

# Utilisation du modèle STREAM pour raisonner les aménagements fonciers

M. Lheriteau<sup>(1)</sup>, V. Souchère<sup>(2)</sup>, J-F. Ouvry<sup>(1)</sup>, A. Couturier<sup>(3)</sup> et S. Lechêne<sup>(4)</sup>

(1) AREAS, 2, avenue Foch, 76460 Saint Valéry en Caux, France

(2) INRA, UMR SADAPT, B.P. 1, 78850 Thiverval Grignon, France

(3) INRA, Science du Sol, B.P. 20619, 45166 Olivet Cedex, France

(4) Cabinet Géomètre Expert, 17, avenue Marechal Foch 76210 Bolbec, France

## RÉSUMÉ

En Pays de Caux, les ruissellements sur parcelles agricoles sont à l'origine de troubles importants en fréquence et en coûts, tels que de l'érosion concentrée, des coulées de boues et de la turbidité de l'eau potable. Les pentes y sont faibles (< 3 %), le réseau de concentration du ruissellement est donc fortement dépendant de la forme des parcelles, de leurs limites et du sens de culture par rapport à la pente.

Depuis les années 1997, dans les opérations d'aménagement foncier, des aménagements sont proposés et réalisés pour limiter le risque érosif par ruissellement concentré. Dans le cadre d'une opération de ce type, en cours dans un bassin versant de 501 ha, nous avons cherché à utiliser STREAM pour localiser les zones à risque d'écoulements concentrés et donc déterminer celles qui feront l'objet d'une proposition d'aménagement. Après obtention des paramètres d'entrée, le modèle STREAM a permis de comparer le réseau d'écoulement et les volumes écoulés avant et après les opérations de remembrement et cela pour différents événements pluvieux. Les résultats graphiques font bien ressortir toutes les modifications du réseau de concentration des écoulements sur le plateau, du fait des changements de limites et de taille des parcelles. Puisque globalement l'occupation du sol est volontairement restée identique, il n'y a pas de différence significative dans les volumes totaux à l'exutoire du bassin versant. Par contre sur le plateau, STREAM met bien en évidence des modifications locales importantes liées par exemple à la suppression d'une prairie (50 % de ruissellement en plus). STREAM a aussi permis de tester l'impact de l'aménagement de deux mares tampon sur les écoulements.

Les résultats obtenus démontrent que l'utilisation de STREAM au cours d'un aménagement foncier peut être utile, et permettent aussi de déterminer sous quelles conditions il est un outil d'aide à la décision pour le bureau d'études. Il permet de dégager les atouts du parcellaire existant afin de les conserver dans le projet et de tester le nouveau parcellaire au stade de l'avant projet afin de voir son impact sur le réseau d'écoulement. Suivant les marges de manœuvre disponibles, le bureau d'études peut alors proposer des aménagements anti érosifs ou modifier le projet de parcellaire.

## Mots clés

Remembrement, ruissellement, modèle STREAM

**SUMMARY****USE OF THE STREAM MODEL FOR LAND-USE MANAGEMENT**

*In the Pays de Caux, runoff on crop fields is at the origin of important disturbances in frequency and costs, such as ephemeral gully erosion, muddy flows and turbidity of drinking water. As most of the slopes are gentle (< 3 %), water circulation thus strongly depends on the shape, limits and tillage direction of fields.*

*Since 1997, in the operations of land development, techniques are proposed and realized to limit erosive runoff. Within the framework of such an operation in progress in a catchment area of 501 ha, STREAM was used to locate areas where the runoff is likely to concentrate and thus to determine suitable sites for control measures. After obtaining input data, STREAM made it possible to compare the runoff patterns and volumes before and after land consolidation and that for several spring and winter rainfall events with return periods of from 2 to 20 years. Graphic results highlight modifications of the runoff network on the plateau, due to the changes of fields' limits and size. Since land use remained unchanged, there is no significant difference in runoff volumes at the outlet of the catchment area. On the other hand, on the plateau, STREAM highlights important local modifications related for example to the removal of a meadow (50 % more runoff). STREAM also made it possible to test the impact of the installation of two new ponds on runoff.*

*Results show that the use of STREAM during an operation of land development can be useful, and they also make it possible to determine under which conditions it is a tool to aid engineering and design department decision making. It makes it possible to identify the assets of existing field pattern in order to preserve them in the project and test the new field pattern at the stage of the preliminary draft in order to estimate its impact on the runoff. The engineering and design department can then propose soil protection measures or modify the initial project.*

**Key-words**

*Land consolidation, runoff, STREAM model*

**RESUMEN****USO DEL MODELO STREAM PARA RAZONAR LAS INSTALACIONES RURALES**

*En el país de Caux, los escurrimientos sobre las parcelas agrícolas son al origen de importantes desordenes en frecuencia y en costos, tal como la erosión concentrada, las coladas de lodos y la turbiedad del agua potable. Las pendientes son ligeras (<3%), la red de concentración del escurrimiento es pues fuertemente dependiente de la forma de la parcela, de sus límites y del sentido del cultivo con la pendiente.*

*Desde 1997, en las operaciones de desarrollo rural, se proponen y se realizan equipamientos para limitar el riesgo erosivo por escurrimiento concentrado. En el cuadro de una operación de este tipo en una cuenca vertiente de 501 ha, buscamos usar STREAM para localizar las zonas con riesgo de escurrimientos concentrados y pues determinar las que serán el objeto de una proposición de equipamiento. Después de la obtención de los parámetros de entrada, el modelo STREAM permitió comparar la red de escurrimiento y los volúmenes pasados antes y después de las operaciones de reagrupación de las parcelas y esto por diferentes acontecimientos pluviosos de invierno y de primavera, con periodos de retorno de 2 a 20 años. Los resultados gráficos hacen bien resaltar todas las modificaciones de la red de concentración de los escurrimientos sobre la mesa, del hecho de los cambios de límites y de tamaños de las parcelas. Puesto que globalmente la ocupación del suelo se quedo voluntariamente idéntica, no hay diferencia significativa en los volúmenes totales al exutorio de la cuenca vertiente. Por el contrario en la mesa, STREAM pone bien en evidencia modificaciones locales importantes ligadas por ejemplo a la supresión de una pradera (50% de escurrimiento más). STREAM permitió también testar impacto de la transformación de dos mares también sobre los escurrimientos.*

*Los resultados obtenidos demuestran que el uso de STREAM en el curso de un equipamiento rural puede ser útil, y permitir así determinar bajo cuales condiciones es una herramienta de ayuda a la decisión para la sociedad de consultoría. Permite mostrar los volores del parcelario existente afín de conservarlos en el proyecto y de testar el nuevo parcelario al nivel del anteproyecto afín de ver su impacto sobre la red de escurrimiento. Según las márgenes de maniobra disponibles, la sociedad de consultoría puede entonces proponer equipamientos anti-erosivos o modificar el proyecto de parcelario.*

**Palabras clave**

*Reagrupación de las parcelas, escurrimiento, modelo STREAM*

## INTRODUCTION

### Rappel du contexte érosif régional

Le Pays de Caux est caractérisé par un plateau entaillé par des vallées sèches. Sur ce plateau, les pentes sont le plus souvent inférieures à 5 % et la polyculture y est très développée (Ouvry, 1989). Les ruissellements sur les terres agricoles se produisent essentiellement en automne - hiver presque tous les ans, voire plusieurs fois par an (Boiffin *et al.*, 1988 ; Hellico *et al.*, 2003). Ils ont trois conséquences majeures : érosion des sols, coulées de boues et turbidité de la ressource en eau avec les pollutions associées en micro-organismes et produits phytosanitaires (Papy et Douyer, 1991 ; AESN, 2004).

Les lames ruisselées mesurées vont de 0,1 à 8 mm par hectare cultivé avec des charges solides de 0,1 à 2 g l<sup>-1</sup> (exceptionnellement 100 g l<sup>-1</sup>) (Martin *et al.*, 1997 ; Le Bissonnais *et al.*, 1998 ; Lecomte, 1999). A l'échelle d'un petit bassin versant (< 1 km<sup>2</sup>), l'érosion déplace en moyenne 7 à 10 t ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> avec une amplitude de 0,1 à 70 t ha<sup>-1</sup> (Ludwig, 1992 ; Le Bissonnais, *et al.*, 1998). Le processus érosif dominant est celui de l'érosion linéaire par ruissellement concentré dans les talwegs (Boiffin, *et al.*, 1988) qui représente les deux tiers de la quantité de particules arrachées. La localisation de ces figures d'érosion linéaire dépend bien sûr de la topographie, mais étant donné la faiblesse des pentes sur le plateau, elle est fortement influencée par les limites agraires (formes du parcellaire, bords de champs, haies...) (Auzet *et al.*, 1990, Auzet *et al.*, 1993 ; Ludwig, 1992). Le dernier tiers des particules arrachées est dû à de l'érosion diffuse et à la présence d'érosion linéaire sur les versants particulièrement pentus.

