



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITE D'ORLEANS

**Rapport de Stage**  
**Master des Sciences de la Terre**  
**Année 2007-2008**

*Modélisation de l'érosion hydrique des  
sols avec le modèle STREAM.*

*Application sur deux petits bassins versants en  
contexte méditerranéen :  
Roujan (Hérault, France) et Kamech (cap Bon, Tunisie).*

**par Stéphane WILLIATTE**

sous la direction de : **M. Frédéric DARBOUX**  
**M. Benoît DEVILLERS** et **M. Alain COUTURIER**



## Remerciement

A l'issue de ce stage, je remercie tout d'abord l'INRA d'Orléans, et plus particulièrement l'Unité de Recherche Science du Sol, de m'avoir accueilli durant ces 6 mois.

Plus particulièrement, je remercie Frédéric Darboux (chercheur en Science du Sol et maître de stage) pour m'avoir permis de travailler sur ce projet et pour sa disponibilité tout au long de ce stage.

Je remercie également Benoît Devillers (Post-doctorant) d'avoir toujours su répondre efficacement à mes interrogations ainsi que pour son aide et ses conseils pendant l'accomplissement de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Alain Couturier (Assistant ingénieur en géomatique) pour toutes mes questions concernant STREAM et pour ses connaissances très pointues en SIG qui m'ont été extrêmement utiles.

Je tiens à remercier également les partenaires du projet, Yves Le Bissonnais (INRA-LISAH), Sylvio Gumière (INRA-LISAH), Damien Raclot (IRD) et Olivier Cerdan (BRGM) pour les données fournies, leurs conseils et pour avoir répondu à certaines de mes interrogations.

Plus généralement, mes remerciements sont adressés à tous ceux qui ont pu aider à la réalisation et au bon déroulement de ce stage qui restera pour moi une très bonne expérience professionnelle mais aussi personnelle.



# Présentation de l'INRA

L'institut national de la recherche agronomique (INRA) est un organisme de recherche scientifique public, placé sous la double tutelle du ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche et du ministère de l'Agriculture et de la pêche.

L'INRA a été fondé en 1946 et est devenu aujourd'hui le premier institut européen de recherche agronomique.

Ses missions sont :

- produire et diffuser des connaissances scientifiques ;
- concevoir des innovations et des savoir-faire pour la société ;
- éclairer, par son expertise, les décisions des acteurs publics et privés ;
- développer la culture scientifique et technique et participer au débat science/société ;
- former à la recherche et par la recherche.

Son organisation comprend 14 départements scientifiques, 21 centres de recherches régionaux et plus de 150 implantations.

L'INRA est engagé dans des partenariats avec l'enseignement supérieur et des organismes de recherches, des entreprises, des organisations collectives agricoles, les pouvoirs publics, européens et internationaux.

Le centre de recherche d'Orléans, est composé de 6 unités :

- 3 unités de recherche (UR AGPF, URZF et UR Science du sol)
- 1 unité de service (Infosol)
- 2 unités expérimentales (UE Amélioration et UE Bourges)

Quatre domaines de recherches sont traités : la sélection d'arbres forestiers, la biologie des insectes forestiers ravageurs, la maîtrise de l'érosion et des pollutions ainsi que l'évaluation des risques agro-climatiques, et l'amélioration génétique des performances des troupeaux.

Les effectifs du centre d'Orléans sont de 200 personnes dont : 38% de chercheurs et ingénieurs, 49% de techniciens et 13% d'administratifs.

A ceux-là, on peut ajouter chaque année 50 non titulaires (étudiants, doctorant, post doctorants, et chercheurs étrangers).

<http://www.orleans.inra.fr/>



# Sommaire

## Modélisation de l'érosion des sols sous SIG. Effet du changement climatique en contexte méditerranéen.

Remerciements.....	3
Présentation de l'INRA.....	5

### Introduction

Contexte général.....	9
Objectifs et démarche.....	9

### Partie I : Principes de modélisation

1. Mécanismes de l'érosion hydrique.....	11
a. Infiltration et ruissellement.....	11
b. Différents types d'érosions.....	11
2. Type de modèles.....	12
a. Modèles empiriques.....	13
b. Modèles déterministes.....	13
c. Modèles experts.....	14
d. Précision des modèles.....	14
3. Présentation du modèle STREAM.....	15
a. Caractéristiques générales.....	15
b. Interface graphique.....	15
c. Fonctionnement global.....	15
d. Développement de STREAM.....	16
e. Données d'entrée.....	17
f. Différents modules de STREAM.....	17
g. Sorties de STREAM.....	18
4. Caractérisation des états de surface pris en compte dans STREAM.....	18
a. Faciès.....	18
b. Rugosité de surface.....	19
c. Couvert végétal.....	19
d. Humidité du sol.....	19

## **Partie II : Présentation et mise en forme des données**

1. Présentation du bassin versant de Roujan.....	21
2. Données sur Roujan.....	24
a. Données initiales.....	24
b. Modifications des données.....	25
3. Présentation du bassin versant de Kamech.....	27
4. Données sur Kamech.....	31
a. Données initiales.....	31
b. Modifications des données.....	31

## **Partie III : Simulation et interprétation des résultats**

1. Simulations sur Roujan.....	33
a. Données de validation.....	33
b. Simulations effectuées.....	34
c. Comparaison entre les flux simulés et mesurés.....	34
d. Commentaire des cartes de flux.....	41
e. Scénarios de changement de pratique culturale.....	44
2. Simulation sur Kamech.....	49
a. Données de validation.....	49
b. Simulations effectuées.....	50
c. Comparaison entre les flux simulés et mesurés.....	50
d. Commentaire des cartes de flux.....	56
e. Scénarios de changement de pratique culturale.....	58

## **CONCLUSION.....**

61

## **Annexes.....**

63

## **Liste des figures.....**

79

## **Bibliographie.....**

81

## INTRODUCTION

### Contexte général :

Ce stage, réalisé à l'INRA d'Orléans, dans l'unité de recherche, Science du Sol, du 1 avril au 30 septembre 2008, rentre dans le cadre du projet MeSoEros21 (« MEditerrananean Soils EROSION and vulnerability to global change during the 21th century »). Ce projet, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (appel d'offre Vulnérabilité, milieu, climat) a pour but une meilleure compréhension des impacts potentiels du changement climatique global sur l'érosion des sols en contexte méditerranéen. Ce type de milieu risque en effet d'être particulièrement vulnérable aux phénomènes d'érosion hydrique, à cause du caractère irrégulier et violent des précipitations, des fortes pentes, des faibles couvertures végétales et des changements d'occupations des sols que l'on peut observer dans ces régions.

Afin d'évaluer ces impacts sur des bassins versants allant de 1 à plus de 100 km<sup>2</sup>, différents scénarios de changements du climat et d'occupations des sols ont été établis par des partenaires du projet et seront ensuite introduits dans le modèle de simulation de l'érosion STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management). Ce projet aura également pour but de quantifier les incertitudes de prédictions et l'imprécision liée à la qualité des données.

Enfin, les résultats issus de ce projet pourraient au final être intégrés dans des approches améliorées de la modélisation du changement global.

### Objectifs et démarche :

Au sein de ce projet, l'objectif de ce stage est la modélisation de l'érosion des sols sous SIG sur deux bassins versants de petites tailles (environ 200 hectares) à l'aide du modèle STREAM. Le premier site d'étude est le bassin versant de Roujan, situé dans le Sud de la France, à 30 kilomètres à l'ouest de Montpellier. Le second site, le bassin versant de Kamech, se trouve au Nord de la Tunisie, au Nord-Ouest de la péninsule du Cap-Bon. Le but est de mieux comprendre le comportement de l'érosion de ces bassins versants suite à des événements pluvieux ayant des caractéristiques différentes et de préciser l'influence d'un changement d'occupation du sol.

Trois grandes étapes sont nécessaires pour atteindre notre objectif, elles correspondent aux différentes parties de ce rapport.

Dans une première partie, sous forme de synthèse bibliographique, nous verrons succinctement les différents types de modèles existants, une présentation du modèle STREAM et un résumé des mécanismes conduisant aux phénomènes d'érosion hydrique. Dans une deuxième partie, après une présentation des deux sites d'études, nous verrons le travail de mise en forme des données effectué afin qu'elles puissent être intégrées dans STREAM. Enfin, la troisième partie correspond à la phase d'interprétation des résultats des simulations sur les deux bassins versants.



## Partie I : Principes de modélisation

Afin de comprendre les grands principes de la modélisation, il est important de rappeler les principaux mécanismes de l'érosion hydrique. Après cela, nous verrons quels sont les différents types de modèles développés et à quelle précision concernant les prédictions peut on s'attendre. Nous présenterons ensuite le modèle STREAM utilisé dans notre cas.

### 1. Mécanismes de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique est le principal mécanisme de perte en sol. C'est un problème environnemental majeur qui peut s'exprimer par la formation de ravines et de coulées de boues et avoir pour conséquence la perte en sol et la pollution des eaux.

Les phénomènes d'érosion hydrique ont été accentués durant les trente dernières années en Europe, à cause notamment d'une modification des pratiques culturales (Souchère, *et al.*, 2003).

Les paragraphes suivants décrivent les principaux facteurs responsables de ces phénomènes.

#### a. Infiltration et ruissellement

Le ruissellement sur une zone donnée peut être initié de deux façons différentes. Tout d'abord le ruissellement Hortonien (Horton, 1945), qui se produit lorsque l'intensité de la pluie, à un instant donné, est supérieure à la capacité d'infiltration du sol. Ce ruissellement s'oppose au ruissellement par saturation qui est généré par la saturation en eau du sol. Ce type de ruissellement dépend donc du niveau de la nappe phréatique. En contexte méditerranéen, et donc notre cas d'étude, le ruissellement observé est principalement de type Hortonien. Il est à noter que sur le bassin versant de Roujan, la présence de nappes d'eau peut limiter la capacité d'infiltration des sols, et de l'eau peut même être exfiltré par les fossés (Paré, 2007). Cependant, ce phénomène est limité dans notre cas par le fait que nous modélisons des événements pluvieux survenus lors de périodes relativement sèches.

#### b. Les différents types d'érosion

L'érosion (ablation, transport, sédimentation) est produite par la combinaison de mécanismes en relais sur différentes échelles spatiales, du  $\text{cm}^2$  au bassin versant.

A l'échelle du bassin versant, il existe différentes sortes d'érosion (fig.2). La plus discrète est l'érosion diffuse. Dans ce cas, l'arrachement des particules est initié par l'impact des gouttes d'eau frappant le sol, et elles seront transportées par un ruissellement diffus. Bien que ce phénomène ne soit pas très intense, il ne doit cependant pas être sous-estimé du fait de son action qui s'étend sur de grandes surfaces, et peut donc arracher et transporter des volumes de terres importants. En effet, 1 mm de terre arrachée représente  $10\text{m}^3$  par hectare et plusieurs  $\text{m}^3/\text{ha}$  peuvent être déplacés à l'échelle de la parcelle lors d'un seul événement pluvieux (Gallien *et al.*, 1995).

Cette érosion diffuse a tendance à prendre la direction de la plus grande pente et se concentre donc. Si la vitesse de ruissellement augmente suffisamment, il peut alors arracher à son tour des particules de terre. Comme le montre le diagramme d'Hjulström (fig.1), l'arrachement des particules par le ruissellement est fonction d'un rapport entre l'énergie de l'écoulement et la taille des particules. De plus, celui-ci permet leur transport.

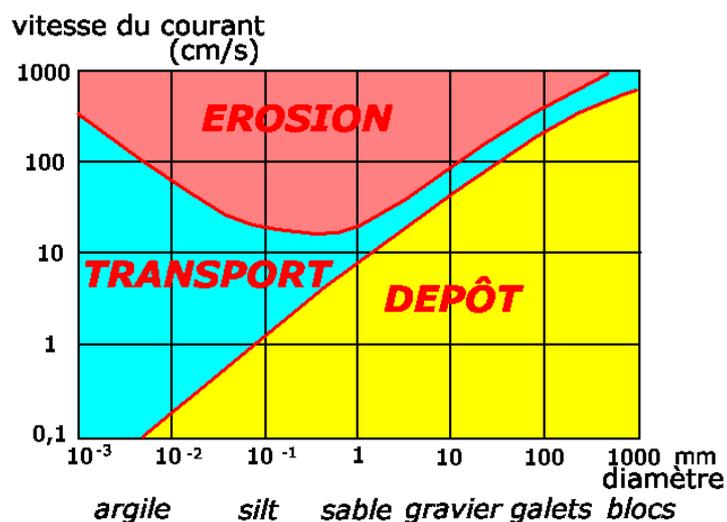


Fig.1 : Diagramme de Hjulström (Hjulström F. 1935)

Cela peut à terme former des ravines, on parle alors d'érosion concentrée ou linéaire. Ce type d'érosion, plus visible dans le paysage que l'érosion diffuse, bien que localisé, peut être responsable de l'arrachement et du transport d'importants volumes de terre.

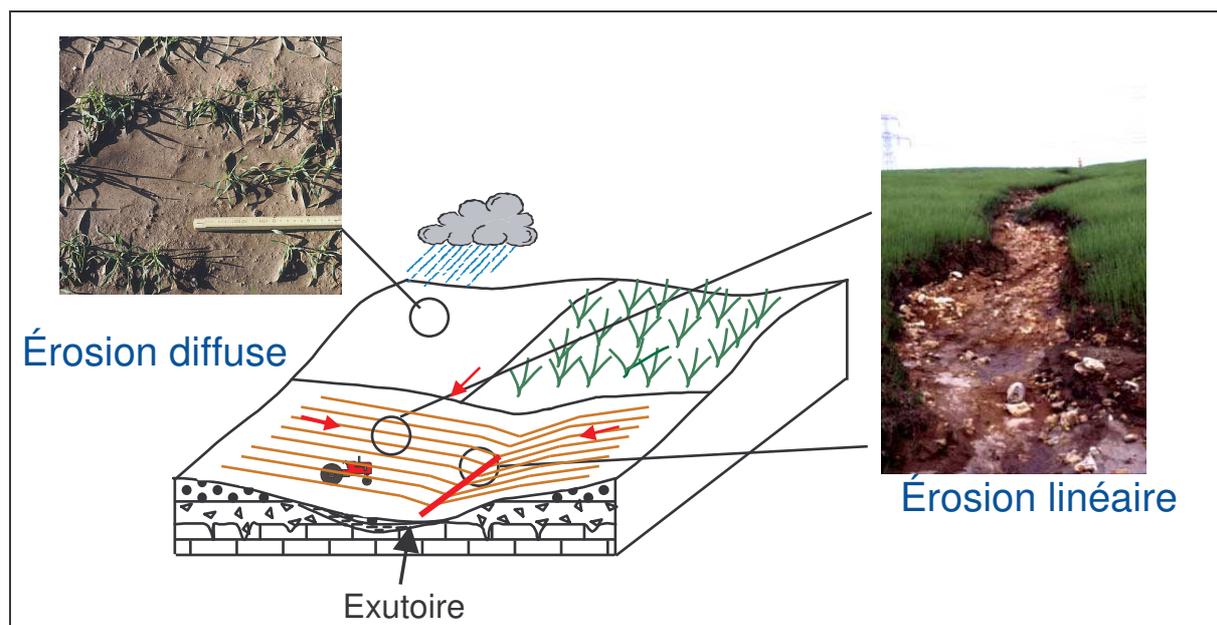


Fig.2 : Différents types d'érosions (Cerdan, 1998)

## 2. Types de modèles

Les phénomènes d'érosion étant le résultat d'interactions complexes, variables dans le temps et dans l'espace, il est intéressant d'avoir recours à des modèles. Une fois les données traitées, ceux-ci nous permettent d'estimer les flux en jeu rapidement et de faire varier certains paramètres si nécessaire. Ils constituent donc un outil de concertation, de planification et de prédiction efficace. En réponse à la complexité des phénomènes d'érosion, il existe plusieurs approches pour concevoir des outils de modélisation.

## a. Modèles empiriques

Les modèles empiriques reposent sur des équations qui permettent de quantifier l'érosion sur une parcelle donnée. L'une des premières équations à avoir été formulée est l'Universal Soil Loss Equation (USLE). Elle repose sur le traitement statistique de mesures menées durant plus de 20 années sur les pertes en sol sur des parcelles expérimentales (Wishmeier et Smith, 1978). Cette équation attribue une valeur de perte en sol par an, avec le ruissellement comme unique facteur d'érosion considéré.

USLE:  $A=R*K*S*L*C*P$

Avec :

**A** = perte en terre estimée par unité de surface et de temps (*en T/acre-an*).

**R** = le facteur pluie qui est défini comme le produit de l'énergie de la pluie par son intensité en 30 min (*ramené en mm/h*)

**K** = le facteur d'érodibilité du sol (*en T/ha il varie de 0,58 à 1,12T/ha*)

**S** = inclinaison de la pente

**L** = longueur de la pente

**C** = le facteur couvert végétal (domaine : 0,03 (Prairie) -1)

**P** = le facteur pratique culturale (domaine : 0,5-1)

Les facteurs **R**, **K**, **L**, **S**, **C** et **P** peuvent être fournis par des abaques ou des tableaux de références pour de nombreuses situations.

Cette méthode permet d'obtenir des résultats corrects à l'échelle de parcelles expérimentales de petites tailles (quelques mètres carrés) mais est plus qu'approximative à l'échelle du bassin versant. En effet, les transferts de flux de parcelles à parcelle et leur spatialisation sont mal simulés par ces types de modèles.

Les modèles empiriques n'ont pas été retenus dans notre cas car les processus physiques sont faiblement pris en compte et ils nécessitent un grand nombre d'essais expérimentaux indispensables au réglage des équations de prédiction.

## b. Modèles déterministes ou à « base physique »

Ces modèles reposent sur la compréhension et la description mathématique des processus élémentaires hydrologiques et érosifs mis en jeu. Ils reposent notamment sur les équations de Darcy pour ce qui concerne l'infiltration, et sur des lois mécaniques classiques telles que la loi de conservation des masses et du moment des forces (système de Saint-Venant).

Outre leur complexité, ces modèles sont limités par le passage difficile entre l'expérimentation en laboratoire et l'étude d'une parcelle sur le terrain car la distribution spatiale du réseau d'écoulement et le transport de sédiments à l'échelle de la microtopographie est un point important pour ces modèles. De plus, d'après Bryan (2000), « il n'est pas du tout évident que tous les processus et interactions impliqués dans l'érodibilité des sols puissent un jour être modélisés physiquement ».

Les modèles de type déterministe représentent l'application des connaissances les plus pointues des processus physiques. Leur valeur réside dans l'extension des connaissances au travers d'expérimentations détaillées au champ et au laboratoire, mais ils sont cependant trop demandeur en données d'entrée et en temps de modélisation pour être utilisés dans le cadre de notre étude.

### c. Les modèles experts

Les modèles experts sont une alternative aux deux précédents. Ils reposent sur l'étude des processus dominants qui interviennent dans les phénomènes d'érosion, ainsi que leurs relations (Harris et Boardman, 1990).

Ils s'appuient sur une base de données qualitative que l'on considère comme valable à une échelle de temps et d'espace donnée sur la base de connaissance experte. Cette méthode fonctionnant efficacement à l'échelle de petit bassin versant, permet une grande flexibilité d'utilisation par rapport aux modèles empiriques ou déterministes. En effet, les résultats expérimentaux permettant la paramétrisation de ces modèles, peuvent être directement intégrés et facilement ajuster au cas étudié.

Les paramètres retenus par cette méthode sont combinés entre eux en développant des règles de décision sous formes de tables assorties.

Le modèle STREAM utilisé dans le cadre de ce stage fait partie de ce type de modèle.

### d. Précision des modèles

On peut souligner que les résultats des simulations sont en générale plutôt mauvais. En effet, peu importe le modèle utilisé, les estimations de ruissellement ou d'érosion sont très approximatives (Jetten *et al.*, 1999). Ainsi, comme le montre la figure 3, on peut obtenir de fortes valeurs de ruissellement simulé alors qu'aucun ruissellement n'est mesuré ou inversement. Les simulations effectuées dans cet exemple avec quatre modèles, ont été réalisées avec et sans calibration. On peut remarquer que les simulations effectuées après, ne donnent pas toujours de meilleurs résultats.

De plus, les simulations concernant l'érosion ne donnent pas de meilleures estimations que les simulations de ruissellement.

