



**HAL**  
open science

## Assimilation de données satellitaires pour la modélisation de risques de ruissellement : validation par l'exemple d'une crue éclair en Normandie

Christine King, Nicolas Dubreuil, Véronique Souchère, V. Lecomte, Nicolas Baghdadi, Yves Le Bissonnais

### ► To cite this version:

Christine King, Nicolas Dubreuil, Véronique Souchère, V. Lecomte, Nicolas Baghdadi, et al.. Assimilation de données satellitaires pour la modélisation de risques de ruissellement : validation par l'exemple d'une crue éclair en Normandie. SIRNAT "Journées pour la Prévention des Risques Naturels", Jan 2003, ORLEANS, France. 8 p. hal-02833211

**HAL Id: hal-02833211**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02833211>**

Submitted on 7 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Assimilation de données satellitaires  
pour la modélisation de risques de ruissellement :  
validation par l'exemple d'une crue éclair en Normandie.**

King C.\*, Dubreuil N. \*, Souchère V. \*\*, Lecomte V.\*, Baghdadi N.\*, Le Bissonnais Y., \*\*

\* BRGM, 3 av.C. Guillemin BP 6009, 45100, Orléans cedex 02 – 02 38 64 33 92- 02 38 64 33 99 – c.king@brgm.fr

\*\* INRA, av. de la Pomme de Pin, Ardon 45260 Olivet - 02 38 41 78 77- 02 38 41 78 69 – lebisson@orleans.inra.fr

## Résumé

Le modèle de ruissellement STREAM développé et validé à l'échelle de petits bassins versants par l'INRA a été modifié pour être alimenté par des données d'occupation du sol acquises par télédétection et par des données topographiques. Sa transposition à une échelle régionale a été validée dans le cas de pluies hivernales de faible intensité. par substitution stricte des données de terrain par des données satellitaires acquises à la même date et par comparaison des prédictions de volumes ruisselés. Ce papier présente un autre type de validation par confrontation à des estimations de volumes ruisselés obtenues à l'issue d'un événement pluvieux catastrophique qui s'est produit en juin 1997 à Villers Ecalles, en Haute Normandie.

La méthode utilisée a des limites de validité liées à des hypothèses telles que celle d'une pluie à répartition homogène sur l'ensemble du bassin, mais malgré les fourchettes d'erreur, les estimations obtenues sont du même ordre de grandeur en plusieurs points du bassin versant que celles fournies par expertise lors d'une enquête de retour d'expérience.

Ce modèle spatialisé du ruissellement a pu être appliqué à l'échelle de grands bassins versants de façon à offrir un réel outil d'intelligence territoriale pour diagnostiquer les risques et simuler des scénarios de réduction du ruissellement.

*Mots clés :Ruissellement, sols limoneux, données satellitaires, modélisation, assimilation, scénarios.*

## Introduction

Dans un certain nombre de territoires agricoles de la ceinture loessique d'Europe du Nord, le comportement hydrodynamique des sols agricoles est sous la dépendance forte de leurs capacités d'infiltration et de leur rugosité de surface. Les interactions entre conditions météorologiques, pratiques agricoles et texture de surface du sol provoquent des changements significatifs et rapides dans les propriétés hydrauliques de surface des sols (Boiffin, 1984). La détérioration de l'infiltrabilité du sol et de la capacité de stockage de surface est fortement influencée par les phénomènes d'encroûtement et conditionne la genèse du ruissellement (Auzet et al. 1990 ; King and Le Bissonnais, 1992 ; Govers et al. 2000). Les processus impliqués dans cet encroûtement sont très dynamiques. Or les caractéristiques de surfaces, difficiles à mesurer, étaient jusqu'à présent peu pris en compte dans les modélisations du ruissellement. Des travaux récents ( Fox et Le Bissonnais 1998, Le Bissonnais et al., 1998) ont montré qu'il est possible de tenir compte de ces processus dans la modélisation de la genèse du ruissellement avec le modèle STREAM, notamment le processus de battance (Cerdan et al., 2001, Souchère et al., in press). Avec ce modèle, on améliore la quantification de l'infiltration et l'estimation du réseau d'accumulation du ruissellement.