La sédimentation des particules commence très rapidement. Le taux de dépôt est en moyenne supérieur à 70 % au sein même des petits bassins versants inférieurs à 2 km<sup>2</sup> (Le Bissonnais, *et al.*, 1998). Cela reste dépendant des conditions hydrologiques (débit et vitesse) ainsi que de la nature de l'occupation du sol dans les talwegs (herbe ou culture).

L'évolution de l'agriculture des dernières décennies a contribué à aggraver les phénomènes érosifs et notamment la fréquence des catastrophes (Papy et Douyer, 1991). Deux caractéristiques de cette évolution ont eu un effet manifeste : le retournement des prairies et l'agrandissement des parcelles, même quand il n'est pas accompagné de la suppression de haies ou de talus. La première est le fruit d'une spécialisation des systèmes de production à partir d'un type polyculture élevage, jadis fréquent, et d'une évolution des systèmes fourragers, dans lesquels le maïs prend partiellement la place de l'herbe. La seconde constitue une façon efficace d'accroître la productivité du travail, objectif premier de l'agriculture française au cours de l'époque récente. Dans un certain nombre de cas, cette évolution a nécessité au préalable des opérations d'aménagement foncier plus ou moins importantes. Or, plusieurs études ont montré que les opérations d'aménagement foncier visant à améliorer

le parcellaire notamment les remembrements réalisés dans les années 1960 - 70, peuvent être à l'origine d'importants bouleversements au sein d'un territoire (Binard et Bollinne, 1980 ; Souchère *et al.*, 2003b). Ces bouleversements se traduisent entre autres par des modifications du fonctionnement hydrologique du territoire remembré susceptibles elles-mêmes de générer une aggravation des phénomènes de ruissellement et d'érosion.

Le département de la Seine Maritime auquel appartient le Pays de Caux a connu depuis la fin des années 1960, une série d'opérations d'aménagement foncier visant à améliorer le parcellaire agricole. En Seine Maritime, la situation à la fin de l'année 1996 montre que le pourcentage de surfaces remembrées au sein de chaque commune varie considérablement (*figure 1*). A cette date, le territoire d'un tiers des communes, dessinées en blanc sur la carte, n'était pas encore remembré tandis que le territoire d'un second tiers de communes, en marron sur la carte, avait déjà été remembré à plus de 60 %. Même s'il n'existe pas de statistiques plus récentes, on peut penser que la situation a évolué depuis 1996 à cause de l'implantation de deux nouvelles autoroutes dans ce département. Le pourcentage de communes non remembrées a dû diminuer significativement.

### Intégration d'un volet hydrologique dans les opérations d'aménagement foncier

Depuis 1992, les opérations d'aménagement foncier sont plutôt considérées par le département comme une opportunité d'agir sur les problèmes de ruissellement. En s'appuyant sur la législation relative aux opérations d'aménagement foncier, l'expérience a montré qu'il est possible de mener ces opérations sans aggraver les ruissellements et même d'en profiter pour résoudre certains problèmes existant. En effet, la loi prévoit que l'étude préalable d'aménagement foncier doit comporter un volet hydraulique qui permet d'identifier les éléments qui jouent un rôle dans le fonctionnement hydraulique du territoire (talus, fossés, haies, chemins...) ainsi que les besoins en la matière. Les procédures d'aménagement foncier offrent aussi la possibilité de réaliser des « travaux connexes » et des réserves foncières qui pourront avoir l'un et l'autre une vocation hydraulique. L'intérêt que présente une opération d'aménagement foncier, c'est aussi de définir de nouvelles limites de parcelles, qui doivent être pensées en tenant compte des contraintes hydrauliques. Pour faire de l'opération une réussite, le bureau d'études doit donc apprécier le fonctionnement hydrologique du parcellaire issu de l'aménagement foncier pour définir et localiser les aménagements connexes de manière efficace.

### De l'intérêt d'une modélisation

Sur les territoires où les pentes sont faibles, l'utilisation d'un modèle qui tient compte du rôle des motifs agraires dans le fonctionnement hydrologique d'un territoire serait un outil d'aide à la décision particulièrement utile.

Le modèle de type « Expert » développé par l'INRA Science du Sol d'Orléans et l'INRA SAD de Grignon, permet de simuler les ruissellements sur un bassin versant pour un événement pluvieux donné. L'originalité de ce modèle réside dans les facteurs influençant le ruissellement qu'il prend en compte. En effet, il intègre non seulement l'occupation du sol, la pente, les états de surface sur chaque parcelle, mais aussi les limites de parcelles, la rugosité définie par les motifs agraires et l'orientation du travail du sol par rapport à la pente. Il est donc non seulement bien adapté à la problématique du plateau du Pays de Caux mais il semble aussi convenir aux besoins définis dans le cadre d'opérations d'aménagement foncier. En effet, outre la quantification du ruissellement (Cerdan *et al.*, 2002b), le modèle permet de quantifier l'érosion et les pertes en terre (Cerdan *et al.*, 2002a ; Souchère *et al.*, 2003a), tout en localisant les zones où ces phénomènes se produisent (Souchère *et al.*, 1998). Il peut également être utilisé pour simuler les effets liés à la modification de la localisation des cultures, des façons culturales, de la disposition des parcelles, du sens de travail du sol ou pour tester l'impact d'aménagements destinés à lutter contre l'érosion (bandes enherbées, mares tampons...). Compte tenu des possibilités offertes par ce modèle, nous avons décidé de les tester pour évaluer l'impact d'une procédure d'aménagement foncier en comparant les situations avant et après l'opération pour une même série d'événements pluvieux.

Cet article présente comment le modèle STREAM a été utilisé dans le cadre d'un remembrement et quels sont les résultats obtenus, les intérêts, limites et enseignements de l'utilisation de STREAM pour ce type d'opération. Dans notre cas d'étude, l'opération menée est un remembrement, mais l'étude aurait pu être conduite pour tout autre type d'aménagement foncier.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### Description du site d'étude

L'étude menée en 2002 (Lechêne, 2002) porte sur un bassin versant concerné par le chantier de remembrement réalisé dans le cadre de l'aménagement de l'Autoroute A 29 entre Neufchâtel en Bray et Amiens. Le bassin versant étudié est situé sur la commune de Flamets-Frétils (coordonnées de l'exutoire X = 2526,67 Y = 544,58) à une dizaine de kilomètres à l'Est de Neufchâtel en Bray. Il couvre une superficie de 501 hectares. Il s'agit d'un plateau, entaillé par de longues vallées sèches, d'orientation générale Sud-Est / Nord-Ouest. Son altitude moyenne est d'environ 200 mètres avec une dénivellée atteignant une centaine de mètres. Le plateau est recouvert de limons battants semblables à ceux que l'on rencontre dans l'ensemble du Pays de Caux. Les sols des versants sont plus argileux et donc moins battants. C'est un secteur de polyculture élevage où les occupations du sol sont partagées en terres labourables (46 %), prairies (43 %)

et bois (9 %). Les zones bâties représentent moins de 3 % de la surface du bassin versant.

### Données utilisées

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé plusieurs types de données pour comparer la situation avant remembrement (1999) et celle après remembrement (2004) qui correspond à la date à laquelle les parcelles ont été mises à la disposition des agriculteurs :

- Un MNT réalisé par photogrammétrie (un point tous les 30 mètres environ) complété par des levés topographiques traditionnels pour positionner les routes et les chemins.
- Un plan de classement des terres réalisé à l'aide d'une grille de classes de terre établie par la Commission Communale d'Aménagement Foncier (CCAF). Ce plan indique la classe de terre de chaque parcelle et donc le nombre de points qui lui est attribué en fonction non seulement du type de sol mais aussi des contraintes d'exploitation (pente, pylône, bâti, mare, etc.). L'objectif est de donner à chaque propriétaire après remembrement autant de points qu'il en avait avant. Ce plan a été utilisé pour dresser à dire d'expert une carte des sols au 1/2000<sup>e</sup> en répartissant les différentes classes de terres labourables et de prairies de la zone en 4 grands types de sol (*tableau 1*).
- Un parcellaire de propriété avant et après remembrement,
- Un parcellaire d'exploitation avant remembrement,
- Des photographies aériennes en noir et blanc ou en couleur du secteur remembré pour déterminer l'occupation des sols en 1999.

### Obtention des paramètres du modèle STREAM

Le fonctionnement du modèle STREAM nécessite de disposer, pour l'ensemble du bassin versant étudié, d'informations non seulement topographiques (intensité et orientation des pentes) mais aussi d'informations sur le parcellaire (forme, taille, occupation et direction du travail du sol des parcelles) et sur l'état de surface du sol qui dépend du faciès, de la rugosité, et du couvert végétal de chaque parcelle. Ces dernières informations sont utilisées par STREAM pour calculer la capacité d'infiltration de chaque parcelle agricole en s'appuyant sur les résultats de nombreux travaux expérimentaux menés en haute Normandie depuis plus de 15 ans (Boiffin, *et al.*, 1988 ; King et Le Bissonnais, 1992 ; Ouvry, 1992 ; Gallien *et al.*, 1995 ; Ludwig *et al.*, 1996) et déterminer ainsi le risque de ruissellement de chaque parcelle.

