

Utilisation du modèle STREAM sur un cycle hydrologique : Poursuite de l'application sur le bassin versant de l'Austreberthe

Véronique Souchère¹, Olivier Cerdan² et Alain Couturier³

¹ INRA, UMR SADAPT, B.P. 1, 78850 Thiverval Grignon – souchere@grignon.inra.fr

² BRGM, ARN, 3 avenue Claude-Guillemin, B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 2

³ INRA, Science du Sol, B.P. 20619, Ardon, 45166 Olivet cedex

1.	Acquisition des données.....	1
1.1.	Le choix de la zone et de la période d'étude	1
1.2.	MNT et rasters hydrologiques liés à la topographie.....	2
1.3.	Parcellaire et occupation du sol.....	2
1.4.	Données pluviométriques	4
2.	Lois d'évolution des occupations du sol	5
3.	Résultats et perspectives.....	8
4.	Conclusion.....	11
5.	Bibliographie.....	11

L'objectif recherché à travers le développement de STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management) par les équipes INRA de Science du Sol d'Orléans et de l'UMR SAD APT de Grignon, est l'élaboration d'un modèle de prédiction opérationnel en recherchant le compromis optimal entre la prise en compte des processus élémentaires de l'érosion, le nombre de variables nécessaires et leur disponibilité. Le modèle dont les échelles spatiales et temporelles sont le bassin versant et l'événement pluvieux est structuré en quatre modules interdépendants décrivant respectivement, le réseau d'écoulement (Souchère et al., 1998), le ruissellement (Cerdan et al., 2002c), l'érosion diffuse (Cerdan et al., 2002a) et l'érosion linéaire (Souchère et al., 2003). La démarche suivie pour l'élaboration de ces modules est identique : l'identification et la paramétrisation des facteurs dominants à l'échelle locale sur la base de résultats expérimentaux, puis à l'échelle du bassin versant en prenant en compte les paramètres propres à ce niveau d'investigation. Une telle démarche a été possible grâce à l'existence d'une importante base de données de références regroupant des expérimentations au laboratoire et au champ depuis l'échelle du ¼ de m² jusqu'à l'échelle du bassin versant (Cerdan et al., 2002b).

Ce modèle permet de quantifier le ruissellement et les pertes en terre, tout en localisant les zones où ces phénomènes se produisent. 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 (Joannon et al., 2005 ; Souchère et al., 2005a ; Joannon et al., 2006). Compte tenu de ces possibilités, nous avons décidé de tester, dès 2004, le couplage de STREAM avec l'Applicatif SENEQUE afin d'améliorer la prise en compte des pratiques agricoles ou d'élevage et des aménagements paysagers à l'échelle des têtes de bassin. En 2005 et 2006, nous avons appliqué la méthodologie mise au point en 2004 sur un jeu de données plus récent pour lequel on peut disposer de mesures de matières en suspension à l'exutoire du bassin afin de calibrer et valider l'approche.

1. Acquisition des données

1.1. Le choix de la zone et de la période d'étude

Compte tenu du domaine d'application du modèle STREAM, qui se limite aux zones limoneuses du Nord Ouest de la France, et en l'absence de jeux de données expérimentales complémentaires pour adapter le modèle à des types de sols différents, nous avons décidé de poursuivre le test de son couplage avec l'Applicatif SENECAM avec des données issues du bassin

versant de l'Austreberthe localisé en Haute Normandie et plus particulièrement dans le Pays de Caux. C'est en effet au sein de cette petite région agricole de Seine Maritime que la plupart des observations nécessaires au calage de STREAM ont été réalisées par l'INRA jusqu'à présent.

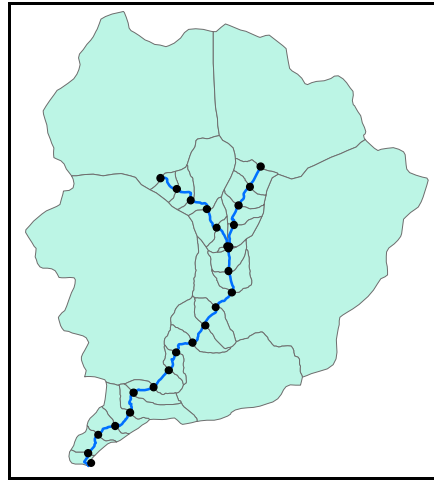


Figure 1 : Découpage du réseau hydrographique de l'Austreberthe en 23 tronçons kilométriques

Parmi les bassins versants alimentant la Seine aval, le bassin versant de l'Austreberthe est intéressant car il est traversé par une rivière, l'Austreberthe, qui se jette dans la Seine un peu après Rouen. Sa taille est par ailleurs suffisamment importante pour contenir plusieurs sous bassins versants ce qui a permis à l'équipe développant l'Applicatif SENECAM de nous fournir un découpage du réseau hydrographique de ce bassin versant en tronçons kilométriques. Les 24 points ainsi obtenus ont été utilisés par la suite pour récupérer automatiquement les valeurs de ruissellement et d'érosion calculés par STREAM lors des simulations (Figure 1).