Enfin, on a montré que les techniques de télédétection optique et radar permettent d'accéder sous certaines conditions à la mesure de la rugosité de surface (Blanchard et al 1999, Baghdadi et al. 2001, Baghdadi et al. 2002) et permettent une description simplifiée des états de surface sur de grands

territoires. Une démonstration de substitution de données terrain par des données de télédétection a imposé une adaptation du modèle pour qu'il ne soit alimenté que par les seules informations de télédétection en plus de la topographie. Les performances de cette nouvelle version du modèle de ruissellement (STREAM-Ted) sont restées satisfaisantes pour l'évaluation du ruissellement à l'exutoire d'un bassin de 1000 hectares environ et avec des types de pluies fréquemment rencontrées en période hivernale. Elles ont ouvert la possibilité d'un usage régional de ce modèle (Lecomte et al 2001, King et al., accepté).

Mais au stade actuel, le modèle STREAM-Ted a été établi et validé pour des événements pluvieux fréquents et la confrontation d'une telle méthode de modélisation avec des événements pluvieux d'ordre catastrophique n'avait pu encore être réalisée, faute de données pertinentes permettant une telle confrontation.

La crue catastrophique du 16 juin 1997 à Villers-Ecalles (Haute Normandie, France) a conduit à la mise en place d'une mission d'expertise pour estimer les débits et les volumes en tous points du bassin (Gilard et Nedelec, 1997). Or cette crue s'est produite durant la réalisation du programme européen FLOODGEN visant à démontrer la pertinence des données satellitaires pour les études de ruissellement. L'objectif de ce travail a été de s'appuyer sur ces données pour confronter les résultats de la modélisation régionale de STREAM-Ted à partir de données satellitaires avec les données mesurées lors d'un événement exceptionnel réel.

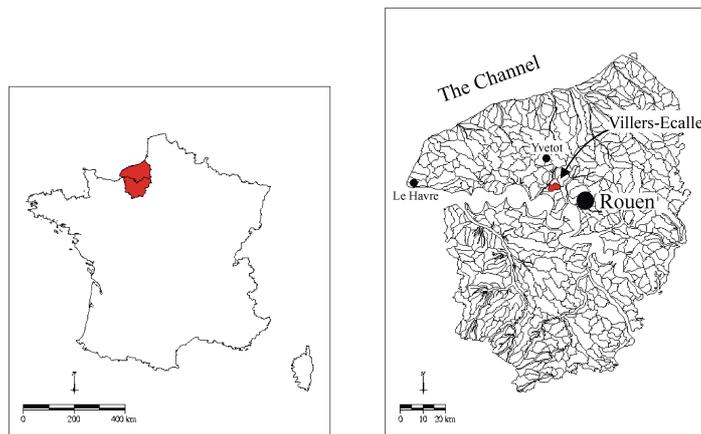


Fig 1 Localisation du site de Villers Ecalles ( Normandie France)

## 1. Site d'étude et données disponibles

### 1.1. Site d'étude

Le bassin versant de Villers Ecalles, (Haute-Normandie, France), 49°31'N, 1°23' W (figure 1), a connu en juin 1997 un événement pluvieux de type orage de printemps provoquant une crue éclair et entraînant la mort de deux personnes. Ce bassin comporte principalement des terrains agricoles dédiés aux cultures annuelles intensives et organisés en openfield sur un plateau limoneux de faible relief. Les sols sont pour la majorité des sols limoneux lessivés, représentatifs de la ceinture des sols limoneux dont l'extension s'étend sur le nord-ouest de l'Europe.

### 1.2. Données disponibles

#### 1.2.1. Données météorologiques

Suite à cette crue soudaine du 16 juin 1997, une série d'expertises ont été commandées par les instances régionales pour tenter d'établir les causes de cette catastrophe. Le CEMAGREF (Gilard et

Nedelec 1997) a reconstruit la cartographie de la lame d'eau estimée par Météo-France à partir des données de radar météorologique (figure 2). La limite du bassin versant n'est donnée qu'à titre indicative dans le document de Météo-France. L'incertitude majeure réside dans la connaissance de la pluie: incertitude sur les valeurs (intensité et durée), et incertitude sur la localisation des maxima de l'événement orageux. En effet, le caractère exceptionnel de l'orage a empêché le calage précis des observations des radars météo. Ces données météo ont servi à choisir le type d'événement pluvieux à simuler par STREAM: intensité, durée et précédent hydrique.