Le choix a été fait de tester le scénario proposé par le géomètre durant les deux périodes à risque de ruissellement dans la région, quand la croûte de battance est généralisée sur les parcelles. Il s'agit du mois de décembre, période à laquelle tous les travaux du sol et semis d'automne sont déjà effectués et où aucune inter-

Figure 1 - Importance des surfaces remembrées dans les communes du département de Seine Maritime en 1996.

Figure 1 - Percentage of consolidated areas in Seine Maritime at the end of 1996.

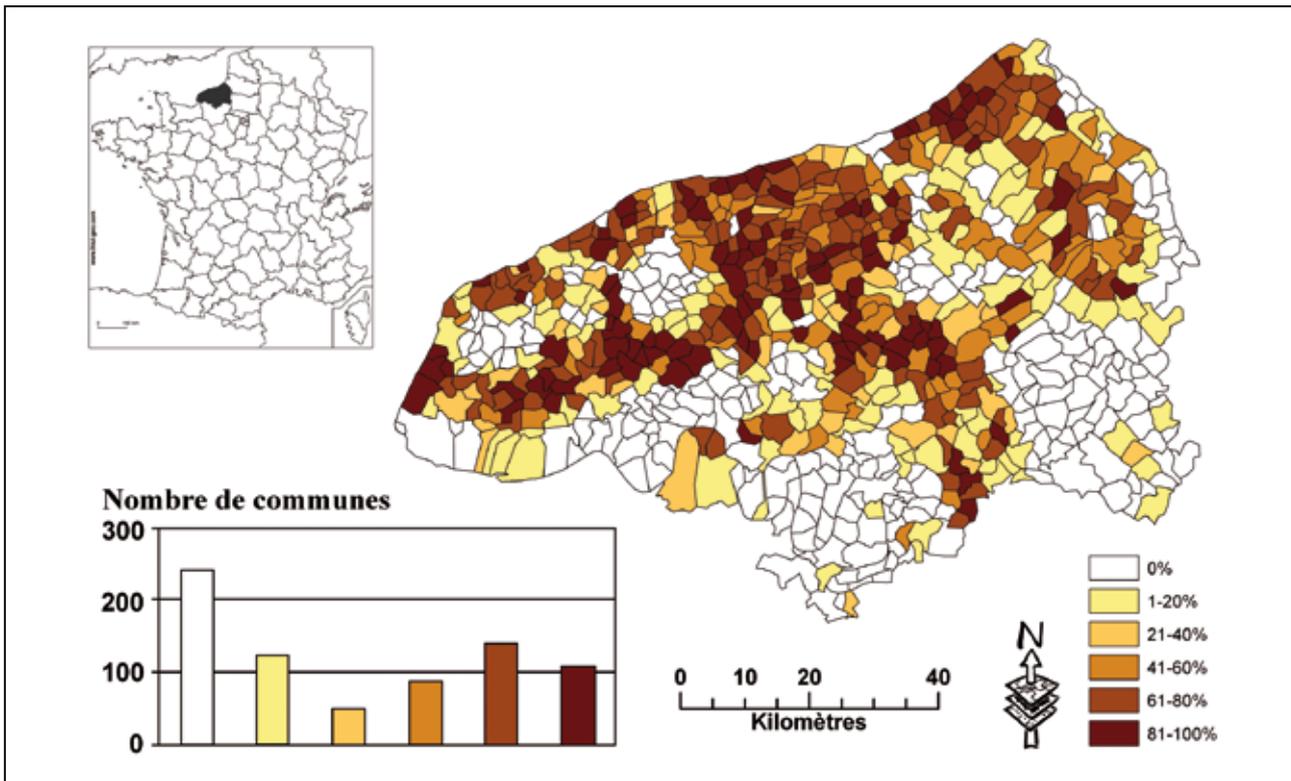


Tableau 1 - Définition des types de sol à partir du plan de classement des terres.

Tableau 1 - Soil types according to the defined land classification.

Type	Nom des classes de terre		Type de sol et superficie dans la commune**
	Terre de Labour	Prairie	
A	T1*, T2	P1, P2	Limons battants 19 %
	Terres de limons		
B	T4, T6	P4, P6	Limons 26 %
	Terre rouge		
C	T3, T5	P3, P5	Limons argileux +/- caillouteux 25 %
	Terre grise		
D	T7, T8, T11	P8, P9, P10, P11	Rendzine et Argile à Silex 20 %

\* Les classes de terre sont définies proportionnellement à leur potentialité agronomique, et en tenant compte de la pente et de la pierrosité. Les très bonnes terres ou prairies sont dans les classes T1 ou P1 = base 100.

\*\* Les 10% restants correspondent aux zones boisées et bâties pour lesquels les sols n'ont pas été identifiés.

vention n'a lieu sur les parcelles pendant 2 ou 3 mois. C'est aussi le mois où les cumuls de pluie engendrent des ruissellements importants provoquant les premiers dégâts. La deuxième période à risque est le mois de mai durant lequel tous les semis de printemps sont terminés et où les risques d'orage sont importants alors que les cultures ne couvrent pas encore efficacement le sol, notamment les cultures sarclées (maïs et betterave).

En ce qui concerne les données topographiques, elles ont été obtenues à partir du MNT et des levés de terrain complémentaires. Le parcellaire a lui été numérisé par le cabinet de géomètre en charge du remembrement sur le secteur d'étude pour les deux dates (1999 et 2004). Pour chaque parcellaire (avant ou après remembrement), la direction du travail du sol a été fixée en faisant l'hypothèse que les agriculteurs travaillent leur parcelle dans le sens de la plus grande longueur afin de minimiser les demi-tours en bout de champ lors des opérations culturales. Les autres données (occupation et état de surface des parcelles) ont été obtenues de façon indirecte comme nous allons le voir.

## Acquisition de l'occupation du sol

L'information concernant l'occupation du sol avant remembrement a été obtenue à partir de la photographie aérienne couleur du 3 septembre 1999. En connaissant les cultures habituellement pratiquées sur le secteur d'étude (essentiellement blé, colza, pois et maïs ensilage), le calendrier agricole et les rotations habituellement pratiquées dans la région (blé / maïs ensilage pour les fermes d'élevage et colza / blé / maïs ensilage / blé / pois pour les fermes

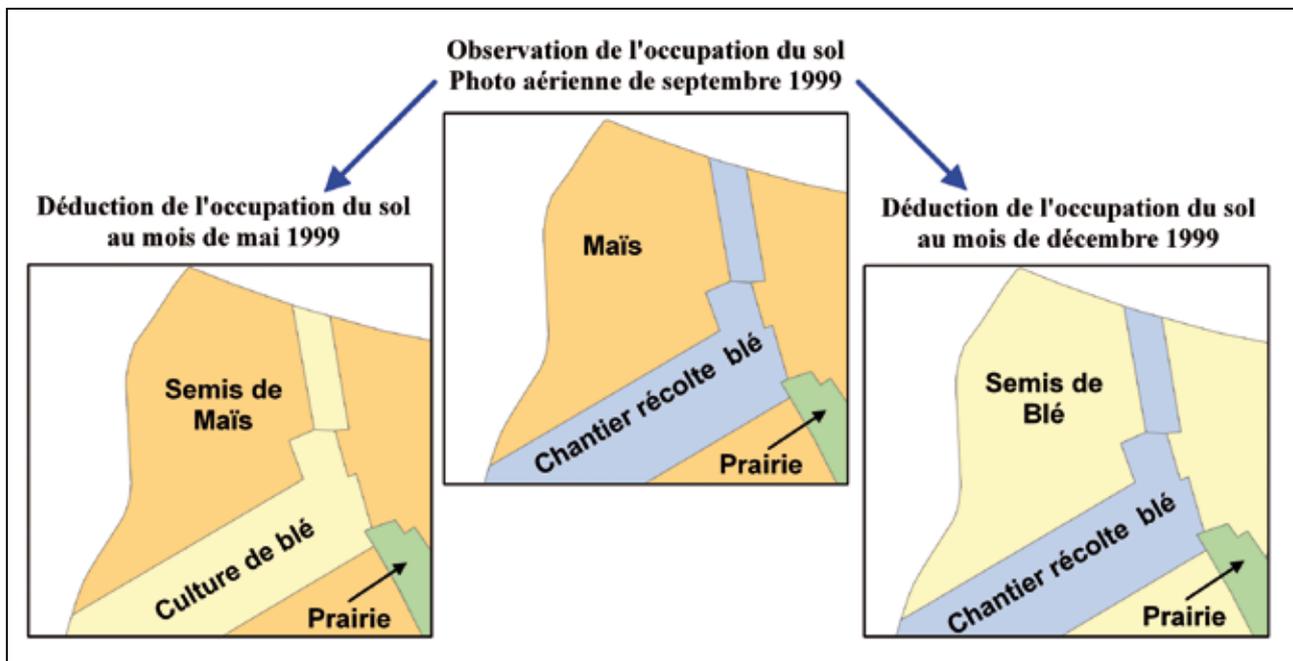
de polyculture élevage), il a été possible, grâce à la photographie aérienne, de déduire l'occupation du sol avant remembrement (figure 2).