La période d'étude a été fixée en fonction de la période de disponibilité des données de MES sur l'Austreberthe (14 décembre 2001 au 13 mai 2003) afin de permettre ultérieurement la calibration et la validation de l'approche.

1.2. MNT et rasters hydrologiques liés à la topographie

Le contour du bassin versant de l'Austreberthe, son MNT ainsi que les grilles de direction et d'accumulation des flux sont tous dérivés du MNT IGN au pas de 50 mètres qui avait été utilisé lors de l'étude de l'aléa érosion en Haute-Normandie (Souadi et al., 2000). Les étapes de traitement du MNT ont été :

- comblement des puits du MNT pour permettre le calcul des flux d'eau des cellules de l'amont vers les cellules en aval,
- calcul automatique de la grille de direction des flux à partir du MNT comblé à partir de l'algorithme *FLOWDIRECTION* d'ArcGis qui utilise la pente descendante la plus forte entre une cellule et ses 8 voisins pour déterminer la direction du flux,
- calcul automatique de la grille d'accumulation des flux à partir de la grille de direction des flux avec l'algorithme *FLOWACCUMULATION* d'ArcGis,
- positionnement de l'exutoire du bassin versant de l'Austreberthe et délimitation automatique du contour du bassin de l'Austreberthe à partir de cet exutoire et de la grille de direction des flux.

1.3. Parcellaire et occupation du sol

Pour utiliser STREAM, nous avons besoin d'un parcellaire renseigné avec l'occupation du sol. Etant donnée la surface du bassin versant de l'Austreberthe, il n'était pas envisageable de répertorier toutes les parcelles et leur occupation du sol à partir d'un suivi de terrain.

Nous avons donc utilisé une classification générée à partir de l'analyse d'images satellites SPOT et LANDSAT commandés par le BRGM et dont le traitement a été assuré par Denis Ruelland afin de pouvoir définir des classes d'occupations du sol similaires aux travaux précédents (Ruelland et al., 2004). Le traitement des images a permis de définir les occupations des sols spatialisées pour les années 2002 et 2003 selon la classification décrite dans le Tableau 1.

Tableau 1 : classification obtenue après analyse des images satellites

Classe	Description
0	No Data
1	Zones urbaines
2	Eaux
3	Forêts
4	Alluvions (héritage de la classification 97 d'Anne Bourguignon)
5	Prairies permanentes
6	Prairies temporaires
7	Cultures d'hiver (blé, escourgeon, colza)
8	Cultures de printemps précoces (lin, pois)
9	Cultures de printemps tardives (maïs, betterave)

La typologie reprend les classes d'éléments considérés comme permanents retenus lors de la classification précédente pour l'année 1997 (source Corine Land Cover).

L'absence d'image fin août a rendu la séparation entre les différents groupes de cultures difficile et ceci tout particulièrement pour les cultures printemps (code 8 et 9). Une distinction entre prairies permanentes et prairies temporaires a pu être effectuée en comparant les prairies présentes sur la classification 1997 et celles de 2003.

Les images Spot ont une résolution de 20 m par 20 m. Comme le MNT utilisé dans le projet a une résolution de 50 m par 50 m, nous avons dû ré-échantillonner la classification à la bonne résolution. Ce passage d'une taille de pixel de 400 m² à une taille de pixel de 2500 m² a inévitablement occasionné une perte d'information puisque on attribue au pixel plus grand, la valeur majoritairement rencontrée parmi les anciens pixels plus petits qui le compose. Afin d'estimer les conséquences de cette modification de la résolution des pixels, nous avons calculé la représentativité au sein du bassin versant de chaque classe avant et après ré-échantillonnage et le résultat de la comparaison des deux images (pixels de 400 m² ou de 2500 m²) a montré que toutes les classes ont gardé quasiment la même représentativité à l'échelle du bassin versant. L'agrégation de pixels a fait essentiellement disparaître des pixels isolés.

Le parcellaire utilisé par STREAM pour décrire l'état et l'utilisation du sol étant de type vectoriel, nous avons également dû transformer les pixels de notre classification en polygones. Le logiciel SIG ArcGis dispose pour cela d'un algorithme de création de polygones entourant des pixels de classe identique dans un raster donné.

La Figure 2 présente la répartition des occupations du sol obtenue après les différents traitements. C'est l'évolution des états de surface de cette couche d'informations que nous avons modélisé pour faire tourner STREAM à un pas de temps journalier entre janvier 2002 et avril 2003. Les développements qui ont été nécessaires pour prendre en compte l'évolution temporelle des états de surface sont expliqués dans le paragraphe 2.