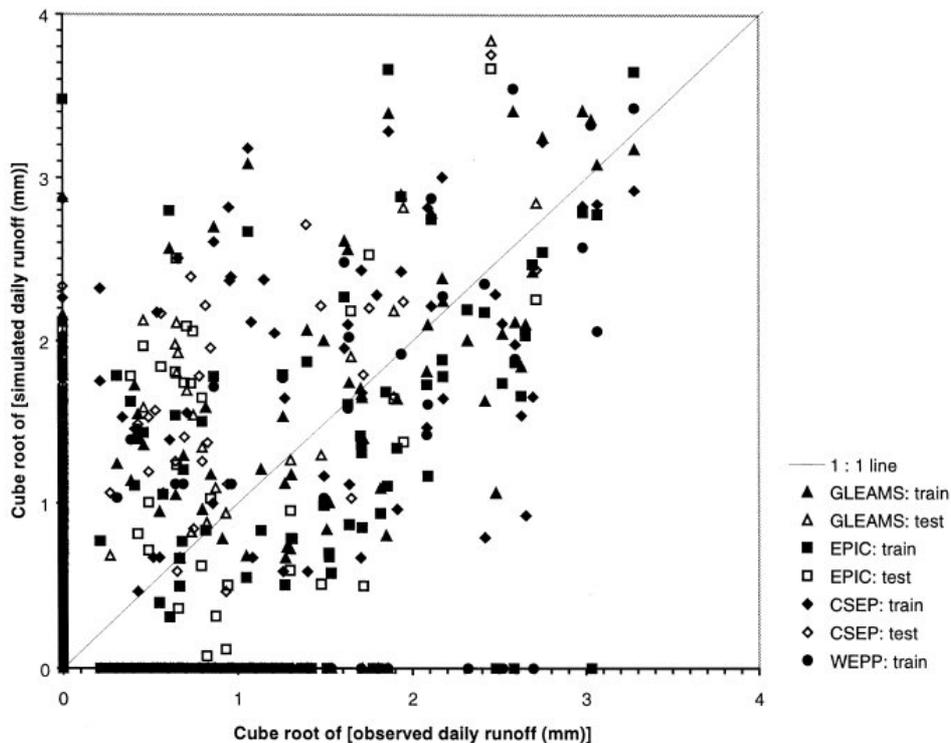


Fig.3 : Comparaison entre les volumes ruisselés simulés et mesurés pour différents modèles (Jetten *et al.*, 1999)

### 3. Présentation du modèle STREAM

#### a. Caractéristiques générales

Le modèle S.T.R.E.A.M. (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management) est un modèle spatialisé de type « expert » développé par l'INRA, permettant la prédiction du ruissellement et de l'érosion. Il est utilisé par certains bureaux d'études, laboratoires, chambres d'agriculture et l'INRA.

#### b. Interface graphique

STREAM est une extension ajoutée au logiciel ArcGIS, utilisable sous ArcMAP qui nécessite l'extension Spatial Analyst auquel il fait appel lors de son fonctionnement. Il se présente sous la forme d'une fenêtre dont chacun des onglets devient disponible lorsque les précédents ont été correctement renseignés avec des données dont le format est compatible avec les normes fixées par STREAM.

Les résultats des simulations sont disponibles sous formes de cartes rasters.

#### c. Fonctionnement global

Les paramètres retenus lors de la modélisation sont entrés dans des tables qui seront croisées afin d'établir des règles de décisions qui contrôlent les simulations. STREAM fonctionne à l'échelle spatiale du bassin versant et temporelle de l'événement pluvieux (Souchère *et al.*, 1998 ; Cerdan *et al.*, 2002).

Les paramètres physiques du sol sont pris à l'échelle de la parcelle, ainsi le modèle permet de prendre en compte et de traiter la diversité spatiale des paramètres physiques dans le bassin versant en fonction du développement des différentes cultures et travaux du sol.

Comme le montre la figure 4, STREAM effectue à l'échelle locale (pixel), le bilan infiltration/ruissellement en fonction des caractéristiques de la pluie et des états de surfaces (couvert végétal, encroûtement, rugosité, antécédents hydriques). Ensuite, il simule la circulation du ruissellement en fonction de la topographie, du sens du travail du sol et des chemins d'eau. On obtient en sortie une carte avec les volumes ruisselés sur chaque pixel de la zone d'étude.

Les calculs lors d'une simulation se font sur chaque pixel en se basant sur la résolution du MNT.

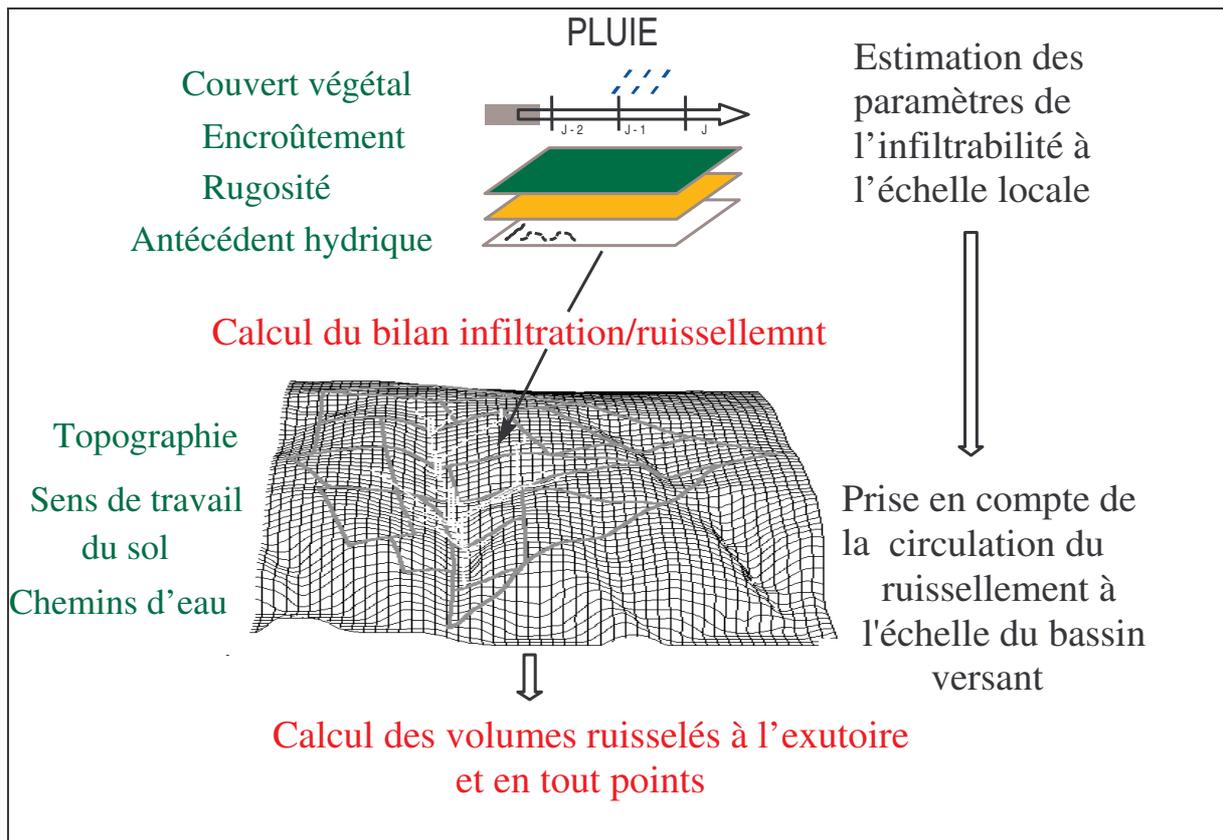


Fig.4 : Schéma du fonctionnement de STREAM (Cerdan, 1998)

#### d. Développement de STREAM

Dans le but de modéliser de manière efficace les mécanismes qui entrent en jeu lors des processus de ruissellement et d'érosion, il est nécessaire de connaître et comprendre les différents paramètres intervenants dans les mécanismes d'infiltration.

Les caractéristiques d'un sol reposent sur les critères suivants :

- Pédologique : texture, structure, perméabilité, cohésion.
- Climatique : humidité du sol.
- Biologique : Macroporosité et couvert végétal.
- Géomorphologique : pente.
- Anthropique : réseau de fossés, éléments linéaires, aménagements divers.

Lors du développement du modèle, l'identification et la caractérisation des paramètres du sol ont été réalisés en synthétisant les expériences réalisées en laboratoire et sur le terrain (Pays de Caux en Normandie).

A l'issue de ces tests, 4 facteurs ont été retenus comme paramètres d'entrées dans STREAM :

- le faciès, qui représente dans notre cas « l'état d'encroûtement » des sols
- la rugosité de surface.
- le couvert végétal.
- l'humidité du sol.

Chacun de ces paramètres est considéré comme étant homogène à l'échelle de la parcelle.

### **e. Données d'entrées pour la simulation :**

STREAM comporte un certain nombre d'entrées de base, indispensables pour effectuer une simulation qui sont :

- un parcellaire du bassin versant étudié avec une table attributaire renseignée avec les champs numéro de parcelles, occupation du sol, faciès, rugosité parallèle et perpendiculaire et les sens du travail du sol. Ces renseignements doivent correspondre à la norme établit pour définir ces données dans STREAM. Il est à noter que ces paramètres peuvent être directement renseignés ou déduit de l'occupation du sol.
- un modèle numérique de terrain.
- les caractéristiques d'un événement pluvieux (hauteur d'eau, durée de l'événement, intensité et valeur de la pluie antécédente).

### **f. Différents modules STREAM :**

Voir schéma du fonctionnement de STREAM en annexe 1

- **Module écoulement :**

Le module d'écoulement permet de calculer les directions des flux d'eau. Ces directions sont calculées à partir du MNT selon la règle de la pente maximale. Ainsi, pour chaque maille, le flux prendra automatiquement la direction du pixel ayant la valeur la plus faible, parmi les 9 pixels contigus au pixel considéré. Ces directions de flux peuvent ensuite être modifiées par la prises en compte de facteurs anthropiques, tels que le sens du travail du sol ou la présence d'éléments linéaires :

- les dérayures, sillons formé par le labour à la limite de deux parcelles. Elles conduisent l'eau selon leur azimut et le sens de la pente ;
- les fourrières, zones en limite de parcelle où s'effectuent les demi-tours lors des opérations de travail du sol et où le semis suit la limite de parcelle. Dans les fourrières, le sens du travail du sol correspond à l'orientation de la fourrière.

- **Module ruissellement :**

Le module de ruissellement croise et combine le faciès, la rugosité parallèle et le couvert végétal afin d'affecter une capacité d'infiltration ou d'exfiltration sur une parcelle donnée. Le module de ruissellement affecte également une capacité d'imbibition en fonction de la classe de sensibilité au ruissellement et de la pluie des 48 heures qui précède l'événement pluvieux simulé.

Le ruissellement simulé sera dirigé en fonction de la topographie (règle de la pente maximale), en tenant compte des facteurs anthropiques cités précédemment.

- **Module d'érosion diffuse :**

Le module d'érosion diffuse affecte une valeur de charge solide potentielle (g/L) sur chaque pixel en fonction des états de surface relevés. Il permet également de modéliser le dépôt en affectant sur chaque maille une valeur de charge solide maximale transmise en fonction du type de culture, du degré du couvert végétal et de l'intensité de la pente.

- Module d'érosion linéaire :

Le module d'érosion linéaire calcule une sensibilité du sol vis-à-vis de l'incision en fonction principalement du type de culture et de son stade de développement. Tout d'abord STREAM affecte une classe de « couverture du sol » ou « d'armature racinaire » qui sont fonction de l'intensité du couvert végétal et d'un type de culture. Cette couverture du sol, combinée avec la rugosité définie une classe de « frein ». Plus celle-ci est élevée, moins la sensibilité du sol vis-à-vis de l'incision sera importante. Ensuite, la combinaison de l'armature racinaire avec le faciès nous donne une classe de « cohésion ». Plus celle-ci est élevée, moins la sensibilité du sol vis-à-vis de l'incision sera importante. En fonction de ces classes, le module calcule une section de rigole qui est susceptible d'être creusée au niveau du talweg. La pente agit comme facteur aggravant sur l'érosion linéaire.

En résumé :

Occupation du sol + couvert végétal = Couverture du Sol

CS + Rugosité = FREIN

Occupation du sol + couvert végétal = Armature Racinaire

AR + Faciès = COHESION

et finalement : Sensibilité à l'incision = pente \* volume d'eau ruisselé \* frein \* cohésion

- Onglet événement pluvieux :

Dans cet onglet il est possible de configurer un événement pluvieux en saisissant les valeurs correspondantes à la hauteur de pluie (en mm), sa durée (h), l'indice de la pluie antécédente (mm) et l'intensité maximale de la pluie (mm/h). Il est également possible de charger des rasters représentant ces caractéristiques de pluies afin de simuler une pluie hétérogène sur l'ensemble de la zone d'étude.

### **g. Sorties de STREAM**

STREAM permet d'obtenir des cartes raster représentant les états de surface de la zone d'étude ainsi que les caractéristiques de la pluie. On peut également avoir des cartes représentant les paramètres intervenant dans les différents modules décrit précédemment (capacité d'infiltration, classe de sensibilité du sol à l'érosion, etc.).

Enfin, on peut obtenir les cartes de ruissellement et d'érosion/dépôt à partir desquelles on peut connaître, entre autres, le volume ruisselé et la masse de terre arrachée. STREAM propose également des cartes d'accumulation du ruissellement ou de l'érosion.

L'information de ces cartes est donnée sur chaque pixel de la zone d'étude.

Il est à noter que les cartes créées après simulation de l'événement pluvieux représentent l'état final des phénomènes simulés. On ne dispose donc pas de ces informations en fonction de l'avancement de l'événement pluvieux.

## **4. Caractérisation des états de surface pris en compte dans STREAM :**

### **a. Le faciès**

Le faciès a un rôle prépondérant dans la capacité d'infiltration d'un sol. Il entre également en jeu dans sa cohésion, et influence donc le caractère érodible d'une surface.

D'après Boiffin et Bresson (1990), on peut observer 3 types de faciès bien distincts qui représentent les différents stades d'avancement de la formation d'une croûte de battance (fig.5) :

- La phase 0 ou état fragmentaire : elle correspond au moment où le sol est le plus ouvert, après un labour par exemple, et correspond donc au stade où l'infiltration est à son maximum.
- La phase 1 ou croûte structurale : correspond à l'état où le sol commence juste à se fermer, mais des éléments distincts (fragments, mottes) sont encore distinguables.
- La phase 1.2 ou croûte transitionnelle : correspond à un état intermédiaire, définie ultérieurement.
- La phase 2 ou croûte sédimentaire : Cet état est atteint lorsque les précipitations excèdent la capacité d'infiltration d'un sol. Les flaques résultantes vont « accueillir » les particules détachées, qui finiront par se déposer et former une croûte. On est alors proche d'une imperméabilisation des sols avec des capacités d'infiltration faibles.

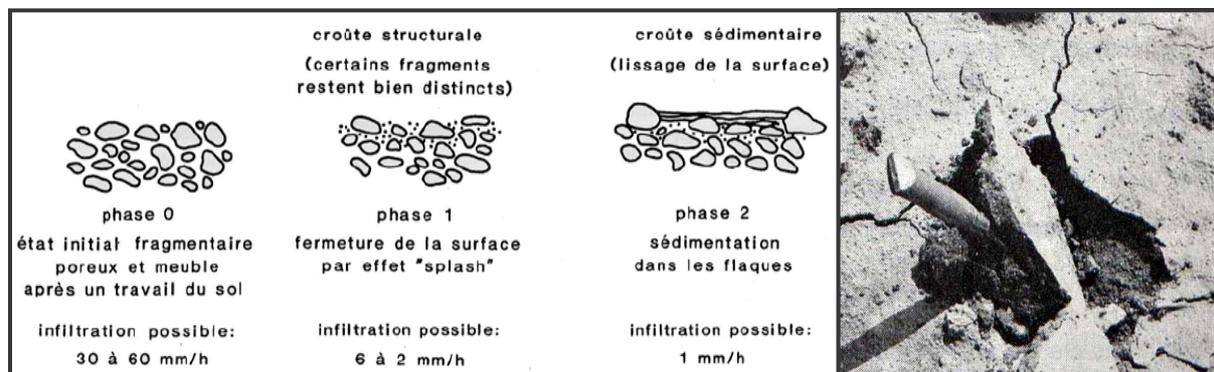


Fig.5 : Différents stades de fermeture du sol (Boiffin, 1990) (photo Croûte de battance)

### b. La rugosité de surface

La rugosité de surface dépend de facteurs climatiques et anthropiques (travail du sol). Elle intervient fortement sur l'orientation des écoulements. La rugosité est caractérisée par une mesure parallèle au sens du travail du sol et une mesure perpendiculaire à celui-ci. Les deux types de rugosités interviennent dans les directions d'écoulement. La rugosité parallèle intervient dans la capacité d'infiltration et dans l'érosion linéaire alors que la rugosité perpendiculaire a un rôle sur l'érosion diffuse.

### c. Le couvert végétal

Le pourcentage de couvert végétal sur une parcelle donnée a une importance sur la quantité d'eau arrivant au sol ainsi que son mode d'écoulement car elle permet l'interception et le stockage d'une partie des apports qui peut être non négligeable selon le type de végétation. Il est à noter que ce phénomène n'est pas pris en compte dans STREAM. Cependant, le couvert végétal intervient fortement dans les modules d'érosions en constituant une protection du sol. Plus celui-ci est important, moins l'érosion sera prononcée.

### d. Humidité du sol

L'humidité initiale d'un sol est déterminante pour pouvoir prédire la saturation en eau et ainsi le ruissellement d'une parcelle lors de la simulation d'un événement pluvieux. Cette

variable est prise en compte en affectant une capacité d'imbibition en fonction de l'intensité de la pluie antécédente. La capacité d'imbibition est la quantité d'eau maximale que le sol peut infiltrer avant d'arriver à saturation, et donc d'engendrer du ruissellement. La pluie antécédente correspond à la hauteur d'eau tombée pendant une période de temps précédant l'événement pluvieux simulé. Dans STREAM, cette période est de 48 heures par défaut.

## Partie II : Présentation et mise en forme des données

Dans cette partie nous présenterons tout d'abord les sites d'études ainsi que le travail réalisé sur les données afin de pouvoir effectuer les simulations sous STREAM.

### 1. Présentation du bassin versant de Roujan

#### a. Localisation :

Le bassin versant de Roujan est situé dans le département de l'Hérault à environ trente kilomètres à l'ouest de Montpellier (fig.6). Sa localisation exacte est  $43^{\circ}30'N - 3^{\circ}19'E$ . Il s'étale sur une surface de 91 ha et est compris dans le bassin versant de La Peyne. C'est un site test suivi notamment par L'INRA de Montpellier.

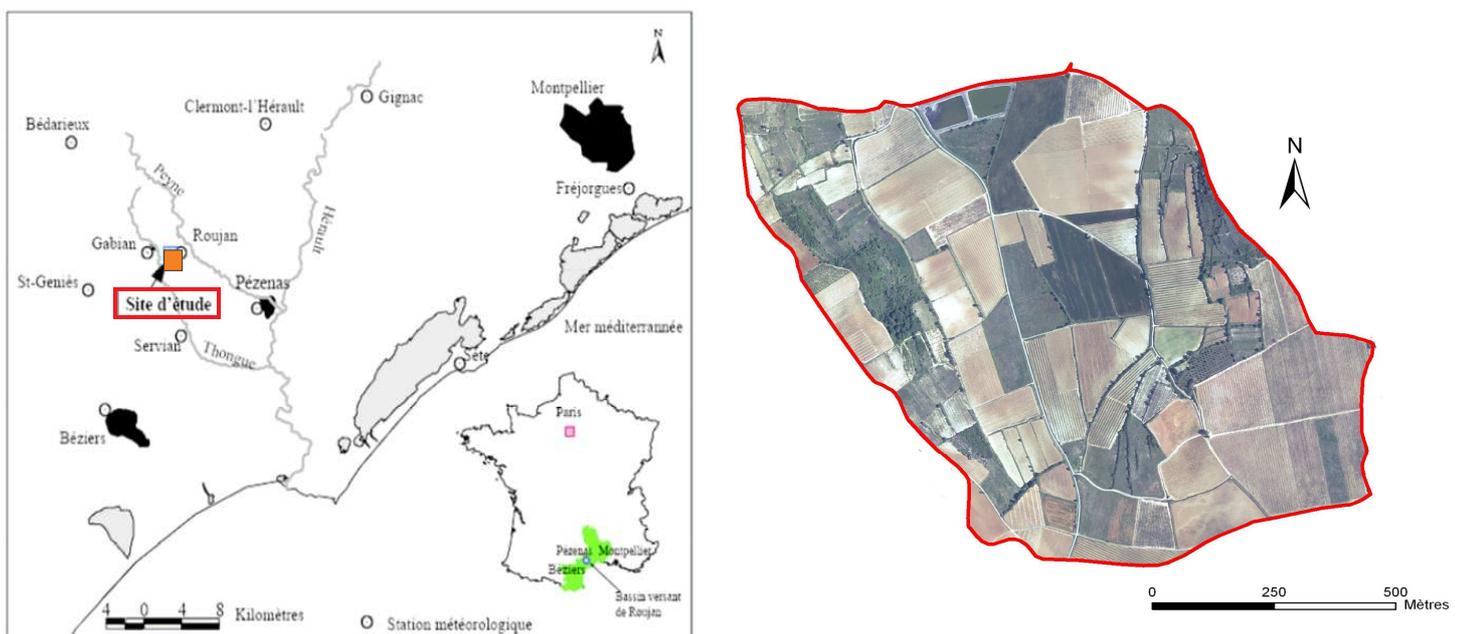


Fig.6 : Localisation et photo aérienne (BD ORTHO) du bassin versant de Roujan

#### b. Description et caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de Roujan est composé de 4 unités géomorphologiques (Andrieux et Léonard, 1998) qui sont (fig.7) :

- Le plateau, qui culmine à une altitude de 125 mètres et qui recouvrent 27% de la surface totale.
- Les terrasses, paliers géomorphologiques séparés par des pentes de 10 à 25%, représentent environ un tiers de la surface du versant.
- Le glacis, en pente de 2 à 7% sur environ un quart du site.
- La « dépression » ouverte vers le nord, de pente quasi nulle, sur l'aval du bassin à une altitude de 76 mètres. Les flux d'eaux arrivant à l'exutoire vont se jeter dans la rivière La Peyne.