Pour définir l'occupation du sol après remembrement, plusieurs hypothèses ont été formulées. Dans un premier temps, nous avons décidé de considérer que les nouvelles limites du parcellaire de propriété deviendraient également les nouvelles limites du parcellaire d'exploitation. Ensuite, nous avons également considéré que les agriculteurs garderaient le même assolement et par conséquent nous avons cherché à maintenir autant que possible le même pourcentage de chaque culture sur chaque exploitation avant et après remembrement. Pour cela nous avons choisi d'affecter sur chaque nouvelle parcelle la culture la plus proche possible de celle identifiée avant remembrement. En procédant de cette façon, nous pourrions mieux apprécier les effets du remembrement sur le ruissellement puisque nous limitons les variations dues aux changements d'occupations du sol. Néanmoins, une enquête a été effectuée auprès des agriculteurs du secteur d'étude, afin de connaître le choix des exploitants quant au positionnement des prairies et des terres de culture sur les nouvelles parcelles qui leur seraient attribuées. Cette enquête a également servi à connaître leurs projets en ce qui concernait un éventuel retournement de prairies.

## Détermination des états de surface du sol

Normalement, STREAM est conçu pour fonctionner à partir d'observations de terrain qui permettent d'obtenir des informations qualitatives sur l'état de dégradation des sols. Cet état de surface

Figure 2 - Déduction de l'occupation du sol avant remembrement (cas de parcelles d'une ferme d'élevage avec une succession Blé / Maïs ensilage).  
Figure 2 - Deduction of land use before land consolidation (case of fields of cattle farm with a crop succession wheat / silage maize).



des sols qui conditionne l'apparition du ruissellement est caractérisé à travers des notations de faciès, rugosité et couvert végétal au sein de chaque zone de la parcelle, homogène du point de vue du type de sol (*Annexe 1*). Dans le cadre de cette étude menée en 2002, il nous était impossible d'obtenir *a posteriori* des informations sur les états de surface des parcelles en 1999, ni d'imaginer les futurs états de surface des parcelles après le remembrement en 2004.

Pour obtenir ces informations aux deux périodes retenues précédemment (décembre et mai) sans aucun suivi de terrain, nous avons utilisé les grilles de correspondance entre occupation du sol et états de surface de Joannon, (2004). En effet, à partir d'une base de données comprenant 4255 relevés d'états de surface sur des parcelles du Pays de Caux observées plusieurs fois par l'INRA entre 1992 et 2000, Joannon a analysé la variabilité des états de surface (faciès, rugosité et couvert végétal) au cours de la campagne culturale pour des sols limoneux battants. Il a montré qu'il était possible d'affecter un état de surface probable pour les principales occupations du sol rencontrées en Pays de Caux pour les deux saisons culturales où les états de surface sont très peu modifiés par les différentes opérations culturales (du 15/11 au 15/02 pour la saison 1 et du 01/05 au 15/07 pour la saison 2). Pour les situations où les données n'étaient pas suffisamment nombreuses, il a complété son analyse avec une expertise de l'AREAS (Association Régionale pour l'Etude et l'Amélioration des Sols).

Sur le territoire de la commune de Flamets-Frétils, la grille de correspondance entre occupations des sols et états de surface établie par Joannon (2004) ne peut être utilisée que sur les 19 % de la surface communale correspondant aux sols limoneux battants. Pour les autres types de sols (71 % de la surface communale) et en l'absence de données disponibles pour réaliser le même type d'analyse que celle conduite par Joannon, nous n'avons eu recours qu'à l'expertise de l'AREAS. En combinant occupation du sol et type de sol, l'expertise a permis de caractériser l'état de surface pour chaque type d'occupations du sol (cultures, prairies et intercultures) présentes sur le site au mois de décembre et au mois de mai avant et après remembrement. Le *tableau 2* montre à titre d'exemple comment nous avons caractérisé l'état de surface d'une culture de blé pour les deux périodes en fonction des différents types de sol. Ensuite, en tenant compte de la répartition spatiale des occupations et des types de sols, nous avons obtenu les paramètres d'entrée du modèle STREAM (faciès, rugosité et couvert végétal) en tout point du secteur étudié (*figure 3*).

## Choix des événements pluvieux

Etant donné que le modèle STREAM fonctionne au pas de temps de l'événement pluvieux, nous avons besoin pour calculer la lame d'eau potentiellement infiltrée en chaque point de la surface modélisée, de choisir des événements pluvieux représentatifs des conditions climatiques des deux périodes d'étude (mai et décembre). Le *tableau 3* présente les caractéristiques des événements pluvieux utilisées au cours des différentes simulations dans les

configurations avant et après remembrements. Ces événements se distinguent par la hauteur d'eau, la durée de la pluie et la pluie des 48 heures précédent l'événement (P48).

## RÉSULTATS

### Influence du remembrement sur le parcellaire

En termes de surface totale, pour les grandes masses d'occupation du sol, le remembrement n'a pas entraîné de profondes modifications. Ceci est normal compte tenu des hypothèses que nous avons prises pour constituer l'assolement 2004 sur le secteur (*figure 4*). Les surfaces totales destinées aux terres labourables et aux prairies sont quasiment identiques avant et après remembrement. La majorité du bassin versant présente des pentes fortes qui ont imposé un système d'exploitation dominant de type « polyculture-élevage », avec des prairies sur les parcelles pentues. Seule la partie amont du bassin versant (plateau peu pentu) a pu évoluer et présente moins de prairies après remembrement. Si ce système reste prédominant après remembrement, il n'est néanmoins pas exclus que les parcelles changent d'occupation du sol une fois restituées aux propriétaires en 2004.

La *figure 4* et le *tableau 4* montrent par contre que la forme du parcellaire a changé avec notamment une diminution du nombre de parcelles, surtout pour les parcelles de terres labourables, qui passent de 70 à 44. Ce sont essentiellement les petites parcelles ( $\leq 5$  ha) qui ont disparu. Cette réduction du nombre a été accompagnée d'un agrandissement des parcelles dont la surface moyenne a augmenté de 60 %. Ce sont surtout des parcelles de terres labourables de plus de 10 ha qui ont été créées (2 nouvelles parcelles) ou encore agrandies au cours du remembrement puisque cette catégorie représente maintenant 45 % de la surface des terres labourables du secteur contre 26 % seulement avant le remembrement.

### Influence du remembrement sur le réseau d'écoulement

La *figure 5* montre que le remembrement a également entraîné des modifications au niveau du réseau d'écoulement obtenu indépendamment de l'événement pluvieux. Sur cette figure, seules les branches du réseau drainant une surface amont d'au moins 2 hectares sont représentées. Ce seuil a été choisi en fonction du contexte érosif local et régional, et de la taille des parcelles labourables. Les figures d'érosion linéaires recherchées sont celles de talwegs et de bords de champs car c'est sur ces figures de bords de parcelles ou interparcellaires qu'il sera possible d'agir dans le cadre de l'aménagement foncier. Dans le cas de ce bassin versant, la surface représentée par les parcelles labourables supérieures à 2 ha dépasse les 90 %. Et d'après Ludwig, (1992), cette surface est

**Tableau 2** - Caractérisation de l'état de surface en fonction du type de sol et de la période (cas du blé).

**Tableau 2** - Characterization of surface state according to soil type and period (wheat case).

Cas du Blé		15 Mai	15 Décembre
		Couvert Végétal = 3	Couvert Végétal = 1
Type de Sol	<b>A</b> Limons battants	Faciès = <b>F12</b> Rugosité parallèle = <b>0</b> Rugosité perpendiculaire = <b>1</b>	Faciès = <b>F2</b> Rugosité parallèle = <b>0</b> Rugosité perpendiculaire = <b>1</b>
	<b>B</b> Limons	Faciès = <b>F12</b> Rugosité parallèle = <b>1</b> Rugosité perpendiculaire = <b>1</b>	Faciès = <b>F2</b> Rugosité parallèle = <b>1</b> Rugosité perpendiculaire = <b>1</b>
	<b>C</b> Limons argileux + ou - caillouteux	Faciès = <b>F12</b> Rugosité parallèle = <b>2</b> Rugosité perpendiculaire = <b>2</b>	Faciès = <b>F12</b> Rugosité parallèle = <b>2</b> Rugosité perpendiculaire = <b>2</b>
	<b>D</b> Rendzine, Argile à silex	Faciès = <b>F12</b> Rugosité parallèle = <b>3</b> Rugosité perpendiculaire = <b>3</b>	Faciès = <b>F11</b> Rugosité parallèle = <b>3</b> Rugosité perpendiculaire = <b>3</b>

La description des codes (faciès, rugosité et couvert végétal) est expliquée dans l'annexe 1.