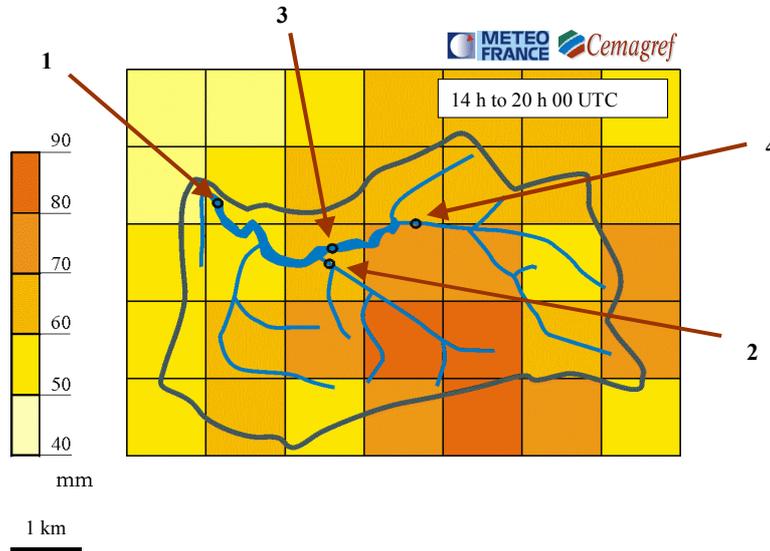


Fig 2. Hauteur de précipitation estimée par Météo France pour l'évènement du 16 Juin 1997 issue des données de radar-pluie et points d'estimation au sol des débits (source Gilard and Nedelec, 1997)

### 1.2.2. Données d'expertise sur le dimensionnement de l'évènement

En utilisant les informations collectées sur le terrain par l'AREAS (Association régionale pour l'étude et l'amélioration des sols) et les données de Météo-France, les experts du Cemagref (Gilard et Nedelec, 1997) ont estimé les débits et les volumes lors de la crue en quatre points du bassin (figure 2). Ils ont procédé en deux étapes : à partir des traces laissées par l'eau et d'estimations du coefficient de rugosité, l'expertise propose des débits instantanés en utilisant l'équation de Manning-Strickler. Ensuite à partir d'estimations de la dynamique de l'évènement, également issue des enquêtes de terrain, ces débits sont traduits en hydrogrammes puis en volumes pour les quatre points considérés.

Les estimations hautes et basses rendent compte de la nécessaire fourchette d'erreur liée aux incertitudes successives, notamment celles afférant à la géométrie des profils, au coefficient de rugosité à appliquer aux surfaces, et enfin à la dynamique réelle de l'évènement que les données météorologiques présentées ci-dessus ne permettent pas totalement de dimensionner (Tableau 1 partie Cemagref)

### 1.2.3. Données numériques

Les données altimétriques proviennent du modèle numérique de terrain IGN, (pas de 50 m avec 2,5 à 5 m en résolution verticale). Les zones urbaines sont extraites de la couverture Corine Land Cover établie entre 1985 et 1992 et distribuée par l'IFEN. Enfin l'occupation du sol de la période considérée provient de la classification multispectrale de deux images SPOT programmées respectivement en mars et septembre 1997, dates d'observation encadrant celle de l'évènement. L'occupation du sol pour la période exacte de l'évènement catastrophique a pu être ainsi reconstruite : 24 classes radiométriques différentes correspondant à 7 types d'occupation du sol ont été distinguées et validées sur le terrain: forêts, prairies, cultures d'hiver, cultures de printemps précoces (récoltées avant septembre), les cultures de printemps tardives, les surfaces d'eau libre (Blanchard et al., 1999).

### 1.2.4. Données cartographiques

La carte numérique des formations superficielles sur le bassin versant de Villers-Ecalles a été fournie grâce à la synthèse cartographique des formations géologiques de la région Haute-Normandie issue d'un assemblage de 36 cartes géologiques au 1/50 000 (Souadi et al., 2000), réalisée dans le cadre d'une étude régionale de l'aléa érosion.