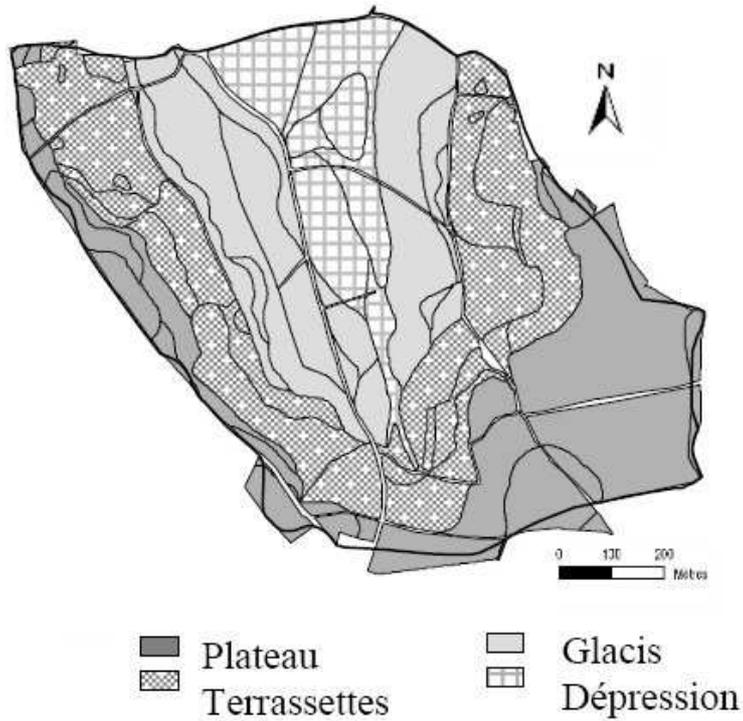


Fig.7 : Géomorphologie du bassin versant de Roujan (thèse Chahinian, 2004)

Le bassin versant de Roujan est fortement anthropisé (fig.8). En effet, il se décompose en 237 parcelles cultivées principalement avec de la vigne (environ 65% de la surface agricole utile).

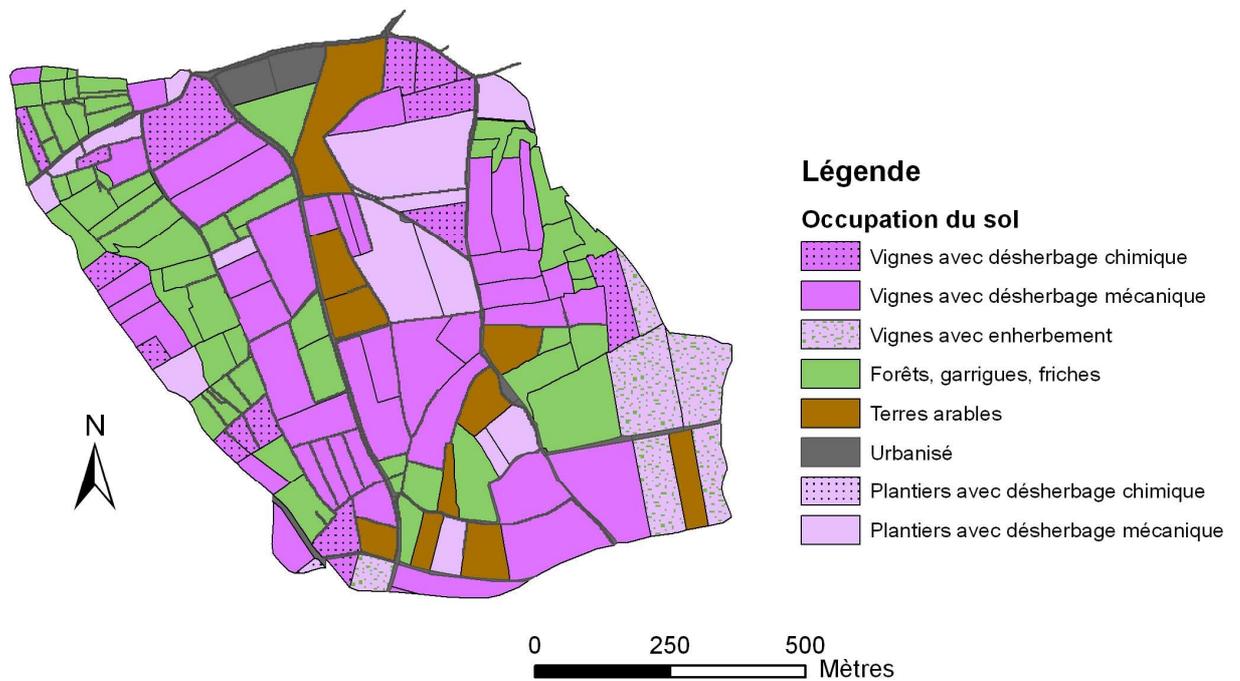


Fig.8 : Occupation du sol sur Roujan (2007)

La présence de ces vignes influe fortement sur le ruissellement notamment à cause de l'entretien du sol que sa culture nécessite. En effet, les états de surface du sol sont modifiés par les opérations de désherbages qui peuvent se faire soit chimiquement (parcelles non labourées) ou mécaniquement (parcelles labourées) ce qui a pour conséquence de modifier le rapport ruissellement/infiltration. Le bassin présente également un réseau de fossés qui modifie les régimes naturels d'écoulement (fig.9). La densité de ce réseau est variable, leur largeur varie entre 0,7 et 1,2 mètre et leur profondeur entre 0,8 et 1,4 mètre (Chahinian, 2004).

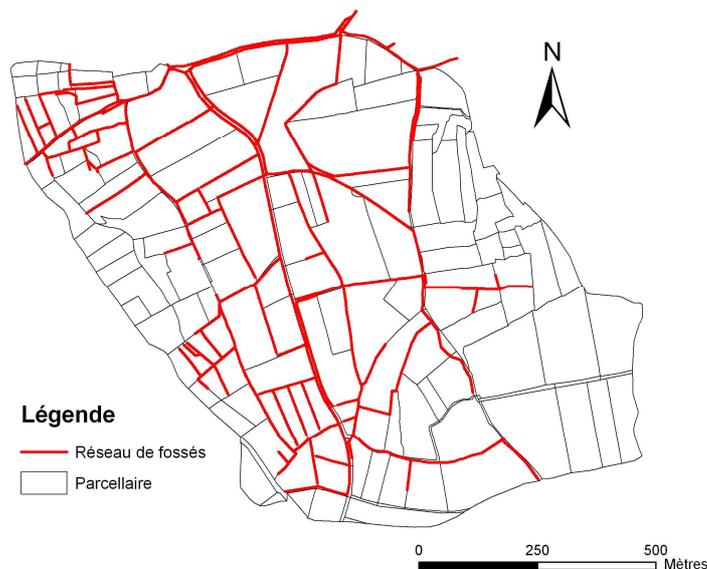


Fig.9 : Réseau de fossés

#### - Type de sol

Le type de sol varie selon l'unité géomorphologique sur laquelle on se trouve. En effet, selon la classification F.A.O., sur le plateau, le sol est défini en tant que *chromic luvisol*, les terrasses en tant que *loamy calcaric regosol*, sur le glacis on trouve un *calcaric cambisol*, et enfin dans la dépression un *clayey gleyic cambisol* (Andrieux et Léonard, 1998).

Ces sols se sont développés sur des sédiments d'origine marine, lacustre ou fluviale. La présence d'une nappe souterraine libre a été révélée par des prospections géologiques. Celle-ci interagit avec les eaux de surface dans le bassin versant par l'intermédiaire du réseau de fossés (Marofi, 1999). Les différents types de sols sont considérés comme identiques du point de vue du ruissellement et de l'érosion sur l'ensemble du bassin versant. Ils ne seront donc pas pris en compte dans notre étude.

#### - Données climatiques

La région de Roujan, est soumise à un climat de type méditerranéen sub-humide avec une longue période sèche (de mars à septembre) et une température moyenne annuelle de 14°C (fig.10). La moyenne des précipitations annuelles atteint 650 mm (Léonard et Andrieux, 1998), pour une évapotranspiration potentielle estimée à 1090 mm. L'E.T.P. présente des

valeurs se répartissant entre 0 et 7,5 mm par jour ; le maximum étant observé en juillet, pour un minimum en décembre.

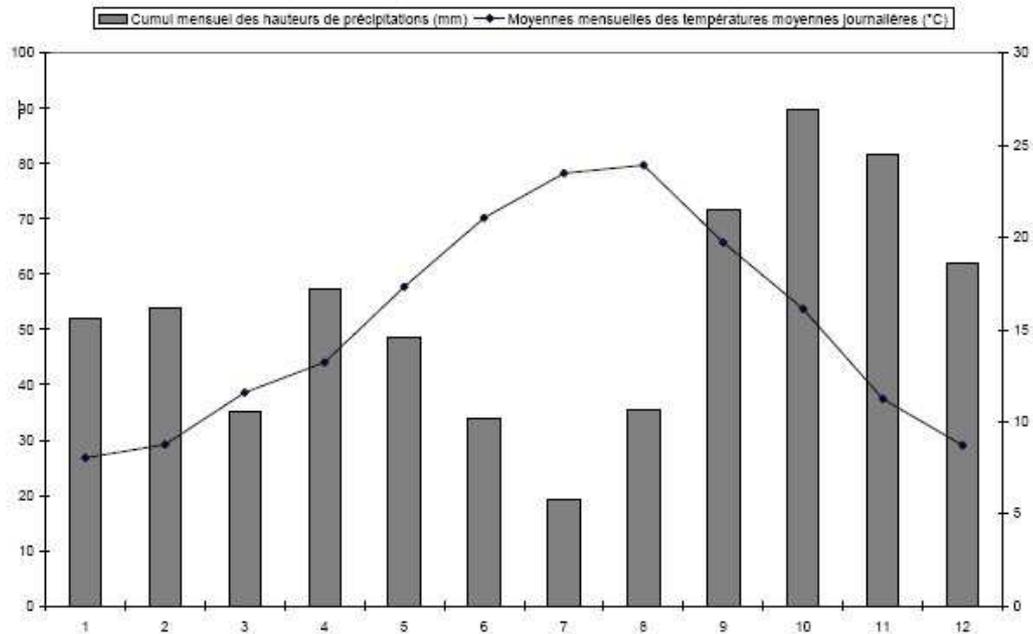


Fig.10 : Diagramme ombrothermique moyen de la région de Roujan de 1989 à 2005

Deux types d'évènement pluvieux peuvent être distingués :

- les orages de forte intensité et de courte durée en été
- les précipitations importantes en volume mais d'intensité plus faible le reste de l'année (thèse Chahinian, 2004).

## 2. Données sur Roujan

### a. Données initiales

Pour effectuer les simulations nous disposons des données suivantes fournies par l'INRA de Montpellier :

- un parcellaire de la zone d'étude renseignée de l'occupation du sol
- un MNT interpolé à une résolution horizontale de 2x2 mètres et de résolution verticale de 0.0001 mètre. La précision est inconnue (auteur : C. Floure et S. Leforner).
- des fichiers vecteurs représentant le réseau de fossés, la limite réelle du bassin versant et l'orientation du travail du sol
- des photos aériennes (BD ORTHO)
- les caractéristiques d'évènements pluvieux
- un calendrier des états de surface. Ce calendrier permet de définir les états de surface (faciès, rugosité, couvert végétal) pour chaque parcelle en fonction du type d'occupation du sol pour chaque mois de l'année (voir annexe 2).

## **b. Modifications des données**

- Modification sur le parcellaire

### - Correction de la topologie

La première modification sur les données a été de corriger les erreurs de topologie présente sur le parcellaire. STREAM ne peut fonctionner correctement si certains polygones se chevauchent ou s'il existe des discontinuités entre ceux-ci. Ces erreurs ont été mises en évidence par l'outil « topologie » d'ArcGIS puis corrigées manuellement.

### - Remplissage du champ « occupation du sol » dans la table attributaire

Les tables attributaires d'ArcGIS sont comparables aux tables d'une base de données. Chaque ligne (ou enregistrement) représente un objet graphique (ponctuel, linéaire ou surfacique) et chaque colonne (ou champ) représente une information (attribut)

Pour chacune des parcelles il a fallu affecter un identifiant d'occupation du sol qui corresponde à l'occupation du sol définie par le calendrier.

Les occupations du sol retenues sont : vigne non différenciée, vigne ou plantier avec désherbage chimique, vigne ou plantier avec désherbage mécanique, vigne avec enherbement, forêt-garrigue-friches, terres arables, et zones urbanisées. Les plantiers correspondent à de jeunes vignes (leurs états de surface sont les mêmes que pour les vignes mais elles ont un couvert végétal moins important).

### - Ajout du champ « direction du travail du sol » dans la table attributaire

Pour remplir ce champ nous avons utilisé le fichier vecteur représentant l'orientation du travail du sol à partir duquel il a fallu extraire les valeurs. Nous avons complété cette information avec les sillons visibles sur les photos aériennes.

### - Ajustement des fossés

Lors du maillage des données vecteurs représentant les fossés sous STREAM, il se peut que deux fossés déconnectés se retrouvent connectés du fait de la taille de la maille (2x2 mètres). Pour éviter ce problème qui aurait pu engendrer des circulations d'eau différentes au sein des fossés, il a fallu ajuster leur position (déplacement ou raccourcissement de quelques pixels).

### - Aménagement des fossés

Afin de pouvoir affecter une valeur d'infiltration propre aux fossés et de les configurer de façon à ce qu'il n'y ait pas d'érosion produite le long du réseau, il a fallu créer un polygone vecteur correspondant au maillage de l'entité « fossé ». Ainsi, on obtient une couche directement utilisable dans l'onglet « aménagement » de STREAM après avoir saisi la valeur de capacité d'infiltration voulue.

- Modification du MNT

#### - Modification des limites du bassin versant

Les limites du bassin versant calculées sur ArcGIS ne correspondaient pas aux limites réelles relevées sur le terrain. Il a donc fallu retoucher localement le MNT afin d'obtenir des limites qui correspondaient à la réalité. Pour ce faire, on a abaissé ou relevé localement l'altitude du MNT afin de forcer les écoulements dans la direction voulue.

#### - Creusement des fossés dans le MNT

A cause d'un problème de qualité du MNT, il nous a été impossible d'utiliser l'option « dérayure » de STREAM pour forcer les écoulements le long des fossés. En effet, le MNT présente des successions de pentes et contre pentes, qui ont pour conséquence de créer des « points bas » au sein d'un fossé. STREAM ne pouvant pas faire « remonter » l'eau, il y a un conflit de directions au niveau de ces points bas. Cela a pour effet d'envoyer le flux d'eau à l'extérieur des fossés. Pour contourner ce problème, nous avons choisi de creuser le MNT le long du réseau.

Le creusement du MNT a engendré un autre problème. En effet, au niveau des fossés, le raster des pentes calculées par STREAM présentait des valeurs anormalement élevées du fait du surcreusement souvent important (plus de 10 mètres par endroit). Cette surévaluation des pentes aurait eu pour conséquence une surestimation de l'érosion linéaire en bordure des fossés. Pour éviter cela, nous avons choisi de remplacer ce raster des pentes par celui calculé à partir du MNT initial.

- Remplissage des tableaux STREAM

#### - Remplissage des tableaux « états de surface »

Comme nous l'avons vu plus haut, les états de surface de chaque parcelle sont déduits du calendrier. Il a donc fallu remplir les tableaux d'états de surface en fonction de l'occupation du sol pour chaque mois que l'on souhaitait simuler (voir annexe 3).

#### - Paramétrisation de STREAM

Il a également fallu remplir les tableaux d'infiltrabilité (annexe 4). Ceux-ci ont été déduit des tests d'infiltrabilités effectués à partir des typologies des états de surface définies par P. Andrieux (INRA-LISAH). Enfin, les tableaux d'érosion diffuse et d'érosion linéaire ont été remplis selon l'expertise d'Yves Le Bissonnais de L'INRA de Montpellier (voir annexe 5 et 6).

- Calculs des caractéristiques des événements pluvieux

Pour effectuer des simulations sur Roujan, 11 événements pluvieux ont été choisis en fonction de leurs caractéristiques (fréquentes, moyennes ou extrêmes). Pour chacune de ces pluies, nous avons calculé la hauteur d'eau correspondant à l'accumulation totale durant la durée de l'événement. Nous avons également calculé l'intensité maximale correspondant à la moyenne des intensités maximales mesurées par chacun des pluviomètres. Plusieurs durées efficaces ont été calculées. La durée efficace d'un événement pluvieux correspond à la fraction des précipitations qui vont générer des écoulements, immédiat ou différé, qui ne

participe pas à l'évapotranspiration. Les durées efficaces calculées, correspondent à la durée totale à laquelle on a soustrait les durées pendant lesquelles l'intensité était égale à 0 mm/h, ou inférieur ou égale à 2 mm/h puis 5mm/h. La valeur de 0 mm/h a été choisie afin de rendre compte de la période réelle pendant laquelle l'infiltration se produit, et comparé aux deux autres durées efficaces a permis de voir laquelle était la plus adaptée à notre cas d'étude.

Nous avons aussi calculé plusieurs indices de pluies antécédentes afin de déterminer lequel était le plus représentatif du contexte climatique de Roujan. En effet, on peut penser qu'en contexte méditerranéen une pluie tombée au-delà d'un certain nombre de jours ne compte plus dans les bilans car déjà évaporé.

Les pluies antécédentes calculées ont été les suivantes :

- la P48, correspondant à la hauteur d'eau tombée durant les 2 jours précédents l'événement pluvieux simulé
- l'IPA5, correspondant à la somme pondérée linéaire de la hauteur d'eau tombée durant les 5 jours précédents l'événement pluvieux simulé. La hauteur de pluie est pondérée en fonction du nombre de jours qui séparent les deux événements. Par exemple, une pluie tombée 5 jours avant l'événement simulé, comptera pour 0,5.

### 3. Présentation du bassin versant de Kamech

#### a. Localisation

Le bassin versant de Kamech se situe sur les massifs au Nord-Est de la péninsule du Cap-Bon, au Nord-Est de la Tunisie, dans le gouvernorat de Nabeul (fig.11). Il s'étend entre les coordonnées géographiques 10°52'-10°53'E et 36°52'-36°53'N.

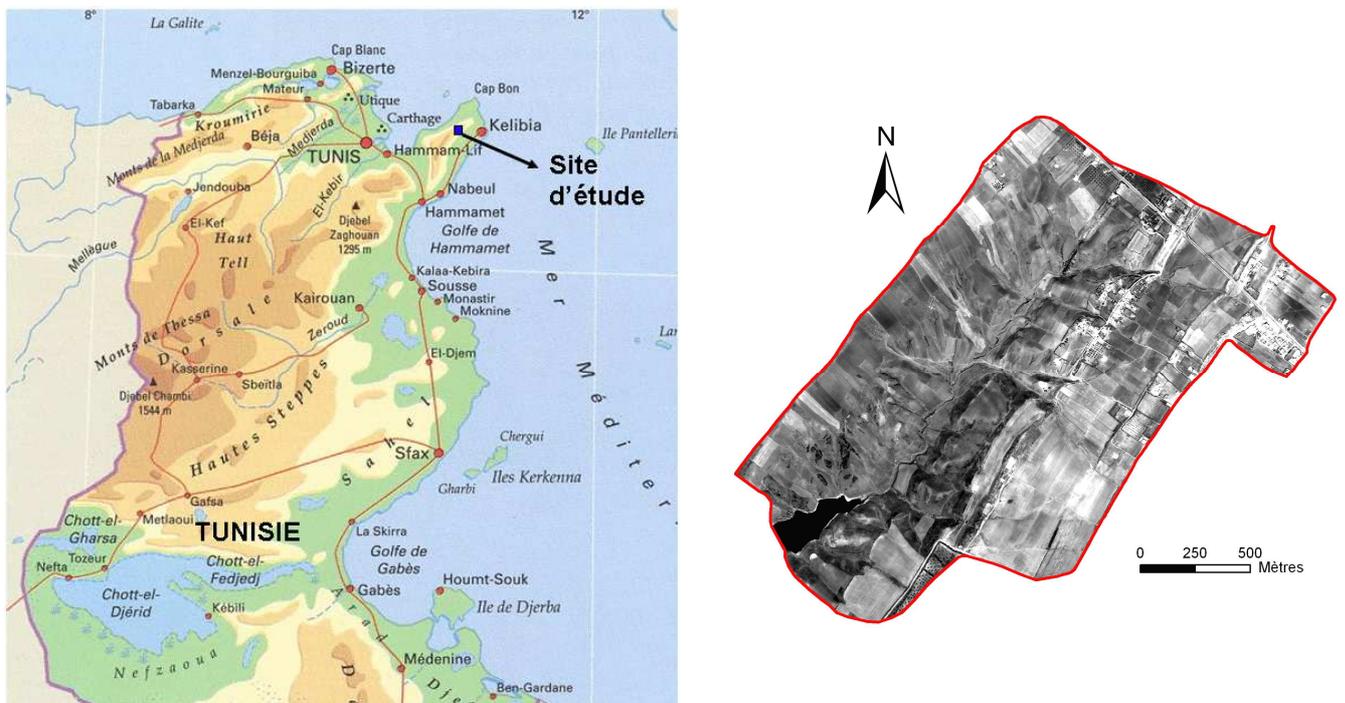


Fig.11 : Localisation et image IKONOS du bassin versant de Kamech

## b. Description

Au début des années 90, le Ministère de l'Agriculture tunisien s'est intéressé au bassin versant de Kamech. Suite à une étude sommaire du site, une digue a été construite au travers de l'Oued El Gamh afin de constituer un lac collinaire, mis en eau depuis l'automne 1994. Ce petit barrage ainsi constitué contrôle un bassin versant de 2,5 km<sup>2</sup>. Dans la même année, les premiers équipements hydro-pluviométriques ont été installés.