Figure 3 - Obtention des paramètres de STREAM (cas du mois de décembre 99 avant remembrement).

Figure 3 - STREAM parameters (case of December 1999 before land consolidation).

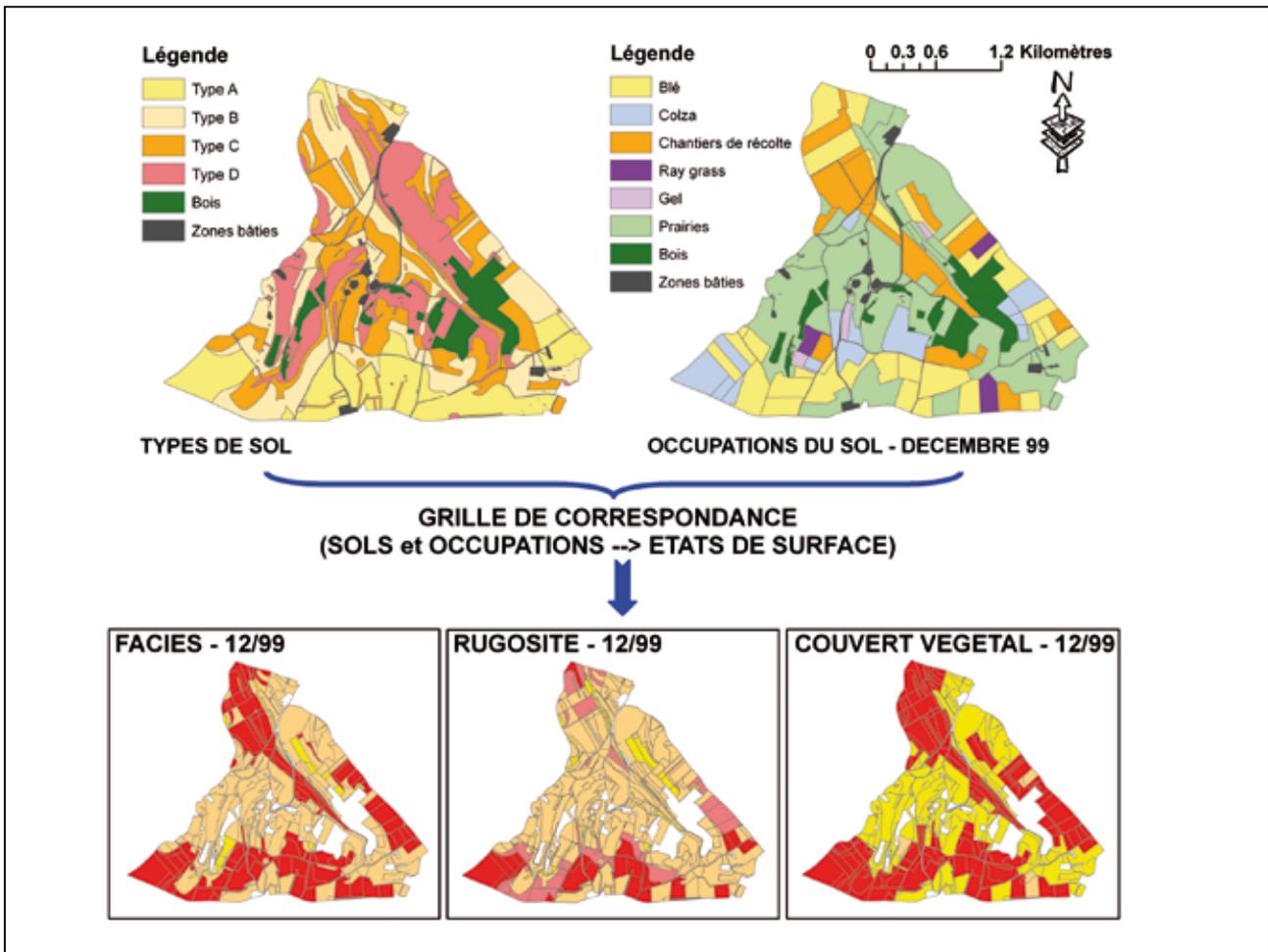


Figure 4 - Occupation du sol et parcellaire avant et après remembrement.

Figure 4 - Land use and field pattern before and after land consolidation.

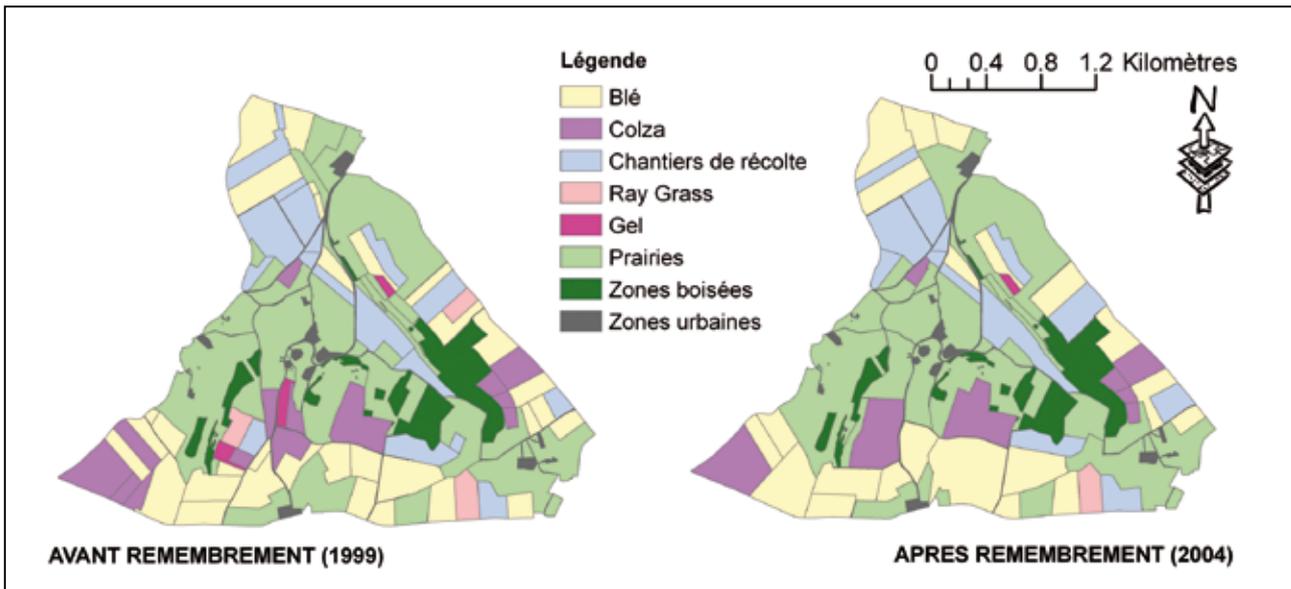


Tableau 4 - Evolution du parcellaire avant et après remembrement.

Tableau 4 - Evolution of field pattern before and after land consolidation.

Parcellaire avant remembrement :	Surface totale	Surface Minimale	Surface Maximale	Surface Moyenne	Nb parcelles	Parcelles < 3 ha		Parcelles de 3 à 5 ha		Parcelles de 6 à 10 ha		Parcelles > 10 ha	
						Nb	Ha	Nb	Ha	Nb	Ha	Nb	Ha
Terres labourables	301	0.4	12.6	4.3	70	31	58	23	100	9	66	7	77
Prairies	248	0.1	38.5	7.1	35	15	17	7	32	3	19	10	180

Parcellaire après remembrement :	Surface totale	Surface Minimale	Surface Maximale	Surface Moyenne	Nb parcelles	Parcelles < 3 ha		Parcelles de 3 à 5 ha		Parcelles de 6 à 10 ha		Parcelles > 10 ha	
						Nb	Ha	Nb	Ha	Nb	Ha	Nb	Ha
Terres labourables	305	1.1	24.6	6.9	44	10	18	16	78	9	73	9	136
Prairies	245	0.2	39.4	8.5	29	13	23	3	14	5	41	8	167

Les surfaces sont exprimées en hectares.

susceptible de créer, en Haute Normandie, des sections moyennes de rigoles  $\geq 0,100 \text{ m}^2$ .

STREAM permet de visualiser aisément en comparant les deux cartes que les principaux changements se rencontrent essentiellement dans la partie sud ouest du bassin où sont concentrées la majorité des modifications du parcellaire. Dans cette zone de plateau, les pentes sont faibles et par conséquent les motifs agraires liés au parcellaire (direction du travail du sol, dérayure, fourrière) ont une forte influence sur la concentration des écoulements.

