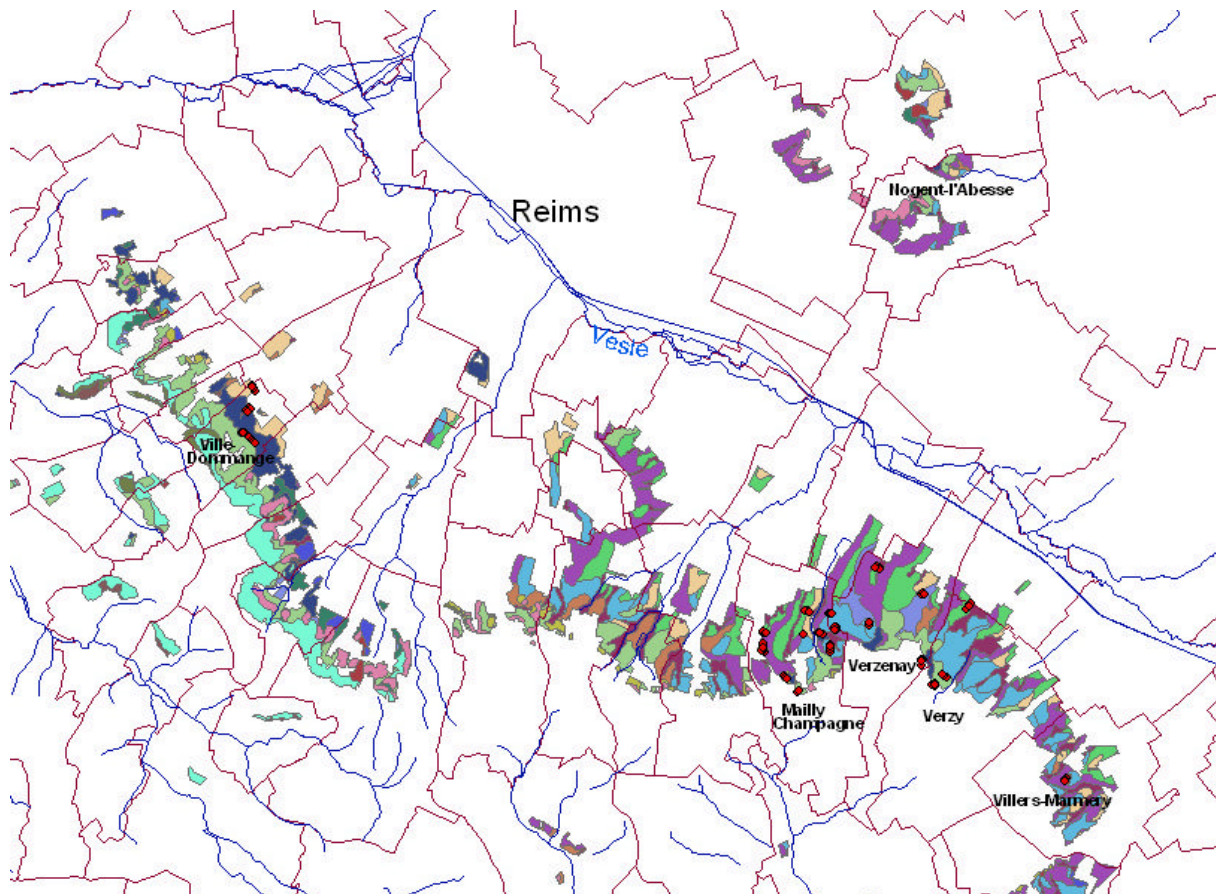


Figure 10 : Carte de répartition des sols et localisation des points de mesures de conductivité hydraulique à saturation.

L'intégration des données au sein du SIG se poursuivra après calage des données de terrain par simulations de pluie et hiérarchisation des valeurs en classe de capacité d'infiltration.

3. Conclusion

Cette étude a été réalisée dans le secteur viticole du bassin versant de la Vesle, siège de phénomènes de ruissellement liés aux averses estivales. Elle a été réalisée sur des sols de caractéristiques granulométriques et chimiques différentes, représentatifs du bassin versant. Les travaux mis en œuvre comprennent : des mesures de ruissellement (sur le terrain et au laboratoire) et de capacité d'infiltration (in situ), accompagnées par la caractérisation physique et chimique des particules érodées.