Le bassin versant de Kamech est fortement cultivé (plus de 70% de sa superficie) (fig.12), principalement avec des céréales.

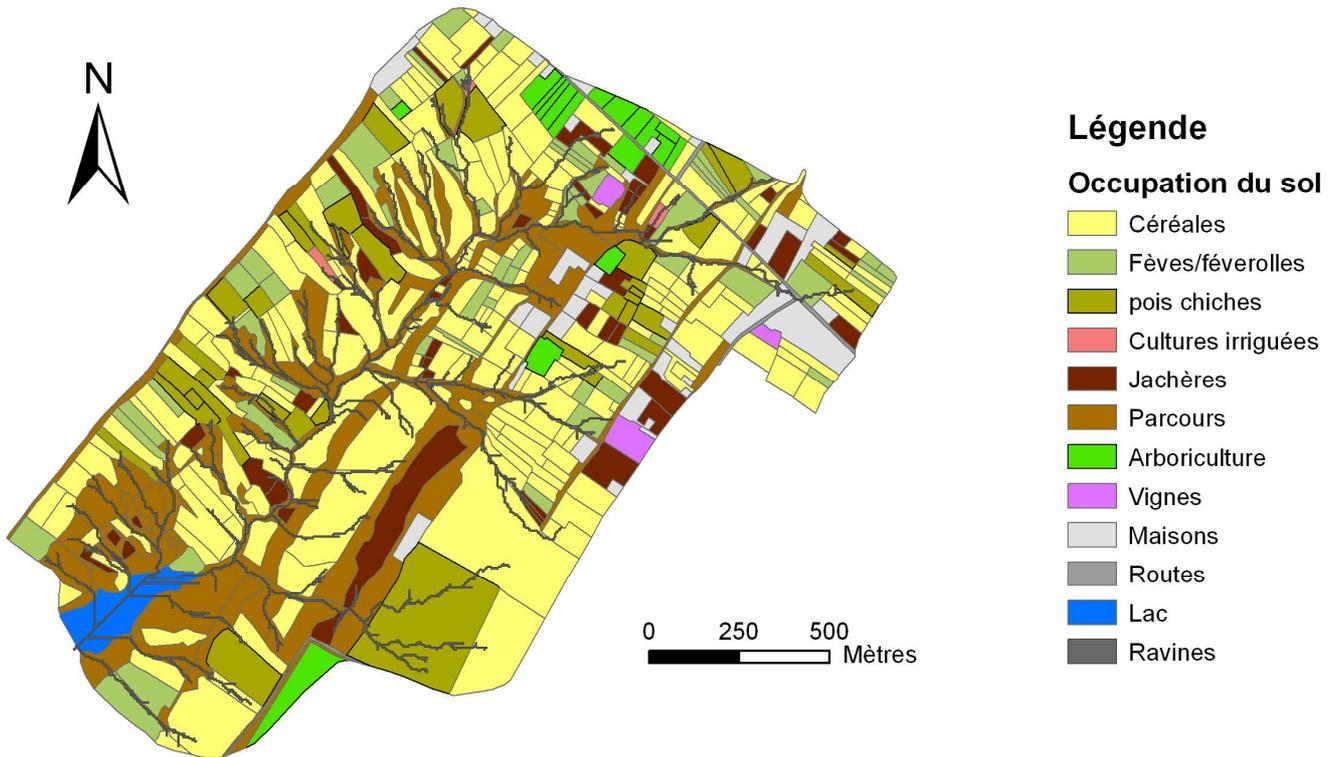


Fig.12 : Occupation du sol sur Kamech (2006-2007)

D'un point de vue climatique, il se situe à la limite entre les climats sub-humide et semi-aride avec une période sèche d'avril à septembre et des précipitations annuelles moyennes de 650 mm (fig.13) (Mekki, 2003).

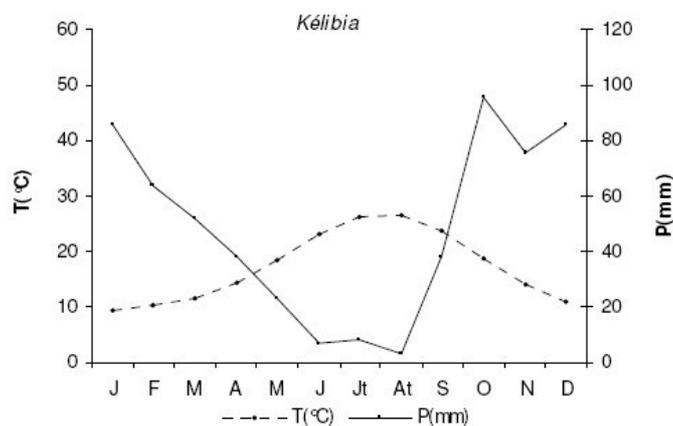


Fig.13 : Diagramme ombrothermique de Kélibia (près de Kamech, Mekki, 2003)

### Morphologie :

C'est un bassin de forme rectangulaire de 2,72 km de long et 0,9 km de largeur. Il présente des pentes convexes irrégulières de 1,5 % en moyenne. Sa surface est de 2,5 km<sup>2</sup> et présente une densité de drainage assez forte (4,5 km/ km<sup>2</sup>) (thèse Mekki, 2003) (fig.14).

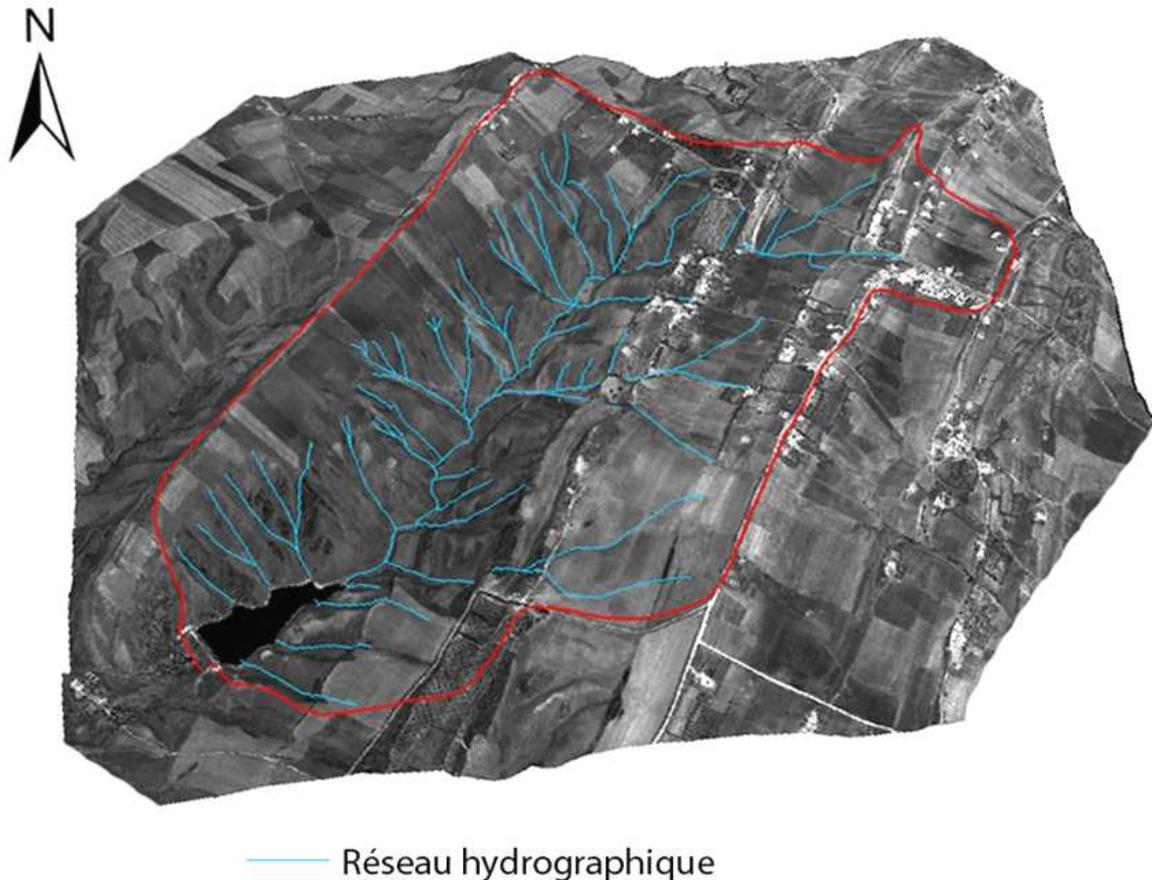


Fig.14 : Morphologie du bassin versant de Kamech

On peut remarquer une nette dissymétrie du bassin présentant une rive gauche large et une rive droite plus courte, plus pentue et plus ravinée (Collinet, 2002).

### Géologie :

Le bassin versant de Kamech est situé sur le flanc sud-est de l'anticlinal Tertiaire de l'axe du Cap Bon. Les couches les plus anciennes qui affleurent sont d'âge Miocène moyen (-14 à -7 Ma) et les plus récentes datent du Quaternaire. Ces formations sont constituées principalement de marnes et d'argilites associées à de minces bancs gréseux ferruginisés.

Type de sols :

- Sur le site de Kamech, on peut retrouver 4 grands types de sols (fig.15) :
- les sols minéraux bruts, représentant environ 17% de la surface
  - les sols peu évolués, représentant 20% de la surface
  - les vertisols, 2% de la surface
  - les sols calcimagnésiques sur 60% de la surface

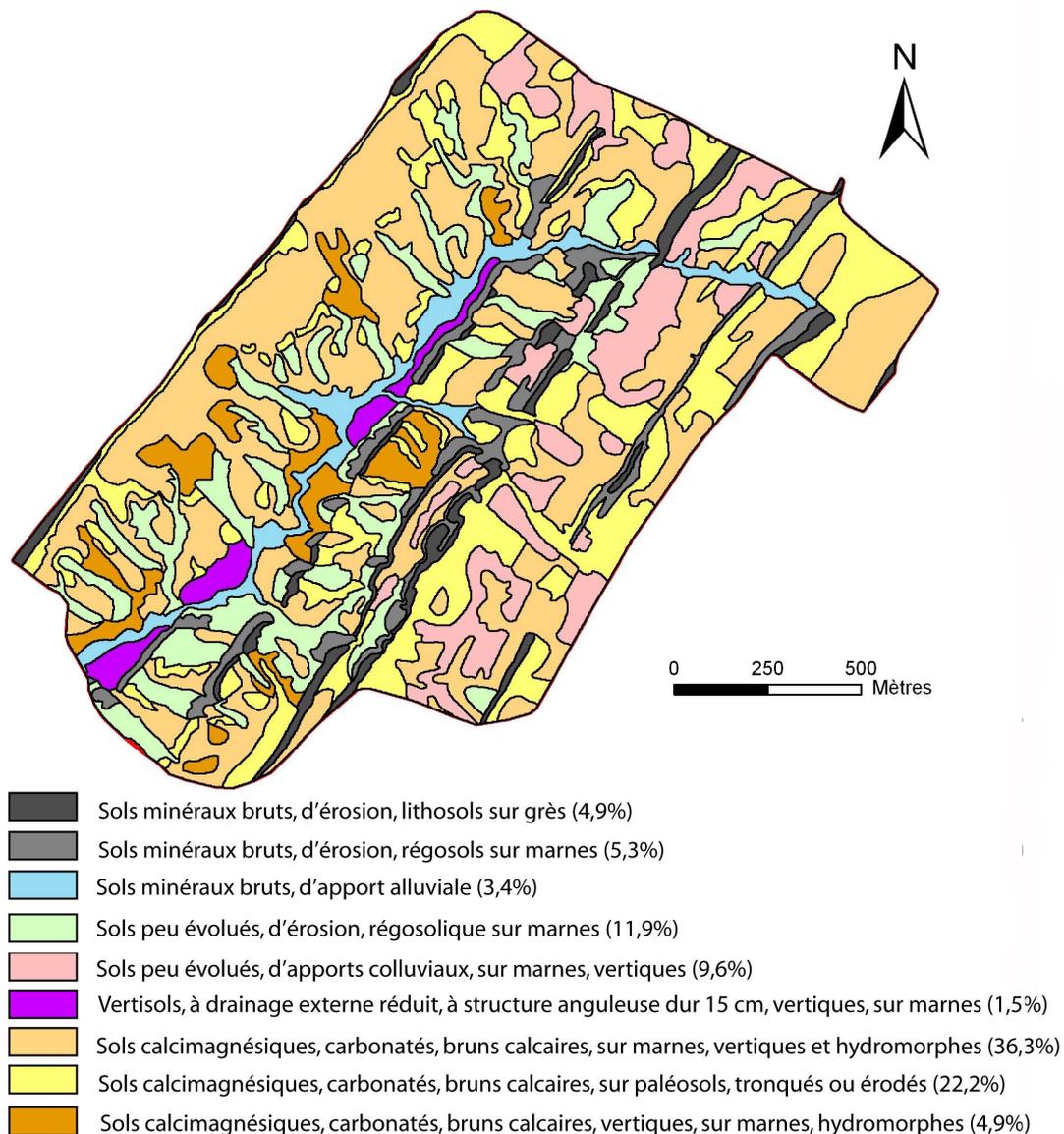


Fig.15 : Carte pédologique de Kamech (Zante et Mekki, 1998)

Il est à noter que seul les vertisols seront distingués pour notre étude, du fait des fentes qui apparaissent sur ces sols pendant les périodes sèches de mai à novembre. Dans ce cas, les fentes peuvent stocker des volumes d'eaux importants, non négligeable à l'échelle du bassin versant. De plus, leur importance est accentuée par le fait que ces sols se trouvent au centre du bassin, là où se concentrent tous les écoulements. Les autres sols sont considérés comme étant équivalents sur l'ensemble du bassin versant.

## 4. Données sur Kamech

### a. Données initiales

Pour faire les simulations sous STREAM nous disposons des données suivantes fournies par Damien Raclot de l'IRD à Tunis :

- des parcellaires renseignés de l'occupation du sol pour les années culturales 2005-2006 et 2006-2007.
- un MNT de résolution horizontale de 4x4 mètres et de résolution verticale de 0.0001 mètre. La précision du MNT est inconnue.
- des fichiers vecteurs représentant le réseau hydrique et la limite observée du bassin versant
- des images satellites (Ikonos)
- les cartes géologiques et pédologiques
- les caractéristiques d'évènements pluvieux
- un calendrier des états de surface (annexe 7)

### b. Modifications des données

- Modification sur les parcellaires

- Correction de la topologie

De la même façon que sur Roujan, il a fallu corriger les erreurs de topologie présentées sur le parcellaire initial (superposition de polygones ou discontinuité).

- Remplissage du champ « occupation du sol »

Pour chacune des parcelles il a fallu affecter un identifiant d'occupation du sol qui corresponde à l'occupation du sol définie par le calendrier.

Les occupations du sol retenues sont : vigne, culture irriguée, jachère, parcours, forêt-garrigue, arboriculture, céréales, fève-féverolles et pois chiches. Les occupations du sol sur vertisols ont été distinguées.

- Ajout des ravines

Le bassin versant de Kamech comprend de nombreuses ravines permanentes correspondant au réseau hydrographique. Ces ravines ont dû être digitalisées afin qu'elles n'interviennent pas dans les bilans d'érosion de STREAM. En effet, ce modèle ne permet pas de modéliser l'érosion des réseaux hydriques correctement. Nous ne nous intéressons donc dans notre étude qu'à l'érosion qui se produit sur les versants.

Pour digitaliser ces ravines, nous avons vectorisé les chemins d'accumulation des écoulements calculés à l'aide du module Hydrologie dans ArcGIS afin de faire ressortir l'emplacement du réseau hydrique. Nous avons ensuite ajusté cet emplacement avec le fichier vecteur représentant le réseau hydrique et les ravines visibles sur les images satellites. Cette digitalisation des ravines a ensuite été intégrée au parcellaire.

- Modification du MNT et du parcellaire

Nous avons eu sur Kamech le même problème de limite de bassin versant que pour Roujan. Il nous a donc fallu modifier localement le MNT afin de forcer les écoulements dans

la direction voulue. Il est à noter que pour Kamech, les limites du bassin versant calculée par ARCGIS dépassaient la limite réelle. Dans ce cas, il a été choisi de découper les polygones du parcellaire correspondant à ces zones, afin qu'elles n'entrent pas en compte lors des bilans d'écoulements de STREAM.

- Remplissage des tableaux STREAM

- Remplissage des tableaux « états de surface »

Ces tableaux ont été, comme pour Roujan, remplis à partir du calendrier pour chaque mois que l'on voulait simuler (voir annexe 8).

- Paramétrisation de STREAM

Par manque de données concernant ce bassin versant, nous avons choisi de conserver la même paramétrisation pour les tableaux d'infiltrabilités et d'érosion diffuse que sur Roujan en supposant que ces deux bassins de type méditerranéen avaient des caractéristiques similaires. Nous avons cependant intégré l'influence des vertisols grâce à l'expertise de Damien Raclot (IRD) concernant leur capacité de rétention en eau. Ainsi, la capacité d'imbibition de tout les vertisols (indépendamment du type de culture) à été définie à 200 mm. Les tableaux d'érosion linéaire ont également été ajustés aux types de cultures de Kamech (voir annexe 9).

- Calculs des caractéristiques des événements pluvieux

Pour chacun des six événements pluvieux retenus pour Kamech, nous disposions de la hauteur et de l'intensité maximale. Il nous a donc fallu calculer la durée efficace à 5mm/h, la P48 et l'IP5 comme sur Roujan.

## Partie III : Simulation et interprétation des résultats

Dans cette partie sont décrites les différentes simulations (simulations sur occupation du sol réelle et scénarios) effectuées sur les deux bassins versant ainsi que les résultats obtenus.

### 1. Simulations sur Roujan

#### a. Données de validation

Sur Roujan, nous avons choisi de simuler 11 événements pluvieux de hauteur, d'intensité et de durée contrastées pour lesquelles nous disposons de mesures de terrains en ce qui concerne les volumes ruisselés et les charges solides (matières en suspension). Ces 11 événements ont également été choisis pour leur étalement au cours de l'année (8 mois sont représentés) afin de simuler des événements sur des états de surfaces différents.

Toutes ces données nous ont été fournies par l'INRA de Montpellier. Ces mesures ont été effectuées à 7 endroits du bassin versant, ce qui nous permet d'avoir une validation des volumes en jeu à l'exutoire au cours d'un événement pluvieux, mais aussi sur des flux internes au bassin versant (fig.16). Ainsi, nous pouvons valider les prédictions spatialisées du modèle.