## 2. STREAM rappel de la structure du modèle initial et de l'adaptation pour utiliser des données de télédétection

Le modèle spatialisé non dynamique - STREAM - calcule le volume ruisselé en tout point d'un bassin versant agricole pour une pluie donnée. Il fonctionne donc aux échelles de l'événement pluvieux et du bassin versant. Il repose sur une approche de type système expert et prend en compte les états de surface pour le calcul de l'infiltration et les motifs agraires pour le calcul du réseau de circulation (Cerdan, 2001; Souchère, in press). Par la prépondérance du processus de battance dans son calcul du bilan ruissellement/infiltration, il est particulièrement adapté à la ceinture limoneuse du Nord-Ouest de l'Europe où il a été validé par l'INRA sur des bassins versants cauchois allant de 100 à 1 000 ha (Cerdan *et al.*, 2001). Les données météorologiques, topographiques et les données issues de la télédétection peuvent alimenter le modèle STREAM-Ted adapté à cette fin (Lecomte, 2001, King et al., accepté) (figure 3).

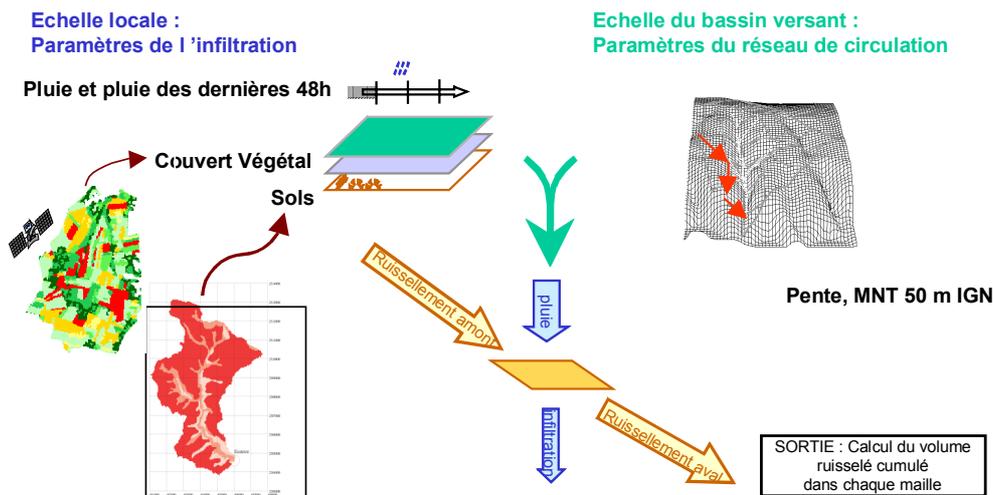


Fig. 3 Fonctionnement du modèle STREAM-Ted : le modèle STREAM validé sur des bassins versants élémentaires est modifié pour assimiler des données accessibles de façon homogène sur l'ensemble du territoire.

## 3. Résultats

### 3.1. Résultats des modélisations

Le modèle travaille avec une hypothèse de répartition homogène des pluies sur l'ensemble du bassin versant. Sa durée et son intensité sont fixées à partir de la carte météorologique (figure 2). Dans le cas de la crue de Villers-Ecalles, l'hétérogénéité des pluies apparaît très importante, c'est pourquoi il a été décidé de simuler deux événements pluvieux différents pour essayer de cerner les incertitudes liées à cette hétérogénéité:

- 100 mm en 5h30 sans pluie antécédente pour donner une estimation haute des volumes ruisselés

- 80 mm en 5h30 pour en donner une estimation basse.

Les résultats quantitatifs obtenus aux différents points du bassins définis par l'expertise du Cemagref sont présentés au tableau 1.

<i>STREAM</i>				
Point de mesure	1	2	3	4
80 mm en 5h30	224	64	109	109
100 mm en 5h30	388	108	181	166
moyenne	306	86	145	137.5
<i>CEMAGREF</i>				
Point de mesure	1	2	3	4
Estimation la plus basse	148	148	55	55
Estimation la plus haute	369	277	92	111
moyenne	258.5	212.5	73.5	83

Table 1 : Comparaison entre les volumes (en milliers de m<sup>3</sup>) simulés par STREAM-Ted et ceux estimés par le CEMAGREF pour l'évènement du 16 juin 1997.