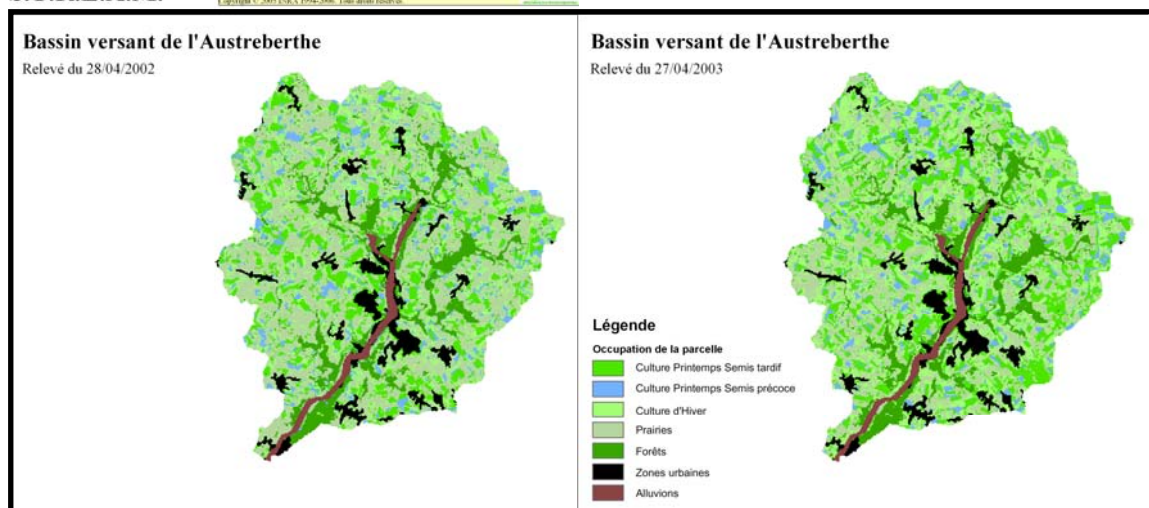


Figure 2 : Occupation du sol du bassin versant de l'Austreberthe en 2002 et 2003

1.4. Données pluviométriques

Sur un bassin versant comme celui de l'Austreberthe, les phénomènes d'érosion ont majoritairement lieu sur les parcelles agricoles au moment où les pluies sont les plus intenses et lorsque les sols sont peu couverts par la végétation. Avant de servir de moyen de transport aux sédiments érodés, l'eau pluviale joue aussi un rôle dans la génération des matériaux érodés. En effet, l'impact des gouttes de pluie apporte l'énergie nécessaire au détachement des particules de sol. Mais, cette énergie cinétique des gouttes de pluie qui caractérise leur érosivité est difficile à estimer. On peut néanmoins évaluer la quantité d'énergie apportée par un événement pluvieux par la connaissance de son intensité maximale et sa durée efficace.

La résolution spatiale et temporelle des données pluviométriques conditionne également la façon dont on peut estimer l'érosivité des événements d'une chronique de pluies. D'une part, le relief peut augmenter localement les hauteurs de précipitations, et d'autre part, la précision à laquelle on peut déterminer la durée et l'intensité d'une pluie augmente avec la fréquence des relevés pluviométriques. Cette partie s'attache donc à présenter les données pluviométriques que nous avons à disposition (Figure 3) et les traitements que nous avons choisis de faire.

Dans le cadre du projet, deux jeux de données pluviométriques ont été acquis afin d'estimer les cumuls journaliers :

- les données horaires de la station de Bouville (coordonnées (Lambert II Et) X=496314 Y=2508222 altitude approximative : 108 m) situé au cœur du bassin versant de l'Austreberthe ont été fournies par la DIREN de Haute Normandie pour la période du 14/12/2001 au 31/07/2002
- les données journalières SENEQUE pour l'ensemble du bassin versant pour une période s'étendant du 14/12/2003 au 31/07/2003 ont été fournies par Sylvain Théry du PIREN Seine. Ce sont des données pluviométriques extrapolées à chaque maille du bassin versant (celui ci étant discrétisé en 8 mailles de 64km² chacune) à partir de données Météo France journalières.

Pour compléter ces données, des données des stations situées en dehors du bassin versant ont également été acquises par le BRGM auprès de Météo France :

- les données journalières de la station de Jumièges (30 m d'altitude) située à l'aval du bassin versant de l'Austreberthe,
- les données journalières de la station de Goupillières (150 m d'altitude) située à l'amont du bassin versant de l'Austreberthe, juste de l'autre côté de la crête.

Cependant comme la résolution temporelle journalière est très insuffisante pour estimer la durée efficace et l'intensité maximale d'un événement pluvieux qui sont des paramètres indispensables

pour pouvoir faire tourner STREAM, nous avons également utilisé un jeu de données horaires obtenues avec un pluviomètre basculeur installé dans le bassin versant de Bourville, localisé au Nord du bassin versant près de Saint Valéry en Caux. Ces données fournies par l'AREAS vont du 10/01/2002 au 11/01/2005 et couvrent donc toute la période d'étude contrairement à celles issues de la station de Bourville (source DIREM). Cependant, l'éloignement de ce pluviomètre le rend moins pertinent et demande quelques précautions avant d'utiliser les données.