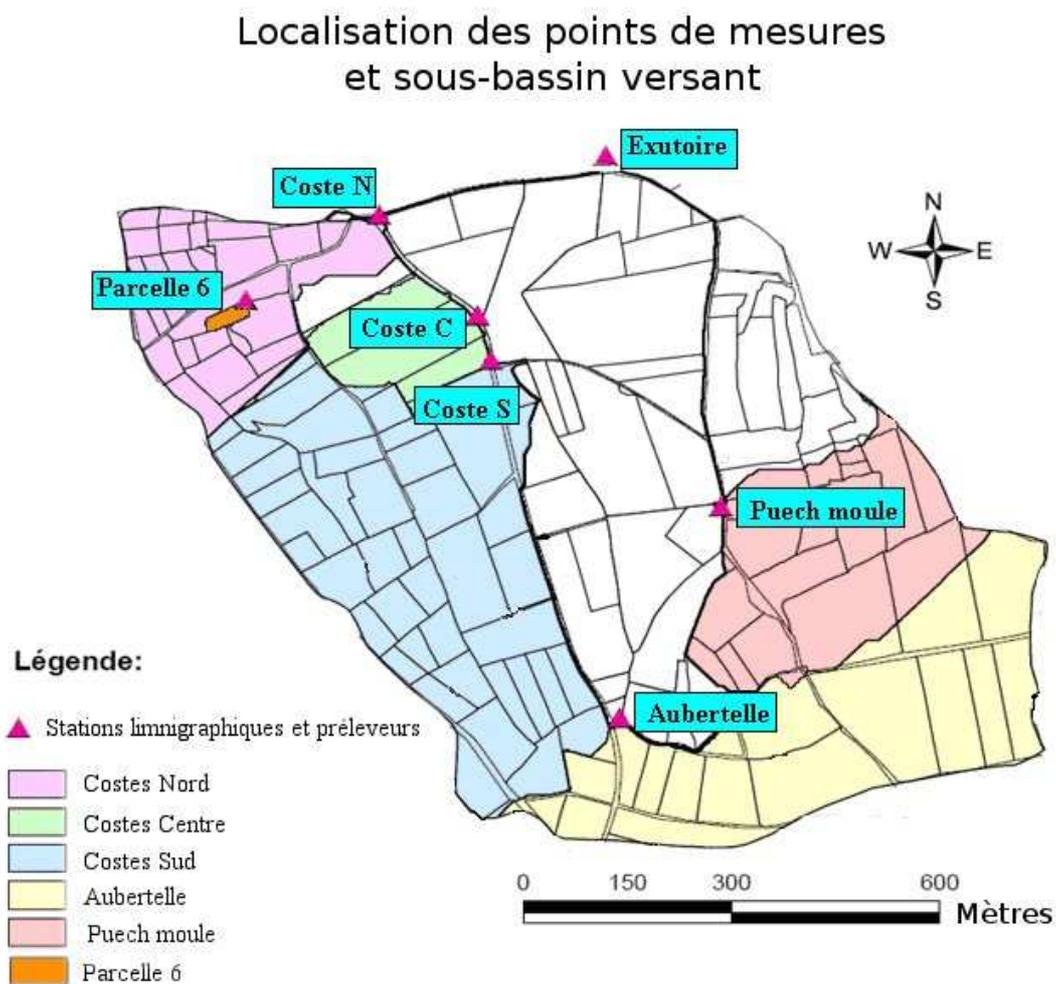


Fig.16 : Localisation des points de mesures et des sous bassins versants de Roujan

## b. Simulations effectuées

Il est à noter que pour effectuer ces simulations, le parcellaire de 2007 a aussi été utilisé pour simuler les événements de 2005 et 2006 étant donné la faible variation d'occupation du sol pendant cette période.

Les simulations ont été testées avec des durées efficaces à 0 mm/h, 2 mm/h, et 5 mm/h. Pour rappel, ces durées efficaces correspondent à la durée totale de l'événement, moins les durées pendant lesquelles l'intensité était respectivement inférieure à 0, 2 ou 5 mm/h. Chacune de ces simulations a été réalisée avec les deux types de calcul de pluie antécédente (P48 et IPA5).

Les caractéristiques de ces pluies sont résumées dans le tableau suivant (fig.17):

Date de la pluie	Hauteur (mm)	Intensité max (mm/h)*	P48 (mm)	IPA5 (mm)	Durée efficace (-0mm/h) (heure)	Durée efficace (-2mm/h) (heure)	Durée efficace (-5mm/h) (heure)
18/10/2005	45.57	24.59	6.75	52.54	10.76	7.1	2.63
12/11/2005	88.26	37.44	0	2.96	11.06	8.06	4.6
15/01/2006	19.78	10.56	0	0.36	8.15	2.95	0.83
13/09/2006	38.72	58.5	0	0	6.6	3.98	2.03
11/10/2006	34.38	147.9	0	0	5.12	1.46	0.63
18/10/2006	21.18	18.72	0	0	2.48	2.23	2.05
17/02/2007	46.34	11.28	0	2.04	13.95	10.48	1.93
31/03/2007	23.12	13.68	0	0	8.38	4.2	1.23
03/05/2007	33.1	8.69	18.63	16.76	14.83	7.01	0.68
06/06/2007	27.2	64.32	0	0	1.72	0.92	0.78
10/06/2007	31.9	48.96	0	19.88	2.18	2.12	1.5

\* L'intensité maximale au cours de l'événement pluvieux a été calculée avec un pas de temps de 5 minutes.

Fig.17 : Tableau des caractéristiques des pluies

La différence entre les durées efficaces calculées souligne l'importance et la difficulté de bien définir la durée de l'événement pluvieux. Ces durées peuvent varier d'un facteur 10 et donc donner des résultats très contrastés pour un même événement réel.

## c. Comparaison entre les flux simulés et mesurés

La première constatation que nous avons pu établir est que le type de pluie antécédente utilisé n'a pas une grande incidence sur les résultats (fig.18). En effet, pour 8 des 11 pluies, les résultats sont pratiquement identiques et les autres présentent des variations négligeables compte tenu de la gamme d'imprécisions des modèles (voir annexe 10 pour les résultats détaillés). Roujan se trouvant en contexte méditerranéen, la faible occurrence des pluies au cours de l'année explique la faible différence entre la P48 et l'IPA5. Nous avons choisi de n'utiliser que l'IPA5 pour la suite de l'étude.

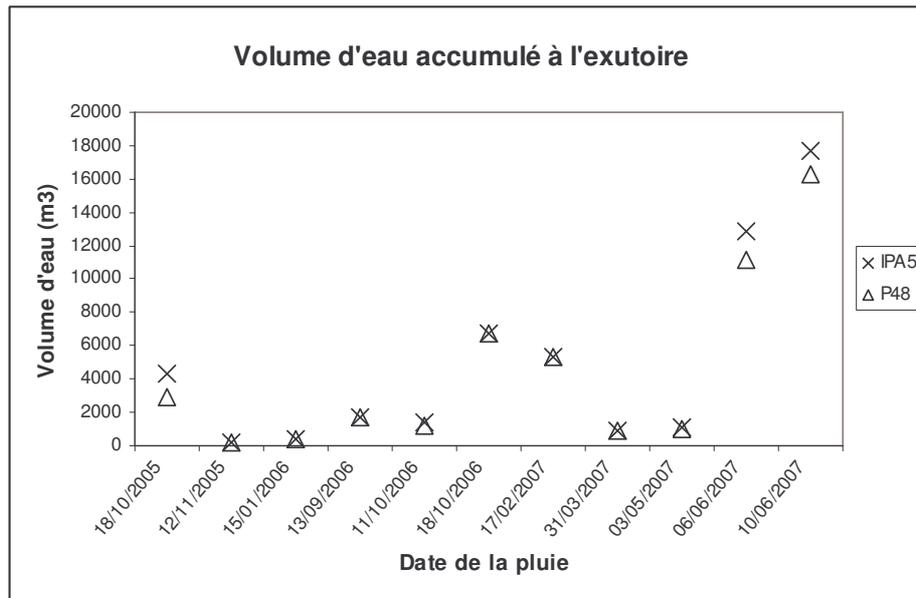


Fig.18: Comparaison des volumes d'eau simulés à l'exutoire entre les deux types de pluies antécédentes (réalisé avec une durée efficace à 5 mm/h)

- Comparaison des volumes ruisselés simulés et mesurés à l'exutoire

Comme nous l'avons annoncé plus haut, les résultats des simulations effectuées avec les trois types de durées efficaces donnent des résultats très différents (fig.19). En effet, l'utilisation de la durée efficace à 0 mm/h aboutit à une sous-estimation importante des volumes ruisselés à l'exutoire du bassin versant. A l'inverse, la durée efficace à 5 mm/h surestime fortement ce ruissellement. L'utilisation de la durée efficace à 2 mm/h donne des résultats intermédiaires et plus proches des mesures observées, c'est donc celle qui semble la plus adaptée à notre cas d'étude (voir annexe 11 pour les résultats détaillés). Ces résultats s'accordent avec le fait que les durées sont plus courtes lorsque l'on augmente l'intensité minimale pour le calcul des durées efficaces. Ainsi, les durées efficaces à 0 mm/h sont plus longues que les durées efficaces à 5 mm/h. Or, lorsque l'on augmente la durée d'un événement pluvieux, cela a pour effet de déployer la même quantité d'eau sur un laps de temps plus grand, on diminue donc ainsi le volume ruisselé simulé.

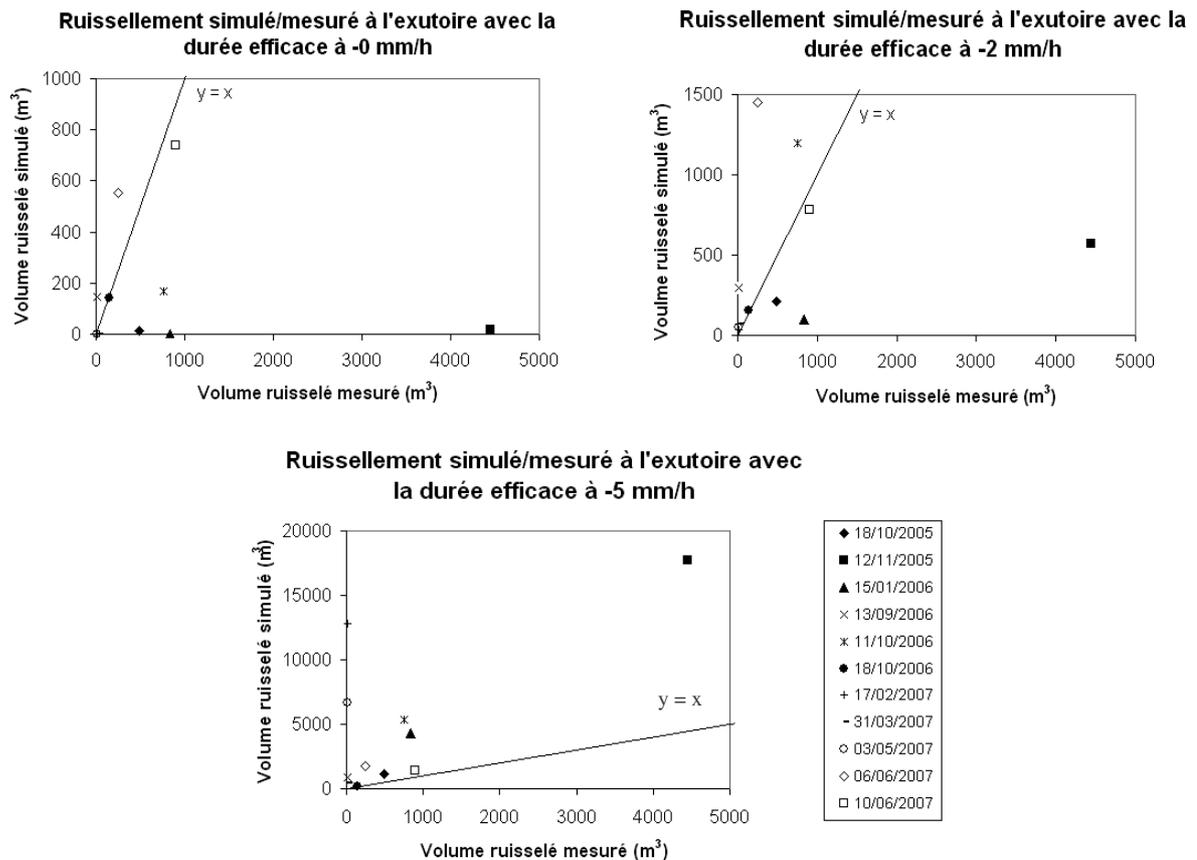


Fig.19 : Graphiques ruissellement simulé/mesuré pour les 3 durées efficaces

On peut tout d'abord noter que, même avec l'utilisation de la durée efficace à 2 mm/h qui donne les simulations les moins biaisées, les estimations restent approximatives. En effet, pour cette durée efficace, sur 11 événements simulés, 7 ont des pourcentages d'erreurs nettement supérieurs à 50%. On peut également noter que l'événement du 12/11/2005 est fortement sous-estimé avec les durées efficaces à 0 ou 2 mm/h mais devient très fortement surestimé lorsque l'on utilise la durée efficace à 5 mm/h. Cela souligne une fois de plus que STREAM est très sensible au paramètre « durée efficace ».

- Comparaison des volumes ruisselés simulés et mesurés à l'intérieur du bassin versant

Nous venons de voir qu'au niveau de l'exutoire, les meilleures simulations sont effectuées avec la durée efficace à 2 mm/h. Cependant, avec cette durée, les résultats du ruissellement à l'intérieur du bassin versant présentent une forte sous-estimation pour l'ensemble des 6 points de mesures et pour les 11 événements (fig.20). Dans certains cas, il peut être possible d'obtenir de bons résultats à l'exutoire malgré des résultats plus approximatifs sur les différents sous-bassins versants. Les valeurs obtenues à l'aval correspondant alors à une moyenne des erreurs simulées sur chaque sous-bassin versant. Dans notre cas, cette éventualité est écartée du fait de la forte tendance à la sous-estimation sur les six points de mesures. Pour notre cas, les raisons de ce phénomène seront mises en avant dans la partie d, avec le commentaire des cartes de flux.

	Parcelle 6		Coste N		Coste C		Coste S		Aubertelles		Puech	
	V. mesuré	V. simulé	V. mesuré	V. simulé	V. mesuré	V. simulé	V. mesuré	V. simulé	V. mesuré	V. simulé	V. mesuré	V. simulé
18/10/2005	40.21	0	126.26	0.55	7.62	0.18	195.79	0.18	364.43	0	118.09	0
12/11/2005	71.04	0	460.11	1.06	92.21	0.35	1142.28	0.35	3126.01	0	425.43	0
15/01/2006	3.42	0	39.20	0.24	2.10	0.08	7.96	0.08	217.56	0	106.31	0
13/09/2006	76.72	0	58.01	0.46	0	0.15	2.76	0.15	37.07	0	28.86	0
11/10/2006	44.94	9.69	20.56	35.34	20.81	3.22	621.52	191.4	109.24	25.62	208.11	85.19
18/10/2006	14.69	0	99.49	0.25	2.02	0.08	114.05	0.08	31.95	0	85.73	0
17/02/2007	28.38	0	60.42	0.56	0	0.18	13.39	0.18	50.65	0	41.43	0
31/03/2007	16.45	0	13.78	0.2	0	0.09	0.26	0.18	13.91	0	6.02	0
03/05/2007	18.65	0	27.84	0.4	0	0.13	3.24	0.13	28.87	0	15.91	0
06/06/2007	10.68	14.6	19.72	67.5	0	6.35	120.15	269.7	577.38	50.61	108.36	118.04
10/06/2007	20.98	5.4	75.90	3.68	1.13	0.13	232.76	69.76	335.65	2.16	108.17	23.71

V.mesuré : volume mesuré en m<sup>3</sup>

V.simulé : volume simulé en m<sup>3</sup>

Fig.20 : Tableau de comparaison entre les volumes ruisselés mesurés et simulés avec la durée efficace à 2 mm/h.

La figure 21 montre qu'il vaut mieux utiliser la durée efficace à 5 mm/h afin d'avoir de meilleurs résultats pour les volumes ruisselés simulés sur ces sous-bassins versants. Dans ce cas, on ne sous-estime pas systématiquement les volumes en jeu, et l'on a même des estimations plutôt proche de la réalité. Ainsi, sur 66 estimations (1 mesure sur les 6 sites pour les 11 événements), presque un tiers donnent une erreur inférieure à 50% (voir annexe 12 pour les résultats détaillés). Les meilleurs résultats sont obtenus sur la parcelle 6 (occupée par des vignes traitées chimiquement), on peut donc penser que les paramètres caractérisant cette parcelle (états de surface, capacité d'infiltration) ont été correctement définis. C'est en effet une des parcelles les plus étudiées du bassin versant, pour laquelle les données sur les états de surface et leurs relations avec l'hydrologie sont donc les plus fiables. Au contraire, pour Coste C qui est très majoritairement occupé par des vignes traitées mécaniquement, les résultats sont nettement moins bons. On peut donc supposer une sur- ou sous-estimation de l'infiltration pour cette occupation du sol. Les autres sous-bassins versant étant occupés par plusieurs types de cultures, il est plus difficile d'identifier quels paramètres sont responsables des erreurs d'estimations observées.

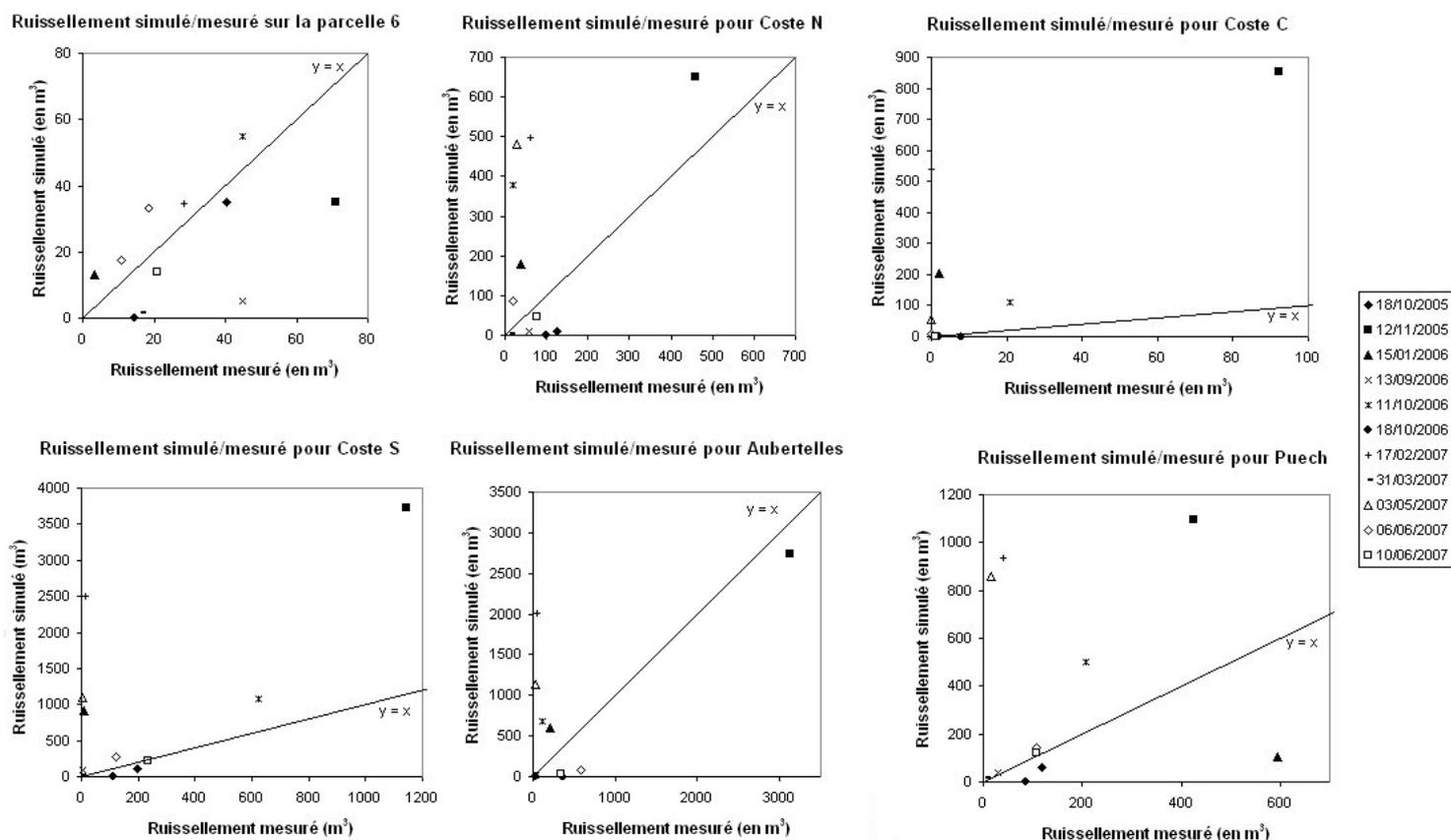


Fig.21 : Résultats des simulations effectuées avec la durée efficace à 5 mm/h sur les sous bassins versants

Cette fois ci les résultats obtenus sur les six points de mesures expliquent les fortes surestimations simulées à l'exutoire. En effet, la somme des volumes simulés par chaque sous-bassin versant donne une forte surévaluation du ruissellement.

On peut observer qu'il ne semble pas y avoir de relation entre l'aire des différentes zones de validations, et la qualité des simulations. En effet, nous n'observons pas d'amélioration ou de détérioration des estimations lorsque la taille des sous-bassins versants augmente. Il n'y a donc pas d'effet d'échelle pour les simulations que nous avons effectuées (voir Coste N et Coste C qui sont de petites tailles par rapport aux trois autres). Les bons résultats obtenus sur la parcelle 6 peuvent davantage être dus à la relativement bonne paramétrisation de son type d'occupation du sol qu'à sa petite taille.

D'un point de vue des caractéristiques des événements simulés, nous pouvons constater que les plus importants en termes de hauteur d'eau et/ou d'intensité sont ceux qui sont le plus surestimés (pluies du 12/11/2005, 11/10/2006 et 03/05/2007). A l'inverse, les plus modestes (pluies du 18/10/06 et 10/06/07) sont ceux qui donnent les meilleurs résultats. Il semblerait donc que le modèle soit plus fiable, ou moins sensible aux biais, pour des événements de faible intensité. La sous-estimation de la capacité d'infiltration ayant un plus grand effet sur les fortes pluies.

- Comparaison des masses de terres érodées simulées et mesurées à l'exutoire

Les pertes en terres sont fortement corrélées avec le volume d'eau ruisselé (fig.22). Cela implique donc qu'il n'est pas possible d'obtenir de bonnes estimations d'érosions à partir de mauvaises estimations de ruissellement.