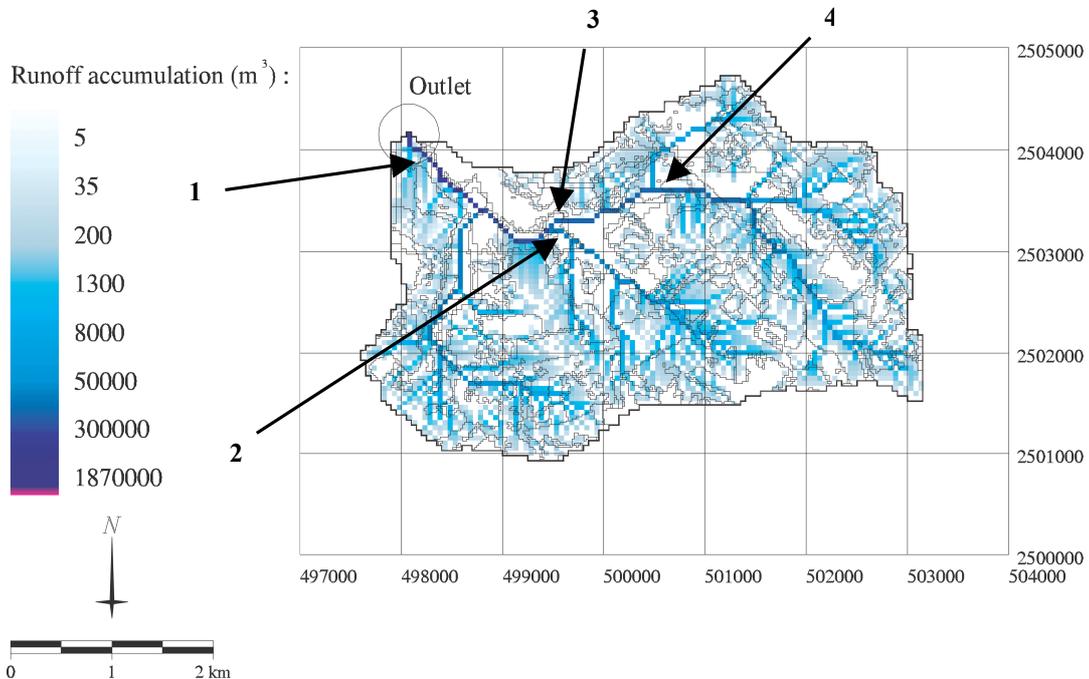


Fig 4. Volume de ruissellement estimé par STREAM-Ted pour le cas d'un évènement de type 80 mm de pluie en 5h30 (évènement du 16 Juin 1997)

La figure 4 présente le volume ruisselé calculé à l'aide du modèle STREAM-Ted pour la pluie de 80 mm en 5h30. Les quatre profils où sont faites les estimations par expertise du Cemagref sont localisés sur cette figure 4.

### 3.2. Confrontation des résultats de la modélisation et de l'expertise

Les résultats simulés grâce au modèle sont analysés à deux niveaux : le premier, qualitatif, porte sur la localisation géographique des écoulements, et les seconds, quantitatifs, où sont comparés les volumes estimés en quatre points du bassin.

- La localisation géographique des écoulements cartographiés par le Cemagref est très similaire au résultat du calcul STREAM-Ted. Les axes des drains principaux cartographiés par les experts à partir de cartes topographiques au 1/25000 se retrouvent juxtaposés aux axes d'écoulement calculés par la

fonction de calcul de la concentration des écoulements à partir du MNT à la maille 50m. La manière d'alimenter STREAM-Ted avec des données de MNT peut donc satisfaire aux exigences des méthodes d'expertises conventionnelles.