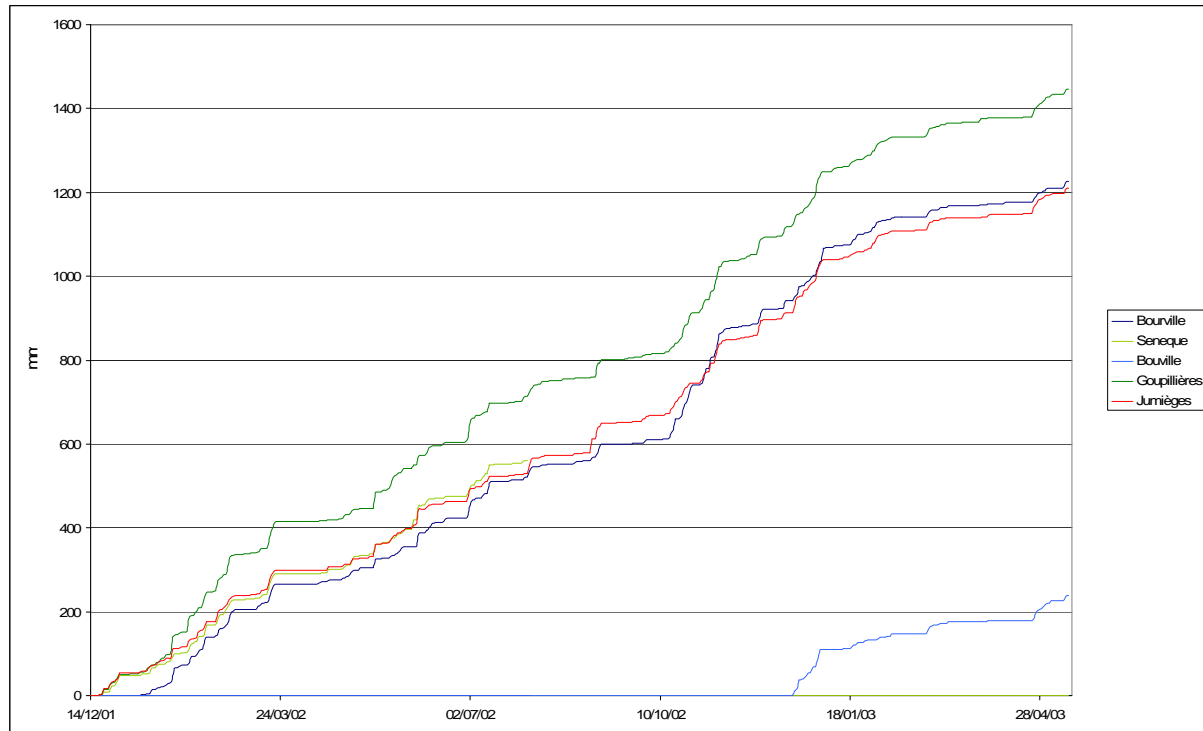


Figure 3 : Cumul pluviométriques pour l'ensemble des sources

Tous les événements pluvieux ne donnent pas forcément lieu à des phénomènes érosifs. Une première sélection a donc été effectuée sur la base des cumuls journaliers pour éviter de faire tourner STREAM sur des pluies dont on sait, par expérience, qu'elles ne produiront pas de ruissellement et donc pas de sédiment non plus.

Nous avons conservé seulement 124 événements pluvieux en appliquant une règle de sélection portant sur les seuils de cumuls journaliers des stations de Jumièges et de Goupillières. Les événements pluvieux ont été gardés si et seulement si le cumul des pluies journalières dépassait 2 mm sur une des deux stations.

L'intensité maximale et la durée efficace des pluies ont été récupérées des données du bassin de Bourville comme nous l'avons souligné précédemment avant d'être ensuite transférées aux pluies sélectionnées sur le bassin versant de l'Austreberthe. En effet, bien que située plus près des côtes dans le nord ouest du département de la Seine Maritime, la pluviométrie de la station de Bourville est assez similaire à celle de Jumièges (Figure 3). Cependant, la comparaison des cumuls pluviométriques journaliers de Jumièges et de Goupillières ayant montré que les hauteurs de pluie n'étaient pas homogènes à l'aval et à l'amont du bassin versant de l'Austreberthe, nous avons pris en compte un gradient pluviométrique altitudinal pour spatialiser l'information pluviométrique sur l'étendue du bassin versant à partir du MNT (Souchère et al., 2005b).