Cependant, si pour visualiser les modifications de localisation du réseau d'écoulement, la fixation d'un seuil de surface drainée peut suffire, lorsqu'il s'agit de proposer des mesures compensatoires, il est nécessaire de prendre aussi en compte les capacités d'infiltra-

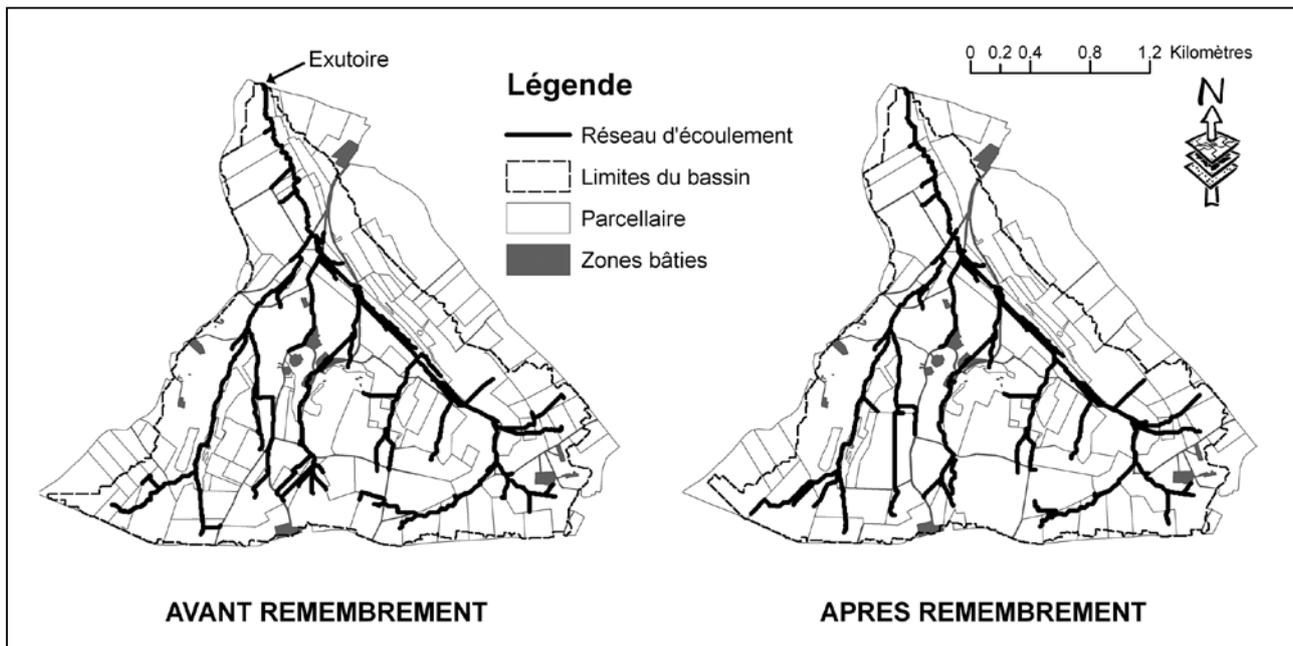
tion des parcelles et d'analyser ainsi les volumes ruisselés au sein du bassin versant en fonction des événements pluvieux testés.

### Influence du remembrement sur les volumes ruisselés

Sur ce bassin versant, le remembrement n'ayant pas entraîné de profondes modifications en ce qui concerne l'occupation du sol, son impact sur les volumes ruisselés en  $\text{m}^3$  à l'exutoire est peu important. Le *tableau 5* montre que les volumes après remembrement sont quasiment identiques à ceux avant remembrement et cela quel que soit l'événement pluvieux simulé.

Figure 5 - Réseau d'écoulement avant et après remembrement.

Figure 5 - Runoff network before and after land consolidation.



Dans le cadre de ce remembrement, l'implantation de deux aménagements hydrauliques (*figure 6*) a été préconisée par le bureau d'études en charge d'élaborer, entre autres, des mesures compensatoires, dans le cadre de l'étude d'impact. Les résultats des simulations montrent l'efficacité des aménagements proposés puisqu'ils permettent de réduire de 20 à 80 % le ruissellement à l'exutoire selon l'événement pluvieux (*tableau 5*).

Comme STREAM permet non seulement de connaître le volume ruisselé à l'exutoire mais également en tout point du bassin versant, nous avons sélectionné une quinzaine de points localisés sur les axes majeurs de concentration des volumes ruisselés (*figure 7*). Pour chacun de ces points, nous avons noté les volumes ruisselés pour un événement pluvieux parmi les plus ruisselants de chaque période (*tableau 6*) avant et après remembrement. Si à l'exutoire les variations du volume ruisselé semblent peu importantes lorsque les aménagements ne sont pas pris en compte, il n'en est pas de même au sein du bassin versant. L'analyse des résultats du *tableau 6* montre que localement les volumes ruisselés peuvent varier considérablement. En effet, la localisation des passages d'eau avant et après remembrement est sensiblement différente dans certains cas. Pour les points 4, 5 et 10, la concentration du ruissellement ne se fait plus au niveau de ces points après remembrement, ce qui explique pourquoi les volumes sont quasi nuls. Pour les autres points, les passages d'eau continuent à transiter par eux mais des modifications en amont de ces points ont réduit ou augmenté les volumes ruisselés. Par exemple, au point 11, la suppression d'une prairie à l'amont après remembrement génère un ruissellement deux fois

plus important, que ce soit pour l'événement hivernal n°7 ou pour la pluie de printemps n°5.

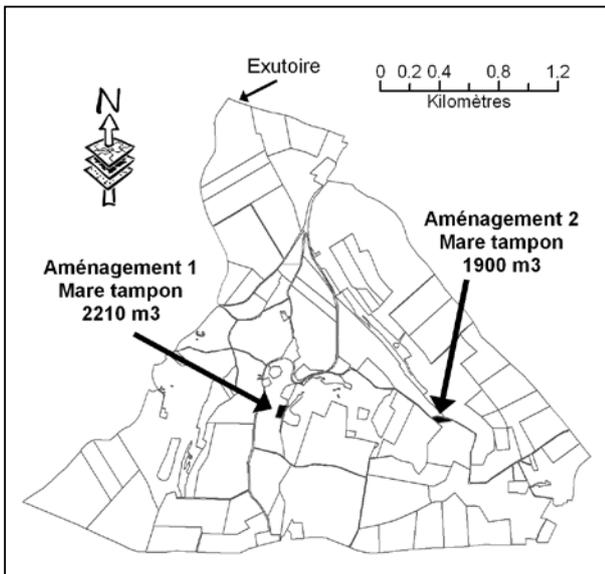
## DISCUSSION

### Intérêts de STREAM dans une procédure d'aménagement foncier

Le modèle STREAM permet dans un premier temps, d'identifier les atouts du parcellaire et de l'occupation du sol initiaux, notamment la localisation des zones boisées et enherbées qui jouent un rôle essentiel pour la réinfiltration des écoulements amont, et de conserver ce potentiel dans le projet d'aménagement. Le modèle permet également d'évaluer l'impact du scénario envisagé en termes de volume ruisselé à l'exutoire du bassin versant ou en différents points vulnérables du territoire, et par conséquent, de positionner au mieux des aménagements de régulation compensateurs supplémentaires à ceux initialement envisagés (bande enherbée, fossé, talus, haie...). Ainsi la *figure 8* montre un secteur du bassin versant où avant le remembrement, le ruissellement suivait le sens de culture et se concentrait sur la voirie (RD 102). Ce ruissellement sur voirie pouvait occasionner des difficultés de circulation et des coûts d'entretien. Le réseau d'écoulement traverse ensuite une parcelle pour rejoindre le talweg. Après remembrement, le chemin d'exploitation a été modifié ainsi que l'orientation des parcelles attenantes et donc le sens de culture. Le nouveau parcellaire améliore

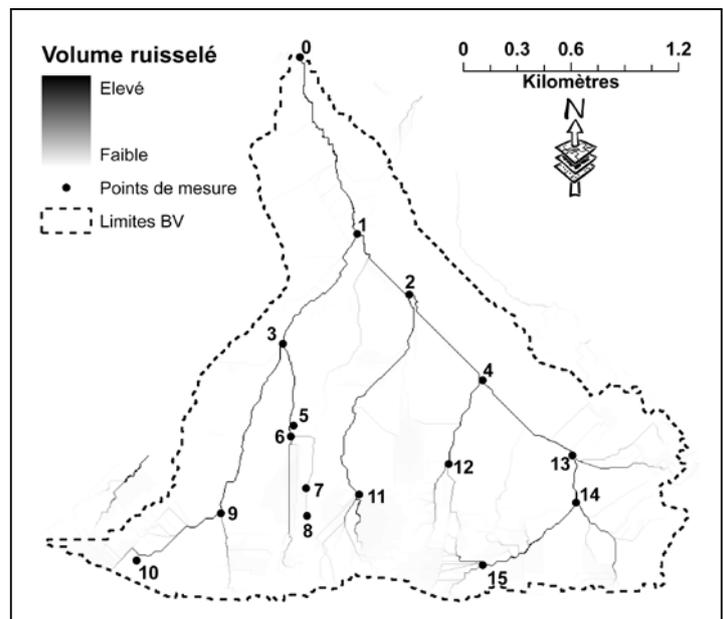
**Tableau 5** - Volumes ruisselés (m<sup>3</sup>) à l'exutoire en fonction des événements pluvieux.**Tableau 5** - Runoff volume at the outlet according to rainfall events.