- Le volume total estimé à l'exutoire du bassin présente des ordres de grandeur très comparables, entre 250 et 300 milliers de m<sup>3</sup> (tableau 1), de même les ordres de grandeurs de deux des trois points intermédiaires sont comparables, que ce soit pour le volume estimé par le Cemagref ou pour ceux modélisés à l'aide de STREAM-Ted.
- Les fourchettes d'erreur se retrouvent également être du même ordre de grandeur bien que les causes d'erreur soient de nature différentes (figure 5). Les barres d'erreurs de la simulation STREAM-Ted correspondent à deux scénarios possibles pour simuler cet événement pluvieux extrême et tenir compte de la réalité des hétérogénéités. Les barres d'erreurs des estimations du Cemagref reflètent les incertitudes sur la géométrie des profils, sur le coefficient de rugosité à appliquer aux surfaces, et enfin sur la dynamique de l'événement.
- Par contre des différences entre les volumes modélisés par STREAM-Ted et ceux estimés par le Cemagref sont particulièrement visibles au niveau du point 2. Notre interprétation est que cette différence provient de l'hétérogénéité très forte des pluies lors de cet événement pluvieux, hétérogénéité que le modèle STREAM-Ted n'a pas pu prendre en compte: il a sous-estimé le ruissellement atteignant le profil 2 car la zone qui l'alimente (centre sud) a été la plus arrosée (Fig. 2).

Les estimations quantitatives de STREAM-Ted s'avèrent donc très réalistes confrontées aux données d'expertise, qui sont habituellement les seules accessibles dans ces régions peu équipées en matériel de suivi hydrologique et mal couvertes par les réseaux de radar météo.

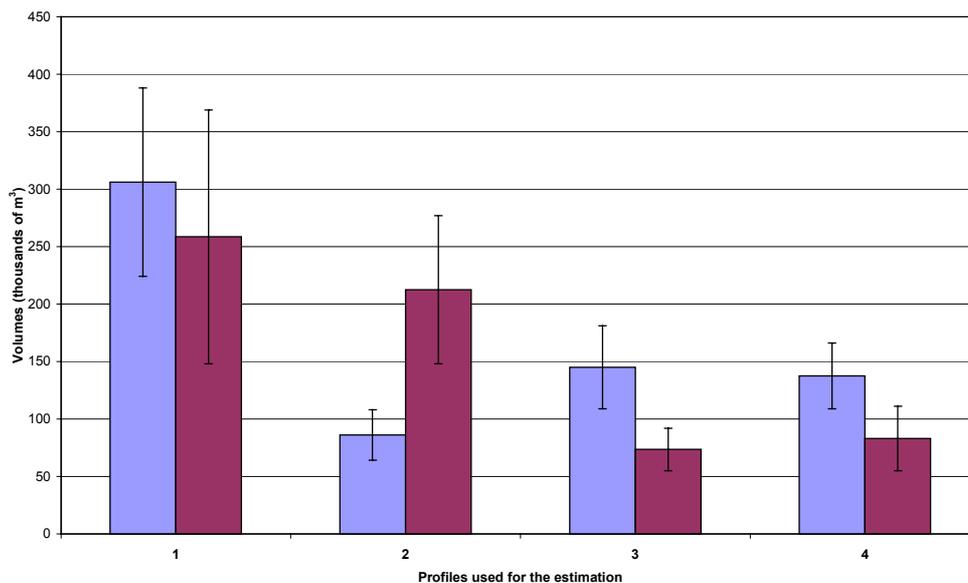


Fig.5 Comparaison entre les volumes modélisés par STREAM-Ted (gauche) et ceux estimés par le CEMAGREF (droite) pour l'événement de 16 Juin 1997.

#### 4. Conclusion

La confrontation des résultats du modèle STREAM-Ted au cas réel d'une crue éclair est une avancée démontrant la robustesse de ce modèle appliqué dans un contexte de sols agricoles limoneux. En effet, le modèle n'avait pas été défini pour de tels événements pluvieux, de plus sa simplification pour envisager de passer à des études plus régionales s'avère ici confortée.

Ces résultats ont représenté une étape supplémentaire pour permettre l'application du modèle STREAM-Ted sur de grands bassins versants. On a pu depuis procéder à une généralisation de l'utilisation de ce modèle à des échelles régionales en se limitant à l'usage des données aisément disponibles (topographie et occupation du sol) et fourni un outil capable d'atteindre deux objectifs :

diagnostiquer les risques, et proposer des scénarios pour simuler les mesures correctives possibles fig.6 (Dubreuil et al 2001).