2. Lois d'évolution des occupations 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 à travers des notations de faciès, rugosité et couvert végétal. Ensuite, ces informations sont combinées afin

d'obtenir pour chaque parcelle, une capacité d'infiltration et une concentration potentielle en sédiment. Dans le cadre de ce projet, où nous devons faire tourner STREAM sur une année complète sans aucun suivi de terrain, nous avons utilisé la base constituée par Luc Sorel en 2005 afin de pouvoir prendre en compte l'évolution des sols au cours de l'année. Cette base regroupe 1980 observations effectuées par l'INRA dans plusieurs bassins versants de Haute Normandie pendant lesquels ont été relevés, pour chaque parcelle, les informations nécessaires au fonctionnement de STREAM (faciès, rugosité parallèle ou perpendiculaire au sens du travail et couvert végétal). Cette base a pu être constituée à partir de différentes sources :

- Relevés du SADAPT (Grignon) : bassin de Blosseville et de Fongueusemarre sur les cycles culturaux 92/93, 93, 93/94,
- Relevés de Science du Sol (Orléans) : bassin de Blosseville sur les cycles culturaux 95 et 97,
- Relevés du Science du Sol (Orléans) : bassin de Bourville observé en 96/97, 97, 97/98, 98.

Après avoir extrait de la base tous les suivis de terrain pour lesquels nous avons, sur une même parcelle, plusieurs observations de l'évolution des états de surface au cours du temps, nous avons analysé statistiquement les données cultures par culture afin d'obtenir les quantités d'eau nécessaires pour faire évoluer les classes des différents paramètres. Le Tableau 2 présente les résultats obtenus en ce qui concerne la culture du blé d'après les suivis réalisés en Pays de Caux.

Tableau 2 : Loi d'évolution des paramètres de STREAM dans le cas de la culture du blé

Cas du Blé		
	F0 → F1	28 mm
Faciès	F1 → F12	115 mm
	F12 → F2	225 mm
Rugosité parallèle au sens du travail	R2 → R1	47 mm
	R1 → R0	245 mm
Rugosité perpendiculaire au sens du travail	R3 → R2	38 mm
	R2 → R1	163 mm
	R1 → R0	248 mm

Après avoir fixé une date de semis¹ en fonction des calendriers culturaux obtenus à partir d'enquêtes en exploitation (Joannon, 2004), les paramètres nécessaires à utilisation de STREAM ont été initialisés par exemple à F0R2R3² pour les blés compte tenu de nos connaissances acquises à partir d'observations de terrain. Une fois la date de semis déterminée, nous avons utilisé les lois d'évolution des paramètres obtenues à partir de l'analyse de la base de données pour faire évoluer le faciès et la rugosité en fonction des données pluviométriques journalières moyennes des deux stations météo du secteur. En ce qui concerne l'évolution de la couverture végétale nous avons simplement pris en compte la durée écoulée depuis le semis et les travaux agricoles.

Cette méthode mise au point en 2005 (Figure 4) a été reproduite pour les principales occupations du sol de la base de données, c'est-à-dire la betterave, le maïs, le pois et le lin avec les données pluviométriques et les occupations du sol de 2002 et 2003

¹ Les dates de semis sont normalement échelonnées sur plusieurs semaines en fonction des précédents culturaux mais aussi des variétés. Cependant, en l'absence d'indication précise sur la nature des précédents culturaux, nous avons préféré fixer une seule date de semis par culture.

² F0 pour le faciès, R2 pour la rugosité parallèle au sens du travail et R3 pour la rugosité perpendiculaire au sens du travail ce qui est une situation classique compte tenu des itinéraires techniques et du matériel des agriculteurs du Pays de Caux.