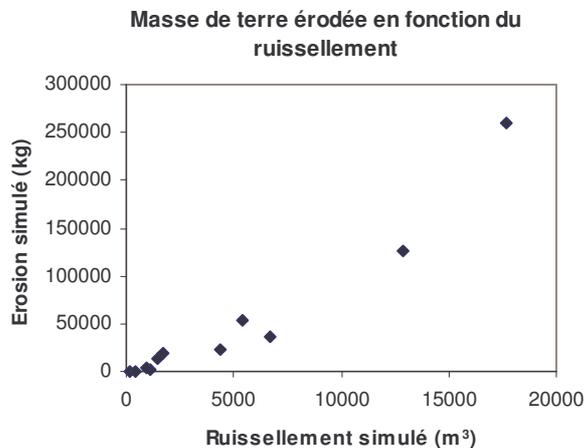


Fig.22 : Relation entre la masse de terre érodée et le volume ruisselé à l'exutoire (simulation effectuée avec la durée efficace à 5 mm/h)

Etant donné que les meilleures estimations pour le ruissellement à l'exutoire sont obtenues avec la durée efficace à 2 mm/h, nous pouvons commencer par comparer les résultats obtenus par cette méthode avec les valeurs mesurées (fig.23). La première constatation que nous pouvons faire est que l'on semble aboutir à de bonnes estimations pour 7 des 11 événements, ce qui constitue un très bon résultat. Cependant, on peut remarquer que ce ne sont pas forcément les événements les mieux simulés en terme de ruissellement qui donnent les meilleures estimations d'érosion. Ainsi, l'événement du 18/10/2006 qui surestimait le ruissellement de seulement 10 m<sup>3</sup> (soit 7.5%), sous-estime fortement l'érosion. Cela peut s'expliquer par le fait que les estimations relativement correctes de ruissellement à l'exutoire ne le sont pas aux niveaux des sous bassins versants. Or, l'érosion simulée à l'exutoire n'est autre que l'accumulation de l'érosion produite localement. On peut donc concevoir que si l'on a de mauvaises estimations de ruissellement au niveau d'une parcelle, on obtient de mauvaises estimations d'érosion sur cette même parcelle et donc à l'échelle du bassin versant. Une mauvaise paramétrisation des modules d'érosion (charge solide potentielle pour l'érosion diffuse ou sensibilité à l'incision pour l'érosion linéaire) peut également être avancée.

Il est aussi important de prendre en compte le fait que les mesures montrent que 6 des événements ne produisent pas d'érosion à l'exutoire (pour les mesures terrain). Il est donc fortement possible que nos simulations sous-estiment en fait beaucoup l'érosion, malgré l'apparente justesse des estimations. Cette critique est confirmée par le fait que l'on ne simule pas non plus d'érosion dans beaucoup de sous-bassins versant qui ont pourtant des masses de terres érodées mesurées parfois importantes (voir annexes 13 pour les résultats détaillés). D'une façon générale, on peut constater une forte tendance à la sous-estimation sur l'ensemble des sous-bassins versants et des pluies. Nous verrons dans la partie d, commentaires des cartes de flux, que cette différence entre les résultats à l'exutoire et dans les sous-bassins versants n'est pas due au réseau de fossés qui ré-infiltre ce qui est produit par les parcelles.

Date de la pluie	Masse de terre érodée mesurée (en kg)	Masse de terre érodée simulée (en kg)
18/10/05	0	0
12/11/05	241	0
15/01/06	0	0
13/09/06	0	0
11/10/06	3653	6517
18/10/06	172.99	0
17/02/07	0	0
31/03/07	0	0
03/05/07	0	0
06/06/07	1931	16672
10/06/07	3880	4434

Fig.23 : Tableau comparatif entre la masse de terre érodée mesurée et simulée à l'exutoire avec une durée efficace 2 mm/h

Les volumes ruisselés simulés à l'exutoire avec la durée efficace à 5 mm/h étant surestimés, les valeurs de masses de terres érodées simulées avec cette durée le sont également (fig.24).

Date de la pluie	Masse de terre érodée mesurée (en kg)	Masse de terre érodée simulée (en kg)
18/10/05	0	1634
12/11/05	241	260546
15/01/06	0	22025
13/09/06	0	4330
11/10/06	3653	54284
18/10/06	172.99	0
17/02/07	0	125209
31/03/07	0	235
03/05/07	0	36610
06/06/07	1931	20035
10/06/07	3880	13727

Fig.24 : Tableau comparatif entre la masse de terre érodée mesurée et simulée à l'exutoire avec une durée efficace 5 mm/h

- Comparaison des masses de terres érodées simulées et mesurées à l'intérieur du bassin versant

Les sorties de flux au niveau des sous bassins sont encore ici mieux estimées avec la durée efficace à 5 mm/h (fig.25). Cependant, elles restent très approximatives sans tendance particulière. On peut toutefois remarquer que même pour la parcelle 6 qui présentait des estimations de ruissellements correctes, les estimations d'érosion sont parfois aberrantes. Par exemple la pluie du 12/11/2005 où l'on sous estimait de moitié le ruissellement, donne le double d'érosion par rapport à la mesure terrain. Cela montre une fois de plus que des ajustements doivent être faits concernant la paramétrisation des modules d'érosion de

STREAM. De plus, il est possible que ces résultats soient dus à un effet de seuil, qui a pour effet d'augmenter fortement les valeurs d'érosion lorsqu'un facteur dépasse un certain niveau. On peut ainsi obtenir une mauvaise estimation finale pour une faible erreur au départ. Cela rend donc la paramétrisation, particulièrement délicate.

	Parcelle 6		Coste N		Coste C		Coste S		Aubertelles		Puech	
	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé
18/10/2005	18	14	165	4	1	0	39	13	36	0	35	64
12/11/2005	144	225	797	5020	25	4225	741	33500	2188	43281	142	30704
15/01/2006	4	24	0	325	0	396	0	2387	0	2884	19	3919
13/09/2006	247	51	150	22	0	0	0	380	41	2	117	49
11/10/2006	817	316	153	2827	43	858	43	8716	234	9923	13930	12468
18/10/2006	60	0	278	0	1	0	88	0	8	0	1571	0
17/02/2007	817	62	153	1463	43	1052	43	13796	234	27967	13930	12829
31/03/2007	22	3	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0
03/05/2007	8	87	1	884	0	83	0	2681	1	13165	3	13913
06/06/2007	98	332	118	1022	0	0	3041	2508	4111	332	1059	5499
10/06/2007	222	139	649	303	7	0	5021	1665	2616	86	937	5218

M.mesuré : Masse de terre érodée mesurée en kg

M.simulé : Masse de terre érodée simulée en kg

Fig.25 : Tableau de comparaison entre les volumes ruisselés mesurés et simulés avec la durée efficace à 5 mm/h.

#### d. Commentaire des cartes de flux

Les sorties cartographiques de STREAM peuvent permettre de mettre en évidence plus précisément les facteurs responsables d'une mauvaise estimation des flux en jeu lors d'une simulation.

Ainsi, nous pouvons voir que sur l'ensemble des simulations effectuées avec la durée efficace à 2 mm/h, seules les vignes avec un traitement de type chimique pour 3 pluies (06/06/2007, 11/10/2006 et 10/06/2007) et les zones urbanisées simulent un ruissellement (exemple en fig.26). Le reste présente des bilans infiltration/ruissellement négatif.

La figure 27 illustre le fait que les flux d'eau à l'exutoire proviennent exclusivement des zones urbanisées et des vignes traitées chimiquement. Une partie de ce flux d'eau est ré-infiltré par d'autres parcelles lors de son écoulement vers l'aval, ou par le réseau de fossé (dont la capacité d'infiltration a été définie à 50 mm/h selon l'expertise d'Yves Le Bissonnais).

### Bilan Infiltration/ruissellement pour la simulation du 10/06/2007

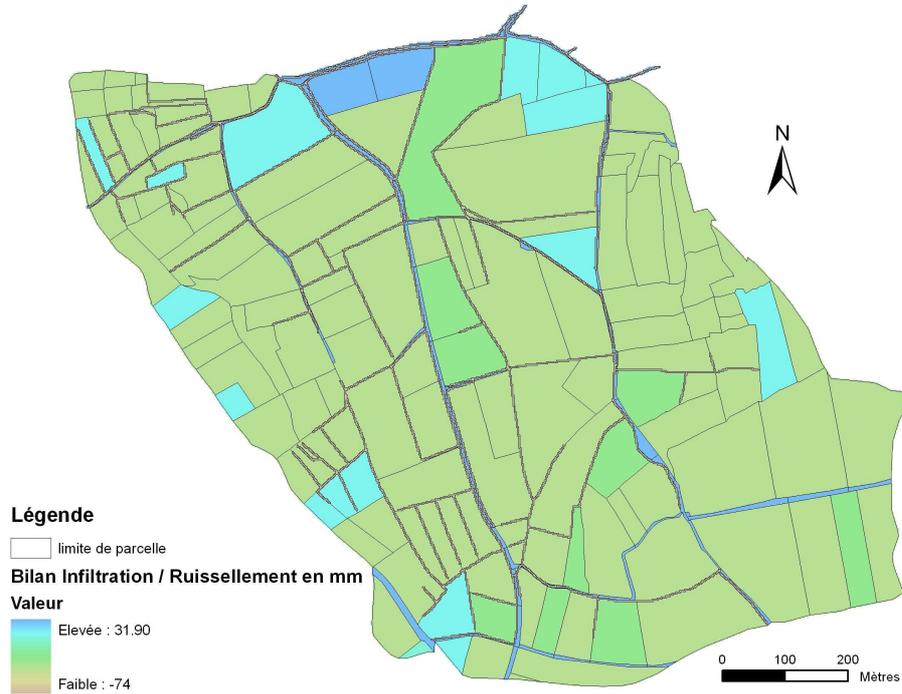


Fig.26 : Sortie STREAM représentant le bilan Infiltration/Ruissellement pour la simulation du 10/06/2007 réalisée avec la durée efficace à 2 mm/h. (En bleu clair ressortent les vignes traitées chimiquement, qui ont un bilan positif)

### Volume d'eau accumulé pour la simulation du 10/06/2007

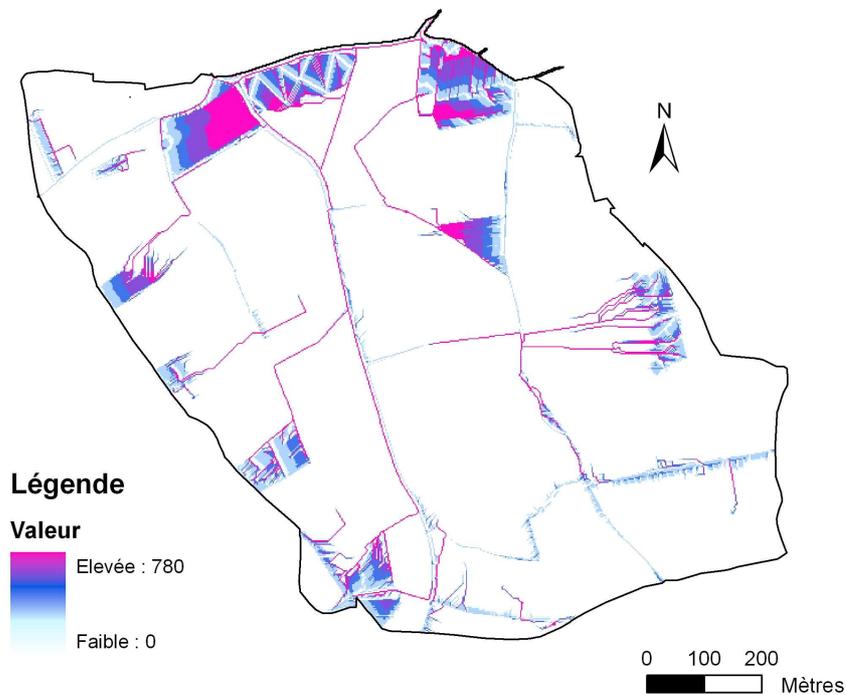


Fig.27 : Accumulation des volumes d'eau sur le bassin versant pour la pluie du 10/06/2007

Au vue de ces cartes, on peut avancer que les meilleurs résultats relatifs à l'exutoire obtenus avec la durée efficace à 2 mm/h, reflètent en réalité très mal les flux d'eau, à l'échelle du bassin versant. On peut même observer que pour certaines pluies, comme celle du 18/10/2006 qui présente pourtant une estimation du ruissellement correcte à l'exutoire (177 m<sup>3</sup> au lieu de 143 m<sup>3</sup>), la totalité du ruissellement est produite par les zones urbanisées, notamment les deux zones au nord (fig.28). Les résultats obtenus avec la durée efficace à 2 mm/h ne sont donc pas pertinente dans notre cas. Cet exemple illustre bien l'importance d'utiliser un modèle spatialisé, qui ne se limite pas aux seuls volumes à l'exutoire. Ainsi, il faut se méfier des simulations effectuées car elles peuvent « trouver de bons résultats pour les mauvaises raisons » (Favis-Mortlock, 1997).

### Volume d'eau accumulé pour la simulation du 18/10/2006

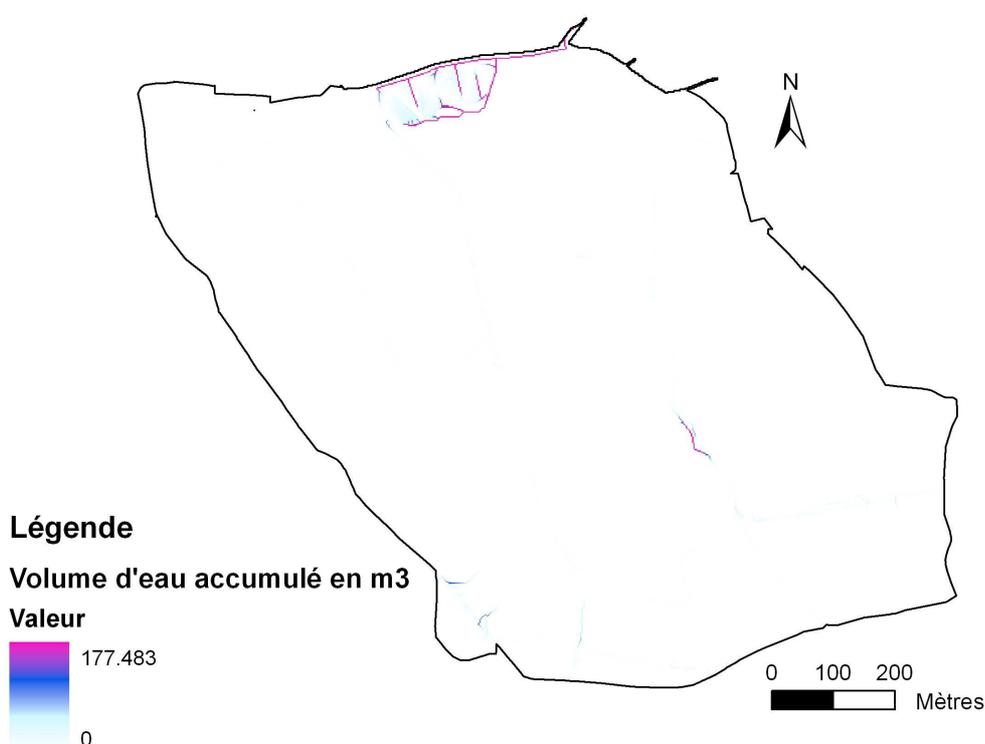


Fig.28 : Sortie STREAM de l'accumulation d'eau réalisée avec la durée efficace à 2 mm/h

Les sorties réalisées avec la durée efficace à 5 mm/h présentent des résultats plus contrastés.

Ainsi, nous observons sur les cartes de bilans Infiltration/Ruissellement que les vignes traitées chimiquement ruissellent pour tous les événements simulés excepté celui du 18/10/06 (fig.29). Cette distinction s'explique par le fait que cette pluie n'est pas importante en termes de hauteur d'eau (20 mm) et que sa durée efficace est relativement élevée (2 heures).

Les vignes traitées mécaniquement réagissent de manière plus contrastées puisqu'elles ruissellent pour 5 des 11 événements simulés. Les plantiers réagissent de la même façon que les vignes. On peut donc avancer que le type de pratique culturale a une plus grande influence sur le ruissellement que le type de vigne. Les vignes enherbées, les forêts, garrigues, friches et terres arables ont des comportements similaires entre eux, avec un faible nombre d'événements ruisselants pour ces types de parcelles.

Date de la pluie	INFILTRATION/RUISELLEMENT							
	Vigne chimique	Vigne mécanique	Vigne enherbement	Forêt, garrigue, friche	Terres arables	Plantier chimique	Plantier mécanique	fossé
18/10/05	18.27	-25.18	-25.18	-25.18	-41.33	18.27	-25.18	-85.93
12/11/05	40.26	40.26	-38.74	-38.74	-38.74	40.26	40.26	-141.7
15/01/06	9.48	9.48	-12.97	-12.97	-12.97	9.48	9.48	-21.72
13/09/06	13.42	-27.03	-27.03	-27.03	-42.17	13.42	-27.03	-62.78
11/10/06	23.08	3.63	3.63	3.63	-4.52	23.08	3.63	2.88
18/10/06	-4.32	-45.07	-45.07	-45.07	-60.32	-4.32	-45.07	-81.32
17/02/07	25.04	25.04	-13.91	-13.91	12.39	25.04	25.04	-50.16
31/03/07	5.82	-33.78	-22.63	-22.63	-13.48	5.82	-33.78	-38.38
03/05/07	26.34	0.69	8.09	8.09	14.5	24.3	0.69	-0.9
06/06/07	16.74	-7.29	-7.29	-7.29	-0.39	14.4	-7.29	-11.8
10/06/07	19.4	-13.6	-13.6	-13.6	-3.1	14.9	-13.6	-43.1

Fig.29 : Tableaux du bilan infiltration/ruissellement (en orange : les bilans positif)

A la vue de ces résultats, nous pouvons constater que ce sont principalement les vignes et plantiers chimiques ou mécaniques qui engendrent du ruissellement. Une mauvaise paramétrisation au niveau de leur capacité d'infiltration peut être responsable des surestimations des volumes ruisselés à l'exutoire.

- Conclusion des simulations sur Roujan

L'ensemble des simulations effectuées sur Roujan présente des résultats assez décevants, que ce soit au niveau des volumes ruisselés ou de la masse de terre érodée. Cependant nous pouvons signaler qu'il n'y a pas eu de phase de calibration du modèle. Ces simulations peuvent donc nous servir pour ajuster la paramétrisation de STREAM notamment pour les capacités d'infiltrations des différents types de vignes. En effet, ce sont elles qui créent le plus de ruissellement et qui sont de loin le plus représentées dans le bassin versant. Il est donc très important de déterminer précisément leurs capacités d'infiltrations.

Nous avons vu également qu'une bonne estimation du ruissellement n'était pas toujours suivie d'une bonne estimation de l'érosion. Il faudrait donc ajuster les paramètres des modules d'érosion, en particulier la charge solide potentielle pour les différentes occupations du sol (pour les vignes principalement).

#### d. Scénarios de changement de pratique culturale

Afin d'évaluer les impacts en terme d'érosion d'un changement d'occupation du sol ou de pratique culturale, nous avons décidé d'effectuer des simulations en ne mettant plus qu'un seul type de vigne sur l'ensemble des parcelles occupées actuellement par de la vigne. Ainsi, nous avons créés 3 nouveaux parcellaires, où toutes les vignes étaient traitées soit chimiquement, soit mécaniquement soit avec enherbement. Les pluies utilisées pour ces simulations sont les mêmes que précédemment.

Pour interpréter les résultats obtenus, nous avons choisis de comparer les flux simulés à l'exutoire avec le parcellaire initial et les flux simulés avec les parcellaires contenant les nouvelles occupations du sol. Au vue des prédictions approximatives des simulations, l'objet de cette étude n'est pas de déterminer précisément l'augmentation ou la diminution des flux en jeu, mais de définir les tendances moyennes suite à un changement de pratique culturale.

Les simulations ont été effectuées avec l'IPA5 et la durée efficace à 5 mm/h.

- Résultats des simulations avec l'occupation du sol où toutes les vignes sont traitées chimiquement

Dans ce cas extrême, nous observons que le ruissellement simulé a logiquement augmenté pour toutes les pluies (fig.30). Cependant, cette augmentation est très inégale en fonction des mois pendant lesquels ces pluies ont eu lieu (voir annexe 14). Ainsi, il y a une nette augmentation du ruissellement pour les mois de mars, mai, juin, septembre et octobre (450 % en moyenne) alors que l'augmentation reste faible en janvier, février et novembre (12 % en moyenne). Cela peut s'expliquer par le fait que durant la période hivernale, le type de traitement effectué sur la parcelle est moins marqué (la rugosité et le faciès notamment pour les vignes traitées mécaniquement se rapproche de ceux pour une vigne traitée chimiquement (voir calendrier en annexe 2). Il est à noter que le ruissellement simulé de la pluie du 18/10/2006 n'augmente pas car, comme nous l'avons vu plus haut, le ruissellement à l'exutoire ne provient que des zones urbanisées. Pour un mois donné, on peut dire que ce changement d'occupation du sol aura d'autant plus d'influence que la pluie est intense.