Il est apparu que la destruction des prairies encore en place aurait des conséquences catastrophiques (Souchère et al 2002), et qu'une généralisation de pratiques agricoles améliorantes associées à la mise en herbe des zones de concentration du ruissellement permettrait de réduire considérablement les volumes ruisselés lors d'événements hivernaux(fig.7). Par contre un risque incompressible subsiste en cas d'événement orageux catastrophique de type Villers-Ecalles. ( Fig. 6)

Ces étapes successives sont conduites pour atteindre à terme un objectif plus général : promouvoir des méthodes d'appui à une politique collective de réduction du ruissellement à l'échelle régionale de plusieurs bassins versants, pour (1) localiser les zones d'intervention prioritaires, (2) limiter les excès du ruissellement de surface et (3) réduire les risques de dégâts en aval. Dans ce contexte, disposer d'outils de simulation pour localiser et suivre des zones de ruissellement potentiel est précieux pour orienter les mesures de protection

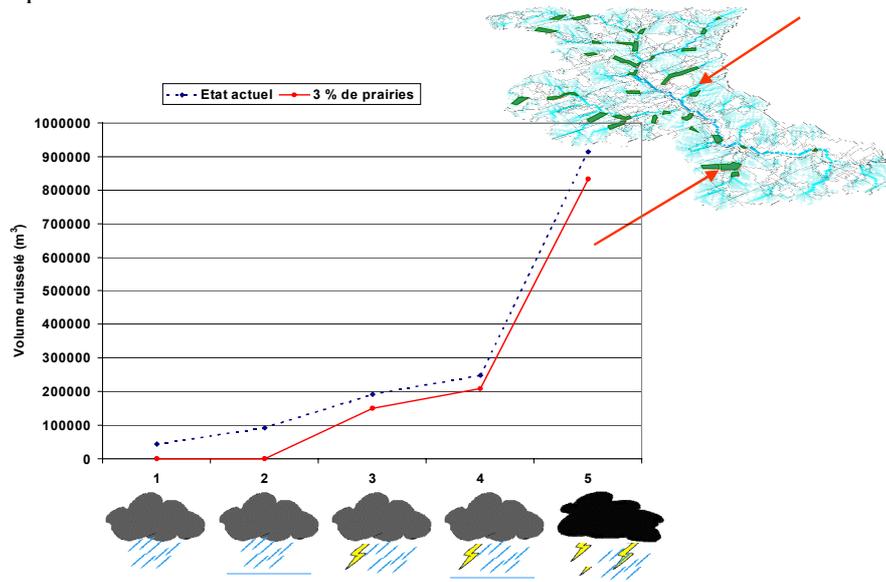


Fig. 6 Conséquence bénéfique de l'introduction de 3 % de prairies sur le réseau de drainage principal d'un bassin versant

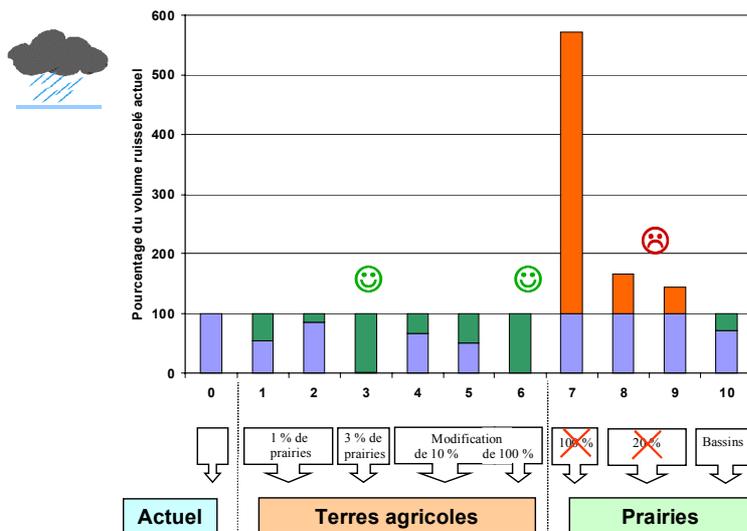


Fig.7 Comparaison de l'influence de 9 types de modifications de l'occupation du sol sur un bassin versant

## Remerciements

Cet article a été rendu possible grâce au soutien du programme de recherche 01METRO5 du BRGM, le programme de recherche GESSOL-Erosion de l'INRA et le programme de la DISE-HNO (Délégation Inter-Service de l'Eau de la Région Haute-Normandie). Nos chaleureux remerciements sont adressés à Alain Couturier et Joël Daroussin (INRA) pour leur aide précieuse dans l'utilisation des logiciels ArcInfo et Kaleidos.