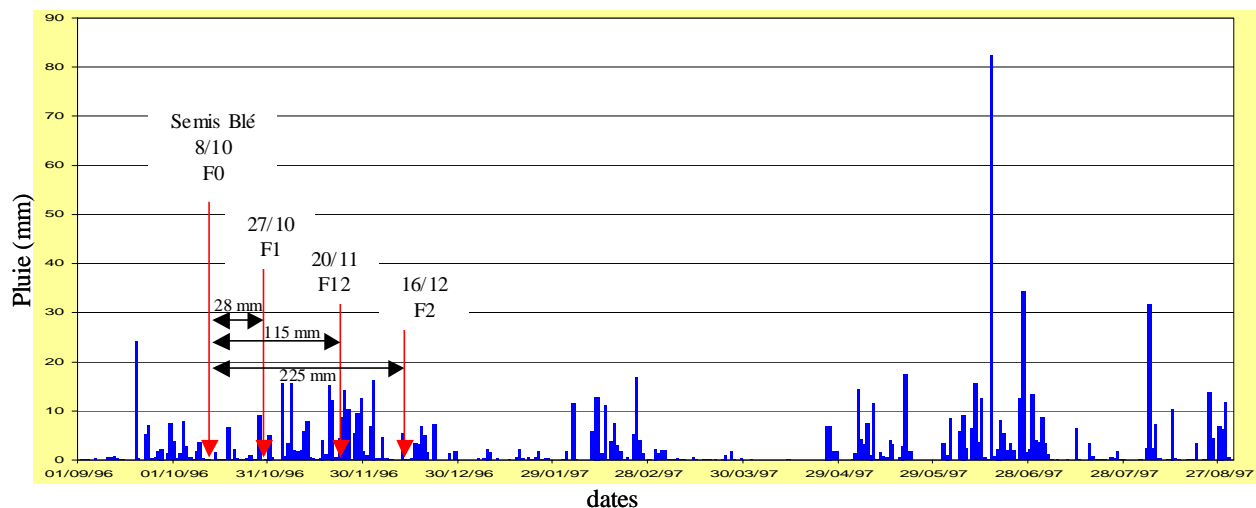


Figure 4 : Méthode pour déterminer les dates de changements du paramètre **FACIES** pour une culture de blé

Comme nous l'avons vu précédemment, l'information dont nous disposons pour caractériser l'occupation du sol du bassin de l'Austreberthe ne nous permet pas de connaître exactement l'occupation du sol. Nous ne pouvons identifier que la localisation d'un ensemble de cultures (Tableau 1). Nous avons choisi de considérer que la classe des « cultures d'hiver » serait représentée par du blé car cette culture représente plus de 70% des surfaces semées en hiver. En ce qui concerne les cultures de printemps précoces (CPP), on rencontre principalement du lin et du pois dans la région. Nous avons choisi d'assimiler tous les polygones de ce type à une culture de lin. En effet, le pois est un peu en perte de vitesse ces dernières années (problèmes de maladie) alors que le lin est en relative expansion du fait d'une demande accrue des pays asiatiques. Par ailleurs, nous avons eu beaucoup de difficultés pour trouver les lois d'évolution des paramètres sur les pois malgré le nombre assez grand de données. Le pois est une culture qui est fréquemment roulée après le semis ce qui diminue la rugosité du sol et favorise l'apparition de la battance. Or dans la base, les pois roulés et non roulés n'étaient pas distingués ce qui entraînait une variation trop importante des quantités de pluie nécessaire pour changer de classe selon les cas. Pour les cultures de printemps tardive (CPT), nous avons affecté les lois d'évolution des paramètres obtenues avec le maïs aux polygones concernés ce qui est en accord avec les statistiques d'occupation du sol des déclarations PAC où cette culture représente 51% des CPT.

Une fois toutes les évolutions envisagées pour chaque type de cultures, nous avons pu définir l'ensemble des dates de basculement pour toute la période d'étude entre janvier 2002 et avril 2004. Nous avons ainsi obtenu 22 dates de basculement (Tableau 3).

Dates de basculement	
20/01/2002	03/08/2002
30/01/2002	26/08/2002
14/03/2002	16/10/2002
18/03/2002	21/10/2002
13/04/2002	25/10/2002
28/04/2002	11/11/2002
13/05/2002	04/12/2002
21/05/2002	02/01/2003
28/05/2002	01/03/2003
10/06/2002	25/04/2003
02/07/2002	27/04/2003

Tableau 3 : Dates de basculement déterminées pour l'ensemble de la période d'étude

En ce qui concerne les autres classes d'occupation du sol telles que les prairies, les forêts, les alluvions et les zones urbaines, nous n'avons pas cherché à modéliser l'évolution des paramètres, faciès, rugosité et couvert végétal. Nous avons fixé directement une capacité d'infiltration identique tout au long de la campagne culturale en fonction de notre connaissance du comportement de ces occupations du sol. Les capacités d'infiltration ont été fixées à 50 mmh^{-1} pour les polygones de prairies et de forêt, à 20 mmh^{-1} pour le polygone d'alluvions et à 2 mmh^{-1} pour les polygones des zones urbaines.

3. Résultats et perspectives

Pour toute la période d'étude qui s'étale de décembre 2001 à mai 2003, l'ensemble des résultats obtenus pour les 124 événements pluvieux simulés est rassemblé dans un fichier informatique qui est ensuite communiqué à l'équipe développant l'applicatif SENECAM afin de prendre en compte les quantités de terre produites et exportées en chaque point du réseau hydrographique comme indiquée sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Au cours du processus de simulation, le modèle STREAM génère automatiquement un certain nombre de cartes qui permettent de visualiser pour chaque événement pluvieux, l'accumulation des flux (Figure 5) et la masse de terre accumulée par érosion diffuse (Figure 6) en tout point du bassin versant.