Événements pluvieux	Avant remembrement	Après remembrement			
		Sans aménagements		Avec aménagements	
1	0	0	0 %	0	0%
2	1290	1267	- 1.8%	263	- 80%
3	9694	9899	+ 2.1%	6701	- 31%
4	13766	13706	- 0.4%	10183	- 26%
5	15369	15312	- 0.4%	11786	- 23%
6	20081	19784	- 1.5%	16145	- 20%
7	6470	6689	+ 3.4%	3765	- 42%

**Figure 6** - Localisation des aménagements antiérosifs envisagés.**Figure 6** - Location of soil protection measures.

la situation vis-à-vis de la route puisque les volumes ruisselés aux points 7 et 8 ont été réduits de 80 % avec tous les événements pluvieux testés. Cependant, après remembrement, un nouvel axe de concentration du ruissellement apparaît dans la grande parcelle cultivée (A) et il y a 5 fois plus de ruissellement qui transite au niveau du point 6 dans le cas de l'événement n°5.

Face à cette aggravation potentielle du risque d'érosion au sein de la parcelle A, le bureau d'étude peut être amené à ajouter un aménagement antiérosif. La visualisation avec STREAM du déplacement du ruissellement dans la parcelle A, permet de fournir des arguments pour convaincre la CCAF de réaliser cet aménagement supplémentaire, à un endroit où il n'y avait jamais eu de problème avant remembrement.

**Figure 7** - Localisation des points de mesure sur les axes de concentration du ruissellement.**Figure 7** - Location of measured points on the main runoff pathways.

### Limites à l'utilisation de STREAM

Le modèle STREAM est adapté à la modélisation du ruissellement érosif dans un contexte où les capacités d'infiltration des sols sont pilotées par l'état de dégradation de la surface du sol. Il est donc calé pour des sols limoneux battants tels que ceux du Pays de Caux. Son utilisation dans ce secteur où il existe d'autres types de sol a nécessité l'avis d'un expert pour créer les tables de données croisant non seulement les types de sols mais aussi les pratiques de culture des agriculteurs. Pour l'employer dans d'autres secteurs avec des types de sols différents, il faut nécessairement avoir de nouveau recourt à une expertise ou mettre en place des

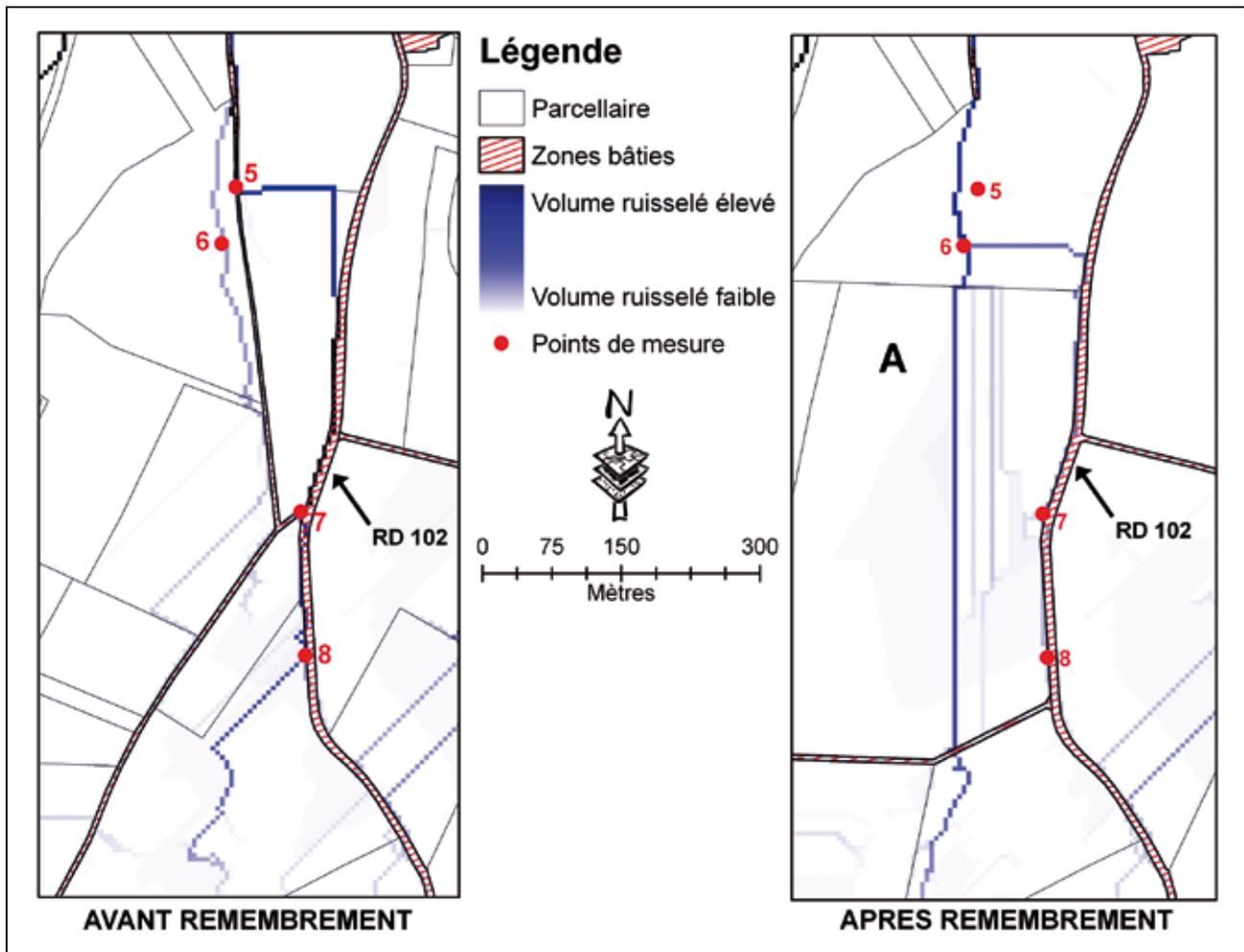
**Tableau 6** - Volumes ruisselés (m<sup>3</sup>) pour chaque point de mesure pour deux événements pluvieux.

**Tableau 6** - Runoff volume for each measured point for two rainfall events.

Points de mesure	Décembre 99	Décembre 04	Mai 99	Mai 04
	Événement 7		Événement 5	
0	6470	6689	15369	15312
1	5396	5490	14670	14632
2	3238	3495	10220	10741
3	2021	1869	3778	3289
4	1946	0	7260	1
5	661	2	1365	0
6	58	653	234	1217
7	667	128	1270	240
8	455	87	774	158
9	1992	1915	2237	2142
10	723	5	1013	0
11	631	1415	1289	2600
12	676	697	1228	1237
13	1569	1465	5978	6023
14	1362	1573	3364	3719
15	970	1124	1933	2235

**Figure 8** - Volume ruisselé avant et après remembrement (événement pluvieux n°5).

**Figure 8** - Runoff volume before and after land consolidation (rainfall event n°5).



expérimentations pour acquérir des références permettant d'évaluer les capacités d'infiltration des sols en fonction des interventions culturales pratiquées par les agriculteurs.

L'utilisation de STREAM montre tout son intérêt sur les plateaux cultivés de faibles pentes, là où les réseaux d'écoulement dépendent du parcellaire et de la direction du travail du sol. Quand la pente est plus marquée, son influence sur les écoulements devient prédominante et la connaissance de la topographie suffit alors à localiser les ruissellements concentrés. Pour localiser les aménagements prévus dans le cadre d'une réorganisation foncière, STREAM n'est pas indispensable mais un levé topographique précis reste cependant nécessaire.

Le dimensionnement des ouvrages à partir des informations des volumes ruisselés fournis par STREAM n'est pas directement envisageable. Néanmoins, il est possible grâce aux méthodes de calculs hydrauliques classiques, d'utiliser les lames ruisselées données par STREAM, pour définir les hydrogrammes de crue et calculer des débits de pointe nécessaires au dimensionnement des ouvrages.

## Les enseignements tirés de cette étude

Dans le cadre d'un remembrement, les contraintes du géomètre sont très importantes. Il doit par exemple respecter, pour chaque propriétaire, la proportion initiale des différentes classes de terre, et réduire pour chacun l'éloignement des parcelles par rapport au corps de ferme et le nombre d'îlots. Il a donc des marges de manœuvre limitées pour la réalisation d'un nouveau parcellaire. Le modèle STREAM peut contribuer à aider le bureau d'études en charge d'un remembrement à deux niveaux. D'une part, en testant le parcellaire avant remembrement, STREAM permet d'identifier ses atouts (orientation de certaines parcelles, position des zones infiltrantes pérennes comme les bois et les prairies par exemple, etc.) afin qu'ils soient conservés dans le nouveau parcellaire. D'autre part, STREAM permet également de tester le nouveau parcellaire envisagé, au stade de l'avant projet, afin d'analyser son impact sur le ruissellement. En fonction des résultats du test, le bureau d'études pourra proposer aux membres de la CCAF des améliorations, des corrections locales au projet et envisager l'implantation de mesures compensatoires supplémentaires.