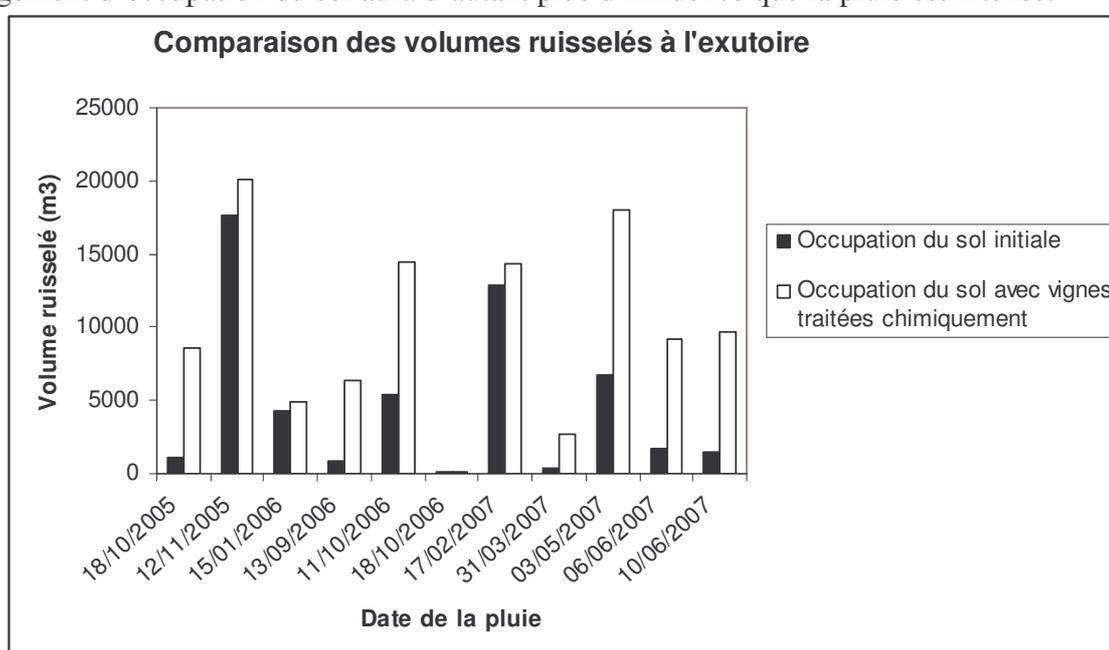


Fig.30 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées chimiquement

Du point de vue de l'érosion, nous observons les mêmes tendances, mais l'augmentation est encore plus prononcée (fig.31). Ainsi nous obtenons une augmentation moyenne de 3500 % pour les mois de mars, mai, juin, septembre et octobre et une augmentation moyenne de 60 % pour janvier, février et novembre.

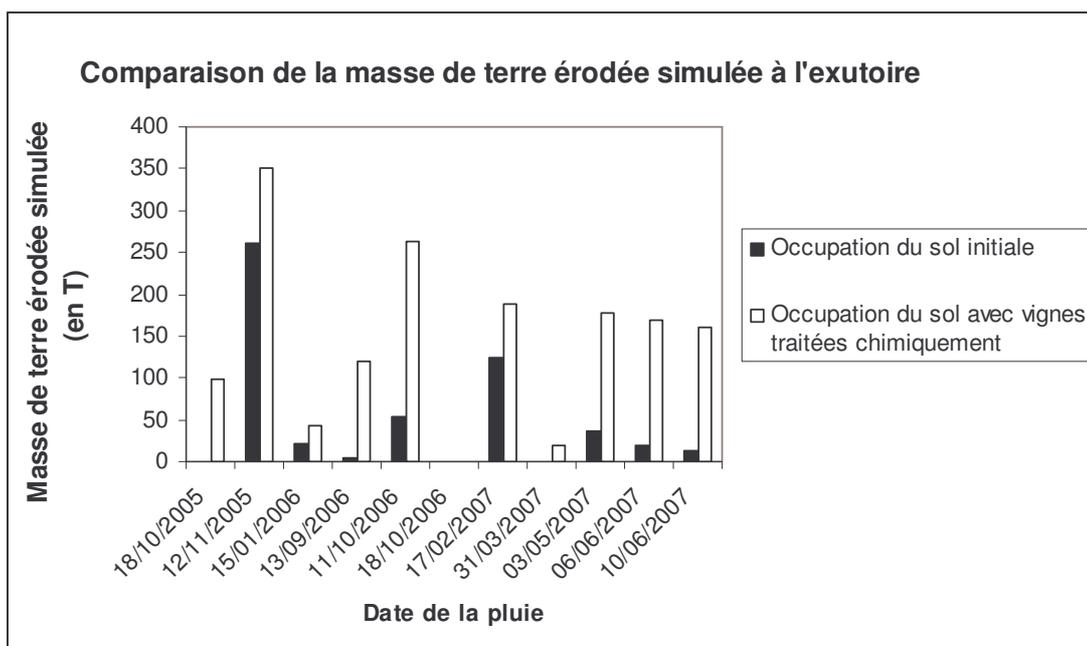


Fig.31 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées chimiquement

D'une manière générale, nous pouvons conclure que le changement radical de pratique culturale vers un traitement chimique des vignes sur Roujan peut entraîner sur l'année une augmentation non négligeable de l'érosion, notamment pendant les mois estivaux, durant lesquels les différences d'états de surface induites par les différents types de vignes sont maximales.

- Résultats des simulations avec l'occupation du sol où toutes les vignes sont traitées mécaniquement

Avec ce type de traitement, nous pouvons tout d'abord constater que les résultats sont moins manifestes que précédemment. En effet, nous obtenons des augmentations ou des diminutions du volume ruisselé nettement moins importantes (fig.32). Il est cependant notable que l'on a toujours une distinction de comportement entre les mois hivernaux (janvier, février et novembre) et les autres mois. En effet, pour les mois hivernaux on obtient une augmentation du ruissellement de 12 % en moyenne, alors que pour les autres mois, on diminue le ruissellement de 50 % en moyenne.

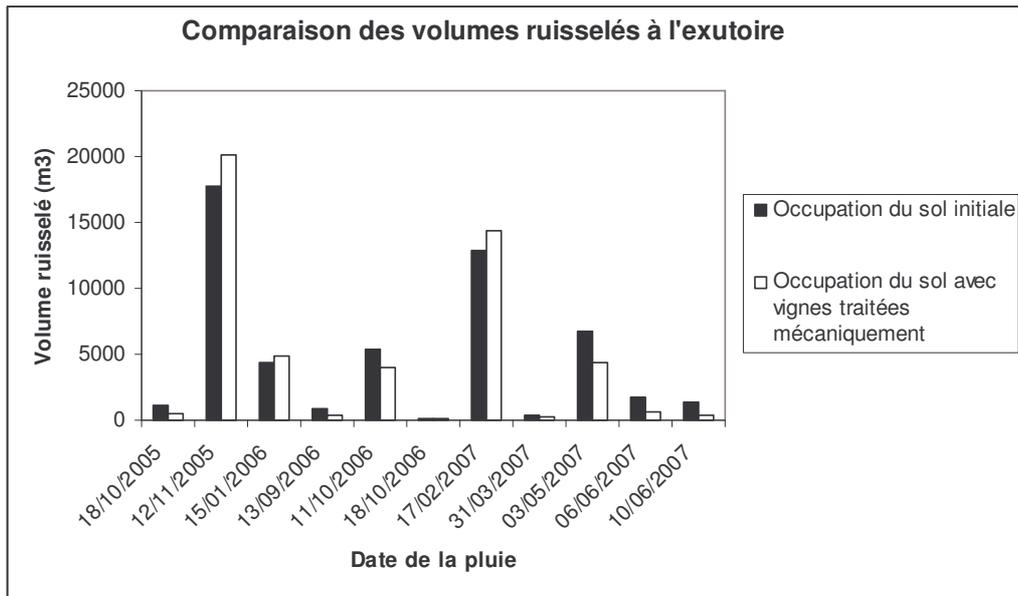


Fig.32 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées mécaniquement

Les résultats pour l'érosion sont similaires, avec une accentuation des tendances décrites précédemment (fig.33).

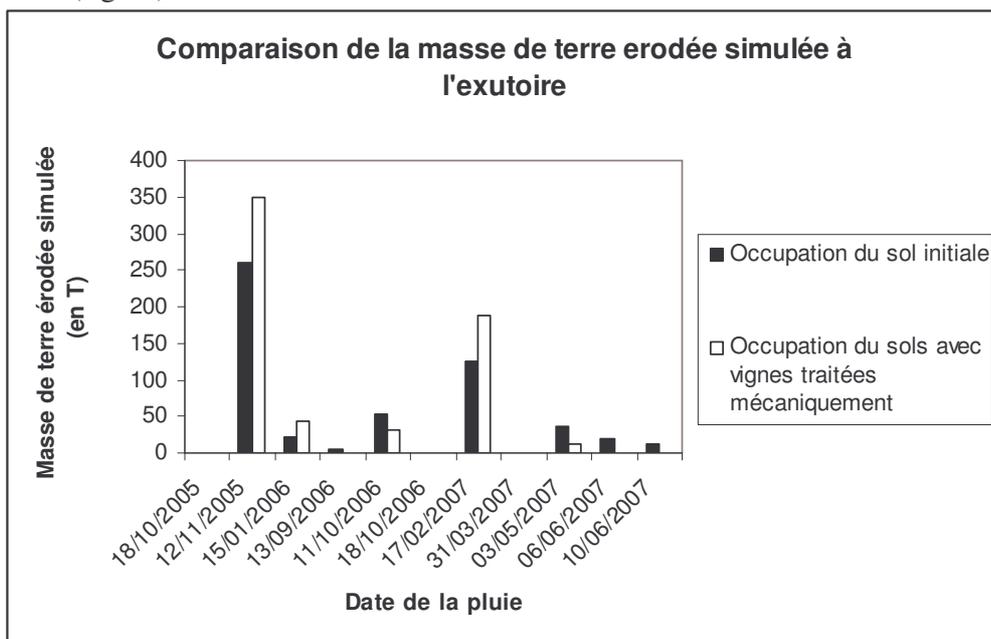


Fig.33 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées mécaniquement

Globalement, du point de vue du ruissellement ou de l'érosion, un traitement de type mécanique sur toutes les vignes du bassin versant n'aurait pas un impact très important sur l'ensemble de l'année.

- Résultats des simulations avec l'occupation du sol où toutes les vignes sont enherbées

Avec ce type de pratique culturale, les résultats sont très différents. En effet, on diminue fortement les volumes ruisselés excepté pour le mois de mai (fig.34). Cette singularité

s'explique par le fait que l'on travail les vignes traitées mécaniquement à cette période. Ce travail a pour effet d'augmenter l'infiltration, ce qui n'est plus le cas avec les vignes enherbées.

Là encore, la diminution est plus marquée pour les mois hivernaux avec une chute de 92 % alors que la baisse est de 52 % les autres mois.

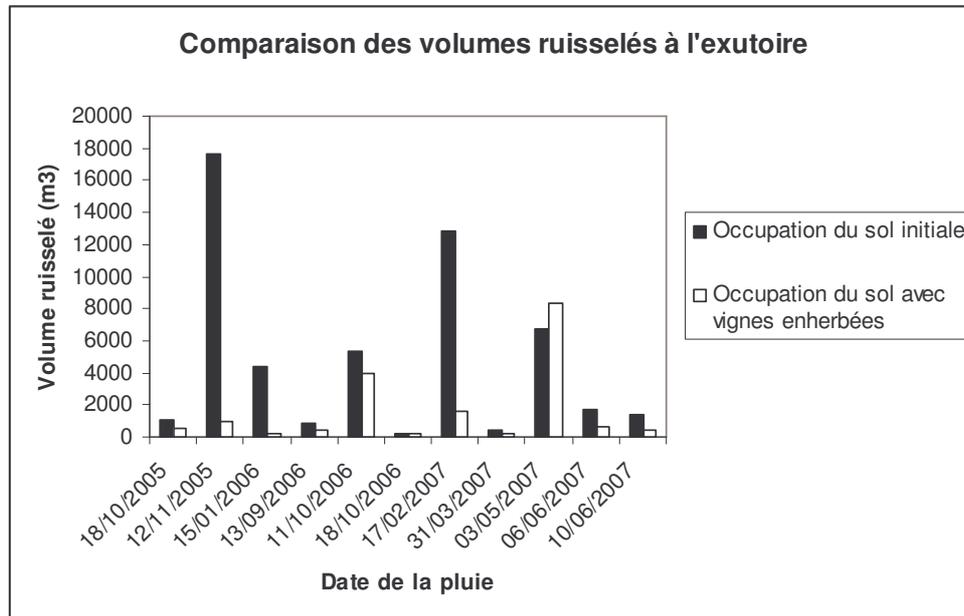


Fig.34 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes enherbées

Ces tendances se retrouvent évidemment sur les pertes en terres (fig.35). On peut noter cependant que pour le mois de mai où l'on ruisselait davantage, l'érosion simulée à l'exutoire est quand même inférieure. Cela s'explique par le fait que les vignes enherbées sont moins sensibles à l'érosion que les vignes traitées mécaniquement.

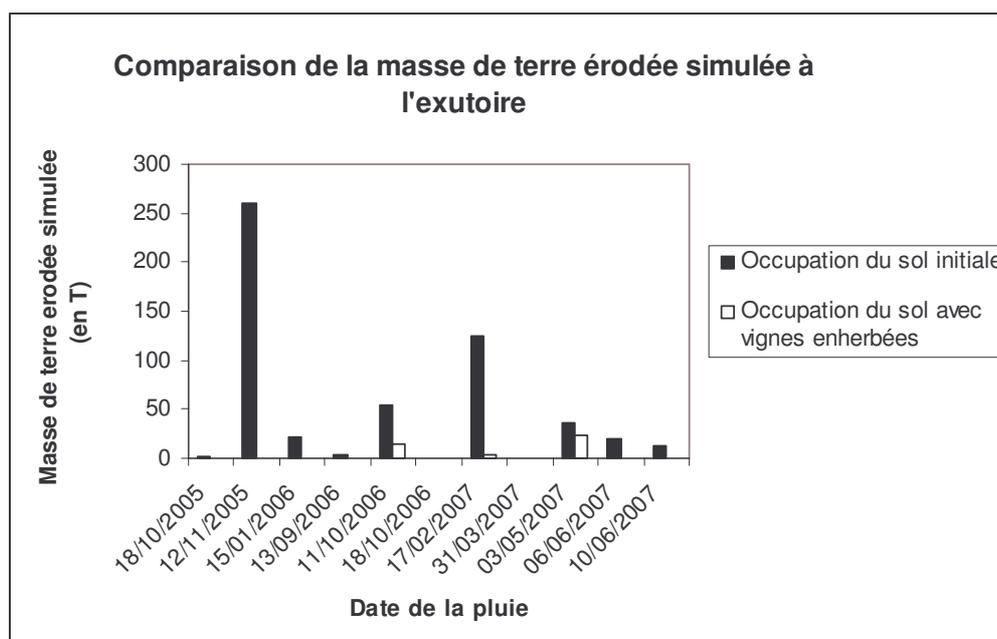


Fig.35 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes enherbées

En définitive nous pouvons dire que l'enherbement des vignes sur le bassin versant de Roujan est un moyen très efficace de limiter l'érosion. En effet, nous pouvons voir que, malgré une nette tendance à la surestimation de nos simulations, l'érosion est pratiquement réduite à zéro pour l'ensemble des pluies.

## 2. Simulation sur Kamech

### a. Données de validation

Pour le bassin versant de Kamech, nous disposons de 6 événements pluvieux pour lesquels nous avons des mesures de terrains pour la validation.

Ces mesures terrains, fournies par Damien Raclot (IRD), concernent les volumes ruisselés et les charges solides à trois endroits du bassin versant. Ces points de mesures correspondent aux flux de sorties au niveau d'une parcelle, de l'impluvium d'une ravine et d'un sous-bassin versant (voir fig. 36). Les flux à l'exutoire du bassin versant ne sont pas disponibles.

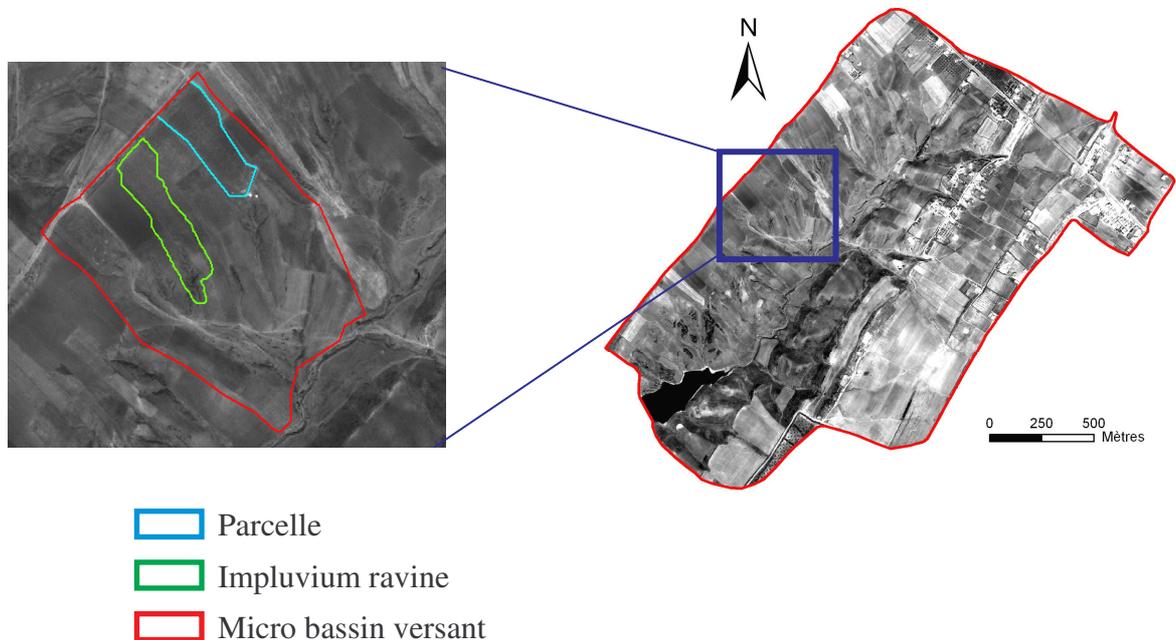


Fig.36 : Localisation des surfaces de validation

Pour l'année culturale 2005-2006 les occupations du sol sur les aires de validations sont réparties de la manière suivante :

- pour la parcelle : fèves/féverolles
- pour la ravine : 85% de céréales et 15% de parcours
- pour le micro bassin versant : 55% de céréales, 15% de fèves/féverolles, 2% de jachères et 28% de parcours

Pour l'année culturale 2006-2007 la répartition des cultures est la suivante :

- pour la parcelle : céréales
- pour la ravine : 45% de fèves, 12% céréales, 25% de pois chiches et 18% de parcours
- pour le micro bassin versant : 47% de céréales, 8% de pois chiches, 1% de jachère, 14% de fèves et 30% de parcours

La répartition des occupations du sol obtenu sur le micro bassin versant est comparable à celles obtenus sur l'ensemble du bassin versant. On peut donc dire qu'il est représentatif de la zone étudiée (à l'exception des vertisols, qui peuvent avoir une influence importante, ne sont pas présents sur le micro-bassin).

### b. Simulations effectuées

Les changements d'occupation du sol sur Kamech sont fréquents d'une année à l'autre. Du fait que les pluies que nous voulons simuler se répartissent sur deux années culturales (de septembre à septembre), il nous a fallu traiter deux parcellaires différents du point de vue de l'occupation du sol.

Ces pluies, d'intensités, de hauteurs et de durées variables se répartissent sur 4 mois de l'année. Comme pour Roujan, nous avons choisi d'effectuer les simulations avec une durée efficace à 5mm/h et des pluies antécédentes correspondant à la P48 et à l'IPA5. Les caractéristiques de ces pluies sont les suivantes (fig.37) :

Date de la pluie	Hauteur (mm)	Intensité max (mm/h)	P48 (mm)	IPA5 (mm)	Durée efficace (-5mm/h) (heure)	Année culturale
13/12/2005	49,49	31	23	24,05	3,24	2005-2006
08/01/2006	42,53	30,5	0,5	20,95	2,03	
30/01/2006	47,56	24	0	1,8	0,85	
27/09/2006	26	50,6	12	11,05	1,18	2006-2007
16/12/2006	83,78	65	47	54,7	3,98	
10/03/2007	59,29	25,3	44,5	45,6	0,44	

Fig.37 : Tableau des caractéristiques de pluies

### b. Comparaison entre les flux simulés et mesurés

Pour l'ensemble des simulations nous nous sommes donc intéressés aux volumes d'eau et à la masse de terre à la sortie des trois aires de validation.

La première constatation est que les deux méthodes de calculs de pluies antécédentes (P48 et IPA5) sont relativement similaires en termes de résultats (fig.38). Cela peut s'expliquer, comme pour Roujan, par le fait que nous simulons des événements dans un contexte climatique de type méditerranéen. Le nombre de jour entre deux pluies successives étant potentiellement élevé, la différence entre la P48 et l'IPA5 reste faible.