## BIBLIOGRAPHIE

- Auzet A.V., Boiffin J., Papy F., Maucorps J., Ouvry J.F., 1990-. An approach to the assessment of erosion forms and erosion risks on agricultural land in the Northern Paris Basin, France. In Boardman, J., Foster D.L., Dearing J.A (Eds) *Soil Erosion on Agricultural Land*, John Wiley & Sons, pp 383-400.
- Baghdadi N., King C., Chanzy A., and Wigneron J.P., 2001-. An empirical calibration of IEM model based on SAR data and measurements of soil moisture and surface roughness over bare soils. *International Journal of Remote Sensing* vol.23, n°20, 4325-4340
- Baghdadi N., King C., Bourguignon A., Remond A., 2002 -Potential of ERS and RADARSAT data for surface roughness monitoring over bare agricultural fields, *International Journal of Remote Sensing*, vol 23 n017, 3427-3442
- Blanchard E., King C., Le Bissonnais Y., Bourguignon A., Souchère V., Desprats J.F., Maurizot P., 1999-. Paramétrisation du potentiel de ruissellement des bassins versants au moyen de la Télédétection et Systèmes d'Informations Géographiques – Application à des bassins versants du Pays de Caux, *Etude et Gestion des Sols*, 6, 3, 181-199.
- Boiffin J., 1984-. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de l'INA-PG, 320 pp.
- Cerdan O., Souchère V., Lecomte V., Couturier A., Le Bissonnais Y., 2001-. Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model STREAM (Sealing Transfer Runoff Erosion Agricultural Modification). *Catena* 46, 189-205.
- Dubreuil N., King C., Lecomte V., Souchère V., Le Bissonnais Y. 2002 – Régionalisation d'un modèle de ruissellement en zone agricole (STREAM). BRGM/RP-51115-FR, 150 p., 27 fig., 11 tabl., 2 ann.
- Fox D. and Le Bissonnais Y., 1998-. A process based analysis of the influence of aggregate stability on surface crusting, infiltration and interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal* 62, 717-724.
- Gilard O., Nedelec Y., 1997. Rapport d'expertise hydraulique et hydrologique : Crue du 16 juin 1997 à Saint-Martin de Boscherville et Villers-Ecalles (76), Cemagref, 60 pp.
- Govers G., Takken I., Helming K., 2000-. "Soil roughness and overland flow", *Agronomie*, 20: 131-146.
- King C., Lecomte V., Le Bissonnais Y., Baghdadi N., Souchère V., Cerdan O., "Use of remote sensing data as alternative inputs in the "stream" runoff model » *Catena*. accepté
- King D. and 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) 91-105
- Le Bissonnais Y., Fox D., Bresson L.M, 1998-. Incorporating crusting processes in erosion models. In Boardman J., Favis-Mortlock D.T.(Eds) *Modelling Soil Erosion by Water*, Springer-Verlag NATO-ASI Global change series, Heidelberg pp 237-246
- Lecomte V., King C., Cerdan O., Baghdadi N., Bourguignon A., 2001-. Use of remote sensing data as alternative inputs in the « STREAM » runoff model. Proceedings 8<sup>th</sup> International Symposium Physical measurements & signatures in remote sensing, session 10 remote sensing data assimilation in models, 8-12 January 2001, Aussois, France, CNES, p. 699-705 .
- Souadi T., King C., Le Bissonnais Y et al., 2000-. Atlas régional de l'Aléa érosion des sols de la région Haute-Normandie. rapport BRGM/INRA RP 50-454FR
- Souchère, V., Ludwig, B. Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturier, A., Papy, F. Assessment of potential ephemeral gully erosion in small agricultural catchments using a GIS-based model. *Catena* in press.
- Souchère V., King C., Dubreuil N., Lecomte-Morel V., Le Bissonnais Y., Chalal M. - Grassland decrease: Role of socio-economic factor and consequences, accepté à *Environmental Science & Policy*.