Pour tester plus complètement un scénario de remembrement, il faudrait pouvoir analyser ses impacts positifs ou négatifs tout au long de la campagne culturale afin de vérifier qu'un effet positif au cours de l'hiver ne génère pas des impacts négatifs après le semis des cultures de printemps par exemple (Joannon, 2004). Dans l'idéal, il faudrait même, lorsque les occupations du sol sont encore plus variées que sur le bassin versant de Flamets-Frétils, faire des tests sur plusieurs années pour connaître l'impact au fil des rotations. Mais l'utilisation de STREAM sur plusieurs scénarios de parcellaire paraît difficilement envisageable pour des questions de temps et des possibilités foncières limitées des géomètres.

## CONCLUSION

L'étude réalisée sur le bassin versant de Flamets-Frétils a montré que l'utilisation de STREAM dans le cadre d'un remembrement présente de nombreux avantages pour anticiper sur des problèmes et tester certaines solutions. Ces avantages sont généralisables à toute autre opération d'aménagement foncier. L'utilisation de ce modèle permet tout d'abord de définir avec précision le réseau de ruissellement concentré d'un territoire ainsi que les zones de ruissellement diffus. L'utilisation de STREAM sur le parcellaire proposé par le géomètre met en évidence les changements occasionnés par ce nouveau parcellaire en terme de ruissellement (localisation et volumes) et donc les risques d'érosion et d'inondations. Le modèle STREAM permet aussi une définition précise des surfaces contributives amont et donc des volumes transitant en différents lieux, ce qui rend possible le dimensionnement d'aménagements de régulation ainsi que la localisation précise d'aménagements anti-érosifs ou de laminage des crues.

STREAM est également un outil qui peut fournir des indications sur l'impact des opérations d'aménagement foncier en matière de ruissellement érosif et aider à localiser des mesures compensatoires. Il peut facilement être utilisé comme outil de sensibilisation des acteurs en leur permettant de visualiser les éventuels impacts de l'aménagement foncier à partir de la comparaison des cartes de ruissellement avant et après l'opération foncière. La CCAF peut alors valider le choix définitif du parcellaire proposé et accepter d'éventuelles mesures compensatoires supplémentaires installées à titre préventif.

Au cours de cette étude, seuls les modules permettant de modéliser les volumes ruisselés et leur cheminement ont été mobilisés. Pour compléter la démarche, l'utilisation des modules « érosion diffuse » et « érosion concentrée » de STREAM permettrait de connaître également les charges en terre des écoulements en tout point du bassin versant et de positionner ainsi des aménagements de sédimentation.

## REMERCIEMENTS

La plupart des données utilisées ont été fournies par le cabinet de Géomètre Expert LECHENE, en charge du remembrement sur le secteur d'étude. L'acquisition du MNT a été financée par le Conseil Général de Seine Maritime.

**BIBLIOGRAPHIE**

- AESN, 2004 - Comité de bassin Seine-Normandie. Consultation sur les enjeux de la gestion de l'eau à l'horizon 2015, Agence de l'Eau Seine Normandie, 65 pp.
- Auzet A. V., Boiffin J., Papy F., Ludwig B. et Maucorp J., 1993 - Rill erosion as a function of the characteristics of cultivated catchments in the North of France. *Catena*, 20 : pp. 41-62.
- Auzet A. V., Boiffin J., Papy F., Maucorp J. et Ouvry J. F., 1990 - An approach to the assessment of Erosion Forms and Erosion Risk on Agricultural Land in the Northern Paris Basin, France. *In* : J. Boardman, D. L. Foster et J. A. Dearing (Editors), *Soil Erosion on Agricultural Land*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 383-400.
- Binard M. et Bollin A., 1980 - Contribution à l'étude quantitative des modifications des risques d'érosion résultant des remembrements. *Pédologie*, XXX(3) : pp. 323-333.
- Boiffin J., Papy F. et Eimberck M., 1988 - Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I - Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie*, 8 : pp. 663-673.
- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A. et Saby N., 2002a - Modelling interrill erosion in small cultivated catchments. *Hydrological Processes*, 16(16) : pp. 3215-3226.
- Cerdan O., Souchère V., Lecomte V., Couturier A. et Le Bissonnais Y., 2002b - Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model : Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management. *Catena*, 46(2-3) : pp. 189-205.
- Gallien E., Le Bissonnais Y., Eimberck M., Benkhadra H., Ligneau L., Ouvry J. F. et Martin P., 1995 - Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol limoneux cultivé. *Cahiers Agricultures*, 4 : pp. 171-83.
- Helloco F., Ouvry J. F. et Richet J. B., 2003 - Système d'anticipation des épisodes pluvieux hivernaux générateurs de désordres hydrologiques. Etude de faisabilité. Rapport AREAS et François Helloco consultant, 100 p.
- Joannon A., 2004 - Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus écologiques - Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du Pays de Caux, Haute-Normandie. Thèse de doctorat de l'INA P-G, Paris, 230 p.
- King D. et Le Bissonnais Y., 1992 - Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du nord de l'Europe. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 78(6) : pp. 91-105.
- Le Bissonnais Y., Fox D. et Bresson L.-M., 1998 - Incorporating crusting processes in erosion models. *In* : J. Boardman et D. Favis-Mortlock (Editors), *Modelling Soil Erosion by Water*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 237-246.
- Lechène S., 2002 - Remembrement et ruissellement en Seine Maritime. Utilisation d'un outil de modélisation : STREAM. Application au bassin versant de Flamets-Frétils, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur ESGT, Le Mans, 80 p.
- Lecomte V., 1999 - Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Processus, déterminisme et modélisation spatiale. Thèse de Docteur de l'ENGREF, 202 p.
- Ludwig B., 1992 - L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du Nord du Bassin Parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. Thèse de Docteur de l'Université Louis Pasteur - Strasbourg I, 201 p.
- Ludwig B., Auzet A. V., Boiffin J., Papy F., King D. et Chadoeuf J., 1996 - Etats de surface, structure hydrographique et érosion en rigole de bassins versants cultivés du Nord de la France. *Etude et gestion des Sols*, 3(1) : pp. 53-70.
- Martin P., Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Ligneau L. et Ouvry J.-F., 1997 - Mesure du ruissellement et de l'érosion diffuse générés par les pratiques culturales en Pays de Caux (Normandie). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2 : pp. 143-154.
- Papy F. et Douyer C., 1991 - Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie*, 11(3) : pp. 201-215.
- Souchère V., Cerdan O., Ludwig B., Le Bissonnais Y., Couturier A. et Papy F., 2003a - Modelling ephemeral gully erosion in small cultivated catchments. *Catena*, 50(2-4) : pp. 489-505.
- Souchère V., King C., Dubreuil N., Lecomte-Morel V., Le Bissonnais Y. et Chalot M., 2003b - Grassland and crop trends : role of the European Union Common Agricultural Policy and consequences for runoff and soil erosion. *Environmental Science & Policy*, 6(1) : pp. 7-16.
- Souchère V., King D., Daroussin J., Papy F. et Capillon A., 1998 - Effects of tillage on runoff directions : consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology*, 206(3-4) : pp. 256-267.

## ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES TROIS PARAMÈTRES D'ÉTATS DE SURFACE UTILISÉS DANS STREAM

### Classe de faciès pendiculaires

Notation	Stade de dégradation de la surface du sol
F0	Etat fragmentaire initial conféré par le travail du sol. Chaque particule de terre visible en surface appartient à un agrégat parfaitement délimité et séparé de ses voisins
F1	Croûte structurale : altération de l'état initial. Les agrégats sont plus ou moins soudés les uns aux autres mais leurs contours restent reconnaissables.
F12	Croûte sédimentaire uniquement dans les dépressions où les agrégats ne sont plus individualisables. Le reste de la surface garde les caractéristiques d'une croûte structurale.
F2	Faciès continu avec croûte sédimentaire généralisée.

### Classe de rugosité dans les sens du travail du sol (rugosité parallèle) ou perpendiculairement à ce dernier (rugosité perpendiculaire)

Notation	Ecart de côte d'altitude entre le fond des dépressions et leur point de débordement
R0	0 à 1 cm
R1	1 à 2 cm
R2	2 à 5 cm
R3	5 à 10 cm
R4	10 à 15 cm
R5	> 15 cm

### Classe de couvert végétal

Notation	Taux en pourcentage de sol recouvert (végétation ou résidus de végétation)
1	0 à 20%
2	21 à 60%
33	61 à 100%