L'étude des processus de ruissellement par simulations de pluies en laboratoire sur un sol de rive droite (Nogent-l'Abbesse) et deux sols de rive gauche de la Vesle (Mailly-Champagne et Ecuil) ont mis en évidence des comportements hydrodynamiques différents. Le matériel érodé sur ces sols se caractérise par une prédominance des particules fines. Ces résultats ont été mis en relation avec la texture des trois sols et l'évolution structurale de leur surface lors des événements pluvieux. Les contenus métalliques associés au matériel érodé lors de ces événements pluvieux montrent des variations liées à l'élément métallique et à la nature du sol. La mobilité des éléments étant fortement liée à leurs phases porteuses, leur concentration dans le matériel érodé dépend de leurs répartitions géochimiques dans le sol initial.

Les résultats de mesure de ruissellement sous pluies naturelles sur une parcelle viticole (Nogent-l'Abbesse) a mis en évidence l'influence du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion. Les volumes d'eau ruisselée et la masse de particules érodées sont en effet minimisés lorsque les

routes de la parcelle sont enherbées. En revanche, le couvert végétal n'a aucune influence sur la taille des particules érodées, qui sont globalement plus fines que le matériel pédologique initial. Les éléments traces métalliques associés à ce matériel particulaire fin sont dispersés de façon différentielle en relation avec les phases chimiques porteuses.

Les résultats des mesures des capacités d'infiltration réalisées sur plus de la moitié des unités de sols ont montré une forte variabilité, indépendante de la classe texturale des sols. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour définir des unités hydrologiques homogènes.

Ces travaux ont permis de déterminer les réponses aux ruissellement et les capacités d'infiltration des sols, d'évaluer le degré de contamination des sols par les éléments métalliques et enfin de comprendre un aspect des modalités de transfert de ces éléments associés au matériel érodé.

Les résultats de cette étude serviront à la constitution d'une base de données complète, destinée à l'adaptation et l'utilisation du modèle STREAM.

La poursuite des travaux permettra de prédire l'impact des pollutions métalliques par le ruissellement et l'érosion diffuse, d'évaluer les risques de contamination des eaux superficielles et souterraines, et de tester l'impact de la modification des pratiques agricoles.

4. Perspectives

Les travaux de recherche se poursuivront avec l'extrapolation des données à l'échelle du bassin versant comme objectif principal. Nous procéderons au calage des mesures de terrain par simulations de pluies. Les mesures de conductivité hydraulique seront réalisées sur les unités de sols encore non étudiées. L'ensemble de ces activités sera effectué au cours du printemps et de l'été 2006. Les mesures in situ de ruissellement et d'érosion se poursuivront au cours de l'été 2006 sur la parcelle expérimentale de Nogent-l'Abbesse, ainsi que sur un second dispositif de mesures ultérieurement installé sur la rive gauche de la Vesle.

La compréhension des processus de transfert des métaux lourds se poursuivra en parallèle des mesures des paramètres physiques et à travers la détermination des phases porteuses des éléments métalliques. L'étude de la répartition géochimique de ces éléments dans les différents sols et dans les particules érodées sera réalisée.

L'intégration dans le modèle STREAM nécessitera la détermination d'unités hydrologiques homogènes. Ces unités seront définies sur la base des données calées de conductivité hydraulique et de mesures d'autres facteurs physiques. Les mesures de la résistance à la pénétration et de la densité apparente seront réalisées dans le cadre du stage de Master2 de Tarik El Haddadi (Soutenance prévue en juin 2006). L'intégration des données dans STREAM se fera dans le cadre de la thèse de Jean-Baptiste Dessogne, qui est dans sa deuxième année, et en collaboration avec Alain Couturier (Unité Science Sol, INRA Orléans). La liaison STREAM/SENEQUE sera réalisée dans le cadre de l'action Erospace en collaboration avec le BRGM (Olivier Cerdan), INRA-SAD Grignon (Véronique Souchère) et l'UMR Sisyphe (Gilles Bilen).