En comparant sur la même période d'étude (décembre 2001 à mai 2003), les simulations réalisées avec l'applicatif SENECAM intégrant les résultats issus de l'utilisation de STREAM avec les mêmes simulations ou l'effet des pratiques agricoles sur la production de ruissellement et d'érosion diffuse dans les sous-bassins versant n'est pas estimé avec STREAM mais juste modélisé à partir de valeurs statistiques moyennes non distribuées, nous pourrions :

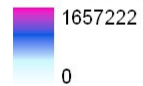
- ❖ Non seulement mesurer l'apport relatif du couplage d'un modèle rivière à un modèle qui prend en compte l'hétérogénéité spatiale des versants dans la modélisation des flux à l'échelle d'un bassin versant cultivé,
- ❖ Mais aussi évaluer de manière quantitative la pertinence des différentes hypothèses de modélisation formalisées au cours de cette étude notamment les règles d'évolution des caractéristiques de surface du sol en fonction de la pluie au cours d'une année culturale.

Stream

Légende

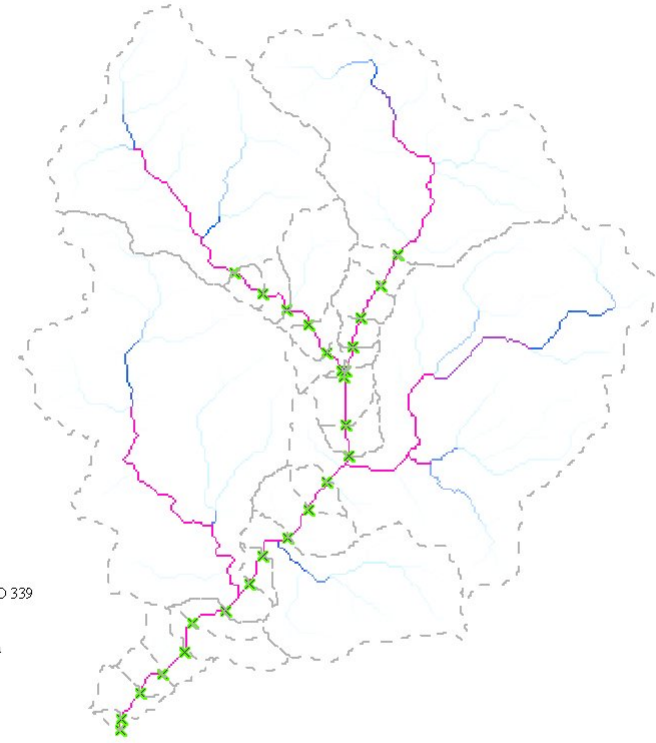
- limite de bassin versant
- ✕ point de mesure

Volume d'eau accumulé en mètres cube (339)



Bassin versant de l'Autreberthe

Relevé du 16/06/1997



PARAMETRES DE LA SIMULATION NUMERO 339

Evènement pluvieux du 05/08/1997
Hauteur de la pluie comprise entre 25.3 et 38.3 mm
Durée efficace de l'évènement de 1.88 heure(s)
Hauteur de la pluie antécédente de 2.77 mm
Intensité maximale de la pluie de 79 mm/h

Orientation d'écoulement topographique
Règles de ruissellement I.N.R.A. validées pour les sols limoneux du Pays de Caux
Règles d'érosion diffuse I.N.R.A. validées pour les sols limoneux du Pays de Caux



Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.0 du 26/04/2004
Copyright © 2004 INRA 1994-2004. Tous droits réservés.

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 12/01/2005 10:05:03 - Utilisateur: couturie - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

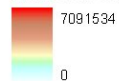
Figure 5 : Accumulation des flux d'eau calculée pour l'évènement pluvieux du 5 août 1997

Stream

Légende

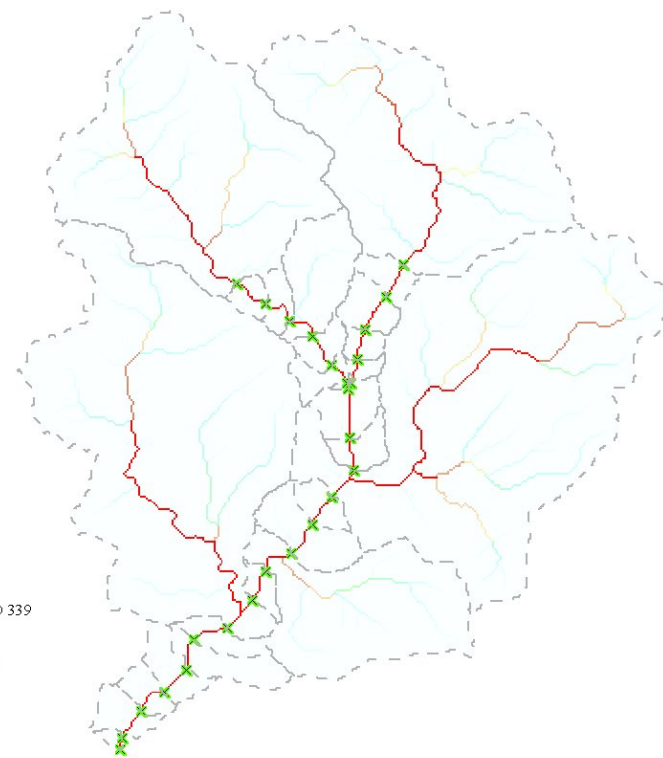
- limite de bassin versant
- ✕ point de mesure