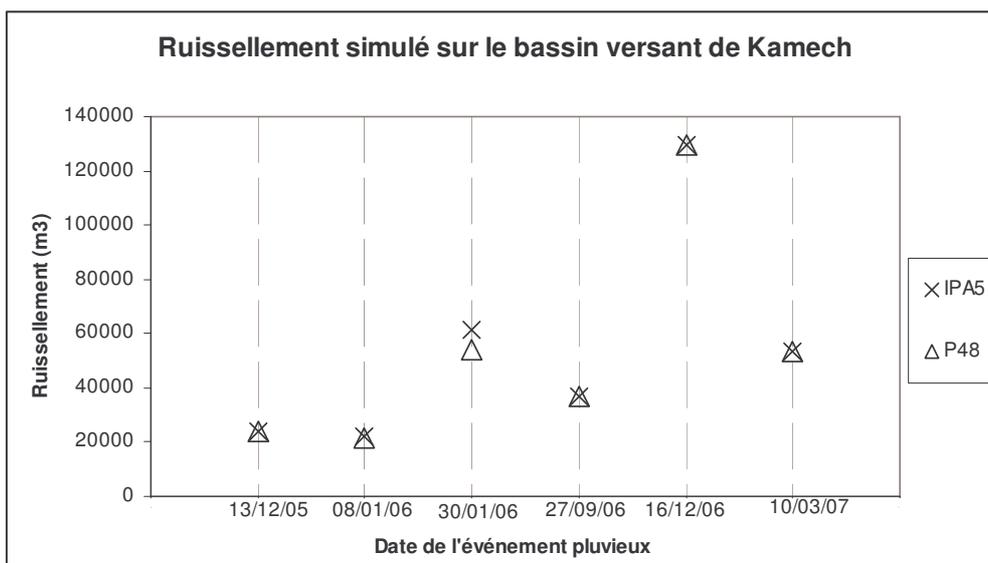


Fig.38 : Comparaison des résultats entre le P48 et L'IPA5

La différence entre les deux étant négligeable, nous avons donc choisi de ne retenir que les simulations effectuées avec l'IPA5 pour le reste de l'étude.

- Comparaison des volumes ruisselés simulés et mesurés

La première remarque que l'on peut faire sur ces simulations, est que l'on a des pourcentages d'erreur souvent élevés (voir annexes 15 pour les résultats détaillés). En effet, sur 17 résultats (simulations sur les trois aires de validation pour chacune des six pluies, sauf sur le micro bassin versant pour la pluie du 27/09/2006 pour laquelle nous n'avons pas de mesure terrain), 10 présentent des erreurs supérieures à 50%. De plus, il n'y a pas de tendance générale, on peut donc avoir de fortes surestimations ou sous-estimations selon les cas.

Les meilleurs résultats sont obtenus sur le micro-bassin versant (fig.39) :

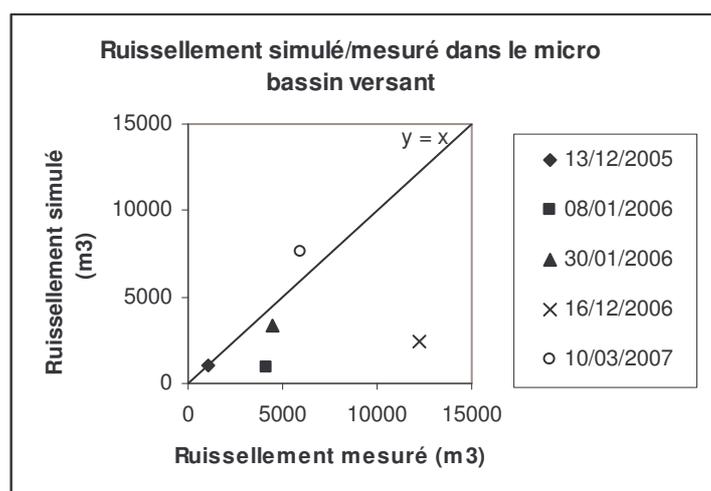


Fig.39 : Résultats des simulations sur le micro bassin versant

Sur ce sous-bassin versant, 3 pluies présentent des erreurs inférieures à 35 %. Sur les 3 simulations effectuées sur le parcellaire correspondant à l'année culturale 2005-2006, la pluie du 13/12/05 donne un résultat excellent (4,8% d'erreur). Les 2 autres pluies

simulées sur ce parcellaire donnent des résultats moins bons, avec une sous-estimation du volume ruisselé simulé importante et donc une surestimation de l'infiltration. Ces 2 pluies survenant durant le mois de janvier, on peut donc avancer une mauvaise paramétrisation de l'infiltration sur les états de surface correspondant à cette période. En effet, nous rappelons que la capacité d'infiltration est déterminée en fonction de la combinaison des états de surface, décrit par expertise pour chaque mois dans le calendrier.

Sur les deux pluies simulées sur le parcellaire de l'année culturale 2006-2007 pour lesquelles nous avons des données de validation, celle du 10/03/2007 donne de bons résultats (26% de surestimation) alors que celle du 16/12/2006 sous-estime fortement les volumes ruisselés (-80%). Là encore, on peut mettre en cause une mauvaise paramétrisation de l'infiltration en fonction des états de surface.

Globalement, les tendances observées sur le micro-bassin versant se retrouvent sur l'impluvium de la ravine (fig.40). Les pourcentages d'erreurs sont comparables, même s'ils sont légèrement plus importants pour celle-ci. L'impluvium de la ravine étant principalement cultivée par des céréales, on peut avancer qu'une mauvaise capacité d'infiltration a été définie pour ce type d'occupation du sol.

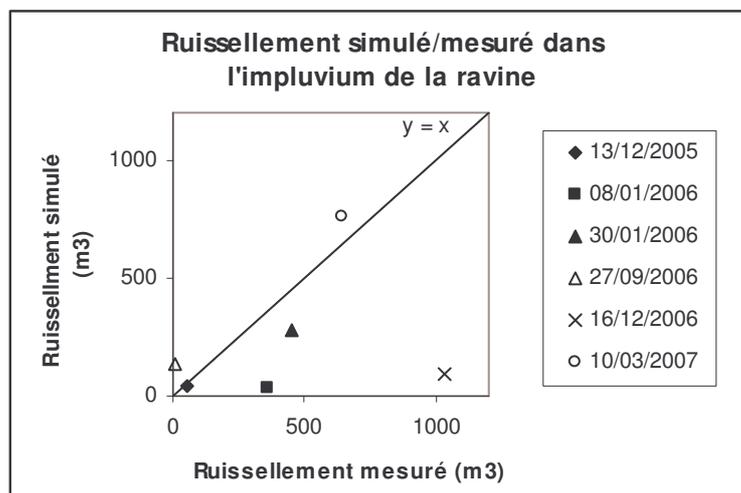


Fig.40: Résultats des simulations sur l'impluvium de la ravine

On peut noter que pour la pluie du 27/09/2006 dont nous ne disposons pas de données pour le micro-bassin versant, on a une surestimation très importante ( $135 \text{ m}^3$  au lieu de  $5 \text{ m}^3$ ).

Les résultats concernant le ruissellement sur la parcelle sont plutôt mauvais puisque cinq des six pluies simulées donnent des erreurs supérieures à 50% (fig.41). On a en effet une forte sous-estimation pour 4 des pluies. La pluie du 27/09/2006 surestime fortement les volumes ruisselés, comme pour la ravine, alors que la pluie du 10/03/2007 donne de bons résultats (13,5% d'erreur). On peut remarquer que pour 3 des pluies, aucun ruissellement n'est simulé alors que des volumes parfois importants ont été enregistrés ( $700 \text{ m}^3$  pour la pluie du 16/12/2006). Là encore, une trop forte capacité d'infiltration peut être responsable de ce résultat, notamment sur les cultures correspondant à cette parcelle durant les deux années culturales, à savoir des fèves/féverolles puis des céréales

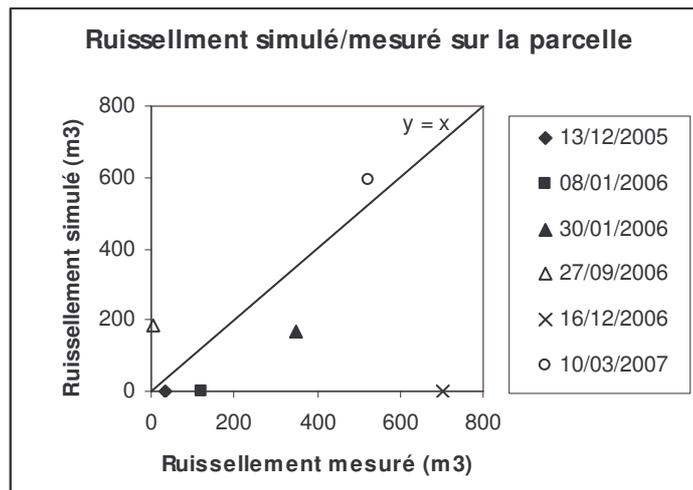


Fig.41 : Résultats des simulations sur la parcelle

Au final, seul la pluie du 10/03/2007 donne des résultats satisfaisants sur les 3 aires de validation avec 29% d'erreur en moyenne. Il semblerait donc que les états de surface concernant cette période et les capacités d'infiltrations correspondantes soient les mieux définis.

Cette fois-ci les différentes échelles des zones de validation ont un rôle sur les résultats obtenus. L'erreur semble être diminuée lorsque l'on passe de l'échelle de la parcelle à l'échelle du micro-bassin versant. Cela veut donc dire que les erreurs d'estimations sont bien réparties spatialement (les sous-estimations induites par certaines parcelles occupent à peu près la même surface que les surestimations induites par d'autres). Cela indique également qu'il y a autant de facteurs qui minimisent le ruissellement que de facteurs qui le surévalue.

On peut remarquer que l'événement le moins intense (le 27/09/2006) surestime très fortement le ruissellement au niveau de la parcelle et de l'impluvium de la ravine. En revanche, les événements du 13/12/2005 et du 10/03/2007 qui font parties des plus fortes pluies, ont des résultats corrects sur l'ensemble des sous-bassins versants. A l'inverse de Roujan, le modèle semble être plus performant pour des pluies de plus fortes intensités.

- Comparaison des masses de terres érodées simulées et mesurées

Les pertes en terres étant fortement corrélées aux volumes ruisselés (fig.42), nous obtenons des sur- ou sous-estimations importantes également (voir annexe 15 pour les résultats détaillés).

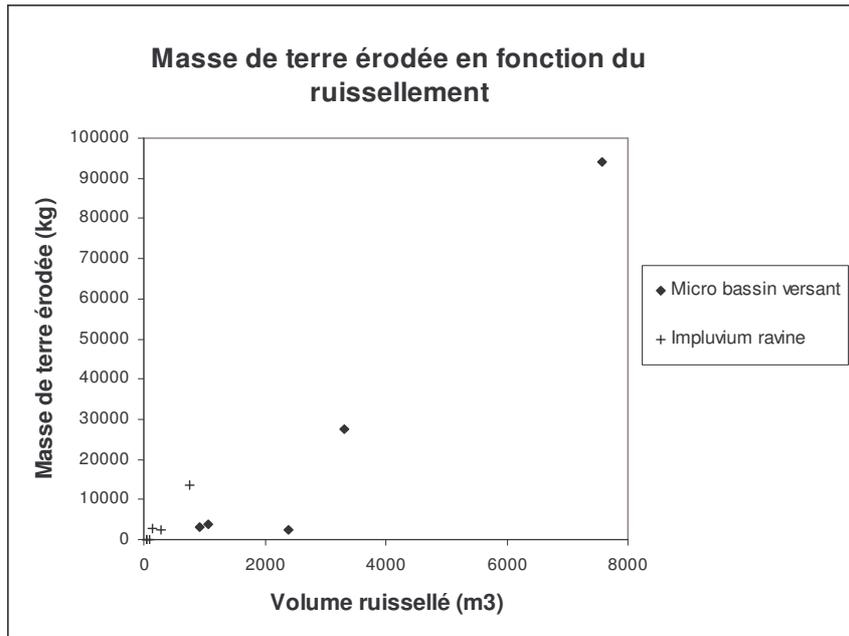


Fig.42: Relation entre les pertes en terre et le volume ruisselé

Les résultats sur le micro bassin versant sont les suivants (fig.43) :

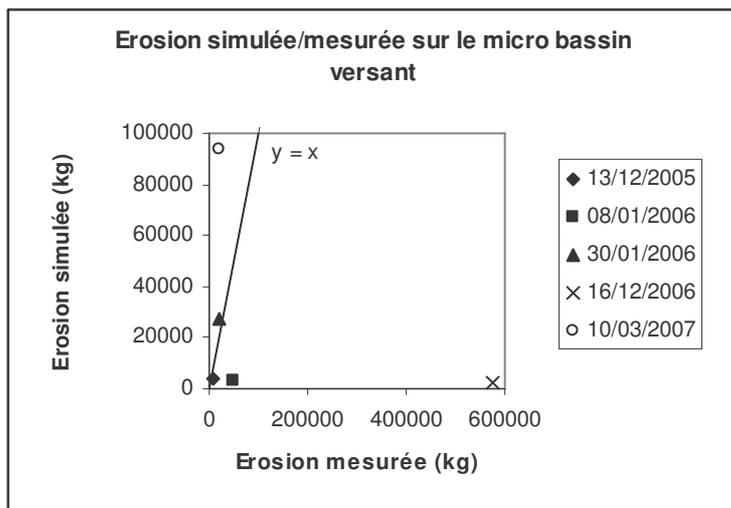


Fig.43 : Résultats des simulations d'érosions sur le micro bassin versant

Les pourcentages d'erreurs sont assez importants sur l'ensemble des pluies puisque le meilleur résultat est une surestimation de 33% pour la pluie du 30/01/2006.

Pour l'impluvium de la ravine les résultats sont encore moins bons (fig.44) :

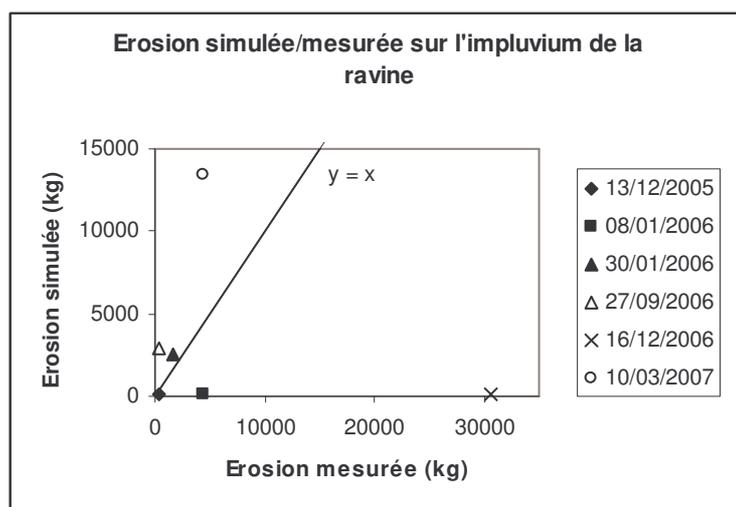


Fig.44: Résultats des simulations d'érosion sur la ravine

Le meilleur résultat (44% d'erreur) est également obtenu pour la pluie du 30/01/2006.

En ce qui concerne la parcelle, nous obtenons de bons résultats pour les pluies du 30/01/2006 et 10/03/2007 (fig.45) :

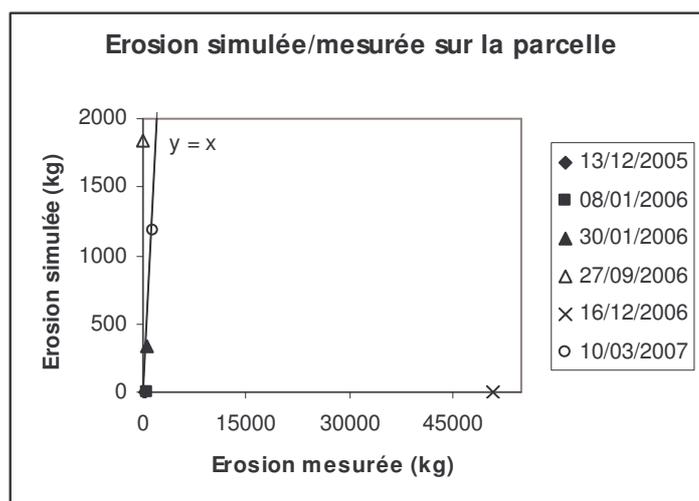


Fig.45: Résultats des simulations d'érosion sur la parcelle

Ce sont d'ailleurs, avec respectivement 30% et 19% d'erreurs, les meilleurs résultats des simulations d'érosion.

On peut remarquer que ce ne sont pas forcément les meilleures simulations de ruissellement qui donnent les meilleures simulations d'érosion. En effet, du point de vue des volumes ruisselés simulés, la pluie du 10/03/2007 est la plus proche de la réalité, alors que du point de vue de l'érosion, la pluie du 30/01/2006 donne de meilleurs résultats. Cela nous montre qu'en plus des erreurs engendrées par une mauvaise estimation du ruissellement, on peut mettre en évidence une mauvaise paramétrisation de STREAM concernant les modules d'érosions. Il faudrait donc redéfinir la charge solide potentielle du module érosion diffuse ainsi que leur sensibilité à l'incision pour le module d'érosion linéaire pour ces cultures.

### c. Commentaire des cartes de flux

Afin de mieux déterminer les causes de ces sur- ou sous-estimations, nous pouvons analyser les différentes sorties de STREAM.

Nous allons tout d'abord nous intéresser à la ravine. Pour les trois pluies simulées sur le parcellaire de 2005-2006 nous avons observé une sous-estimation des volumes ruisselés. Pour ces pluies, le bilan infiltration/ruissellement reste faible ou nul pour les céréales (voir exemple de la pluie du 08/01/2006, figure 46). On peut donc avancer que les taux d'infiltration pour cette culture sont trop élevés pour les mois simulés. De même, pour le parcellaire de 2006-2007 où la parcelle est de type céréales, on a de bon résultats pour le mois de mars mais à nouveau une forte sous-estimation pour la pluie du mois de décembre.

#### Bilan Infiltration/Ruissellement pour la pluie du 08/01/2006

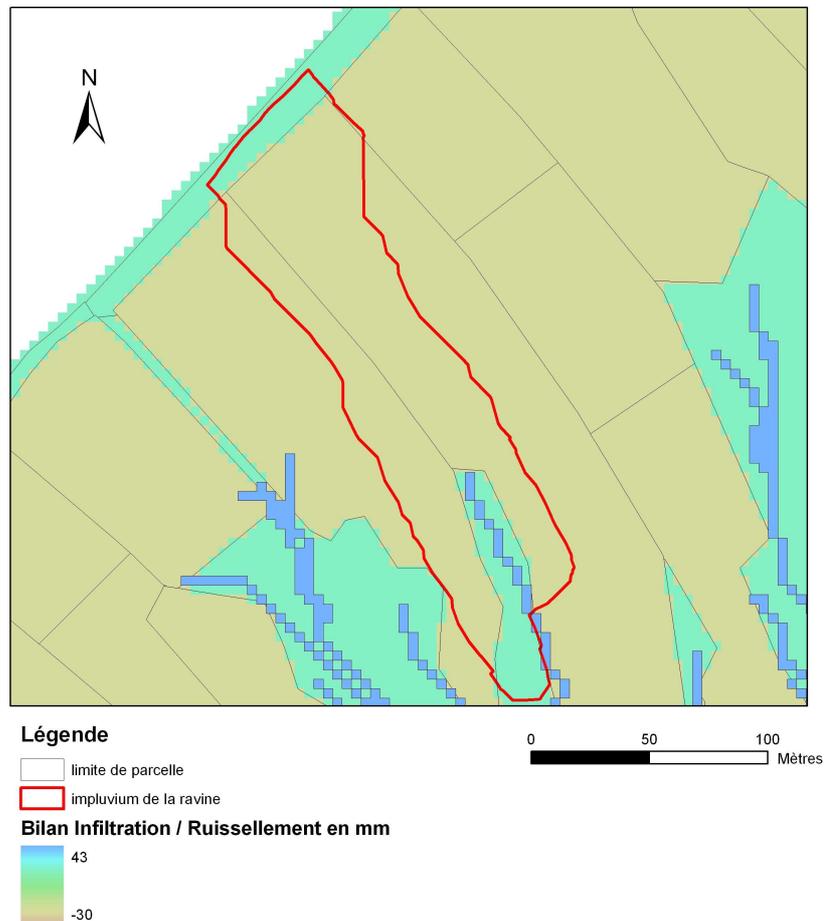


Fig.46 : Bilan infiltration/ruissellement pour la pluie du 08/01/2006 pour l'impluvium de la ravine (en marron, les parcelles occupées par des céréales ont un bilan négatif)

Pour les trois pluies simulées sur le parcellaire de 2006-2007, les résultats plus contrastés sont le reflet de la plus grande diversité culturelle. Il est donc difficile d'incriminer un type d'occupation du sol en particulier. Ainsi, les cartes de bilan infiltration/