Masse de terre accumulée par érosion diffuse en kg (339)



Bassin versant de l'Autreberthe

Relevé du 16/06/1997



PARAMETRES DE LA SIMULATION NUMERO 339

Evènement pluvieux du 05/08/1997
Hauteur de la pluie comprise entre 25.3 et 38.3 mm
Durée efficace de l'évènement de 1.88 heure(s)
Hauteur de la pluie antécédente de 2.77 mm
Intensité maximale de la pluie de 79 mm/h

Orientation d'écoulement topographique
Règles de ruissellement I.N.R.A. validées pour les sols limoneux du Pays de Caux
Règles d'érosion diffuse I.N.R.A. validées pour les sols limoneux du Pays de Caux



Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.0 du 26/04/2004
Copyright © 2004 INRA 1994-2004. Tous droits réservés.

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 19/11/2004 16:34:30 - Utilisateur: couturie - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

Figure 6 : Masse de terre accumulée par érosion diffuse calculée pour l'évènement pluvieux du 5 août 1997

4. Conclusion

Le passage d'une modélisation du ruissellement et de l'érosion pour des événements pluvieux à l'échelle de petits bassins versants amonts à une modélisation du fonctionnement érosif sur une année culturale pour un bassin versant de 215 km² a été effectué de manière opérationnelle sur un cas réel dès 2004. En 2006 et 2007, nous avons réutilisé la méthodologie mise au point en 2004 avec un jeu de données plus récentes en ce qui concerne l'occupation du sol grâce à la photo-interprétation d'images satellites réalisées par D. Ruelland. La partie la plus délicate concerne toujours l'obtention des données pluviométriques. Même si nous avons pu commander des données météorologiques, elles ne nous ont pas permis de travailler à un pas de temps plus fin que celui de la journée ce qui entraîne un certain degré d'incertitude. En effet, nous avons dû utiliser les données horaires provenant d'un pluviomètre basculeur installé dans le bassin versant de Bourville, localisé au Nord du bassin versant près de Saint Valéry en Caux pour estimer la durée efficace et l'intensité maximale d'un événement pluvieux qui sont des paramètres indispensables pour pouvoir faire tourner STREAM.

Les prochains travaux envisagés consisteront à entamer une étude de sensibilité de l'apport de ce couplage entre STREAM et l'applicatif SENECAM à l'aide de données de validation (MES) disponibles sur l'Austreberthe pour la période du 14 décembre 2001 au 13 mai 2003.

5. Bibliographie

- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A., Saby N., 2002a. Modelling interrill erosion in small cultivated catchments. *Hydrological Processes*, **16** (16), 3215-3226.
- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., Martin P., Lecomte V., 2002b. Sediment concentration in interrill flow: interactions between soil surface conditions, vegetation and rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms*, **27** (2), 193-205.
- Cerdan O., Souchère V., Lecomte V., Couturier A., Le Bissonnais Y., 2002c. Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model : STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management). *Catena*, **46**, 189-205.
- Joannon A., Souchère V., Martin P., Papy F., 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level: considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation and Development*, **17**(5):467-478.
- Joannon A., Papy F., Martin P., Souchère V., 2005. Planning work constraints within farms to reduce runoff at catchment level. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, **111**(1-4): 13-20.
- 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, INA P-G, Paris, 230 pages + annexes.
- Ruelland D., Laurent F., Trebouet A. (2004). Spatialisation de successions culturales à partir d'images HRV(XS) de SPOT pour une intégration dans un modèle agro-hydrologique. Paris :
- Souadi T, King C, Le Bissonnais Y, Bourguignon A, Souchère V, Denis L, Lecour A, Maurizot R. 2000. Atlas régional de l'Aléa érosion en Haute Normandie. BRGM Report RP50454-FR.
- Souchère V., Cerdan O., Dubreuil N., Le Bissonnais Y., King C., 2005a. Modelling the impact of agri-environmental scenarios on runoff in a cultivated catchment (Normandy, France). *Catena*, **61**(2-3): 231-242.
- Souchère V., Sorel L., Couturier A., Le Bissonnais Y., Cerdan O., 2005b. Application du modèle STREAM à l'échelle d'un bassin versant au cours d'un cycle hydrologique. Programme PIREN Seine, Rapport d'activité 2004 du PIREN Seine, 32 p.
- Souchère V., Cerdan O., Ludwig B., Le Bissonnais Y., Couturier A., Papy F., 2003. Modelling ephemeral gully erosion in small cultivated catchments. *Catena*, **50** (2-4), 489-505.
- Souchère V., King D., Daroussin J., Papy F., Capillon A., 1998. Effect of tillage on runoff directions : consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology*, **206**, 256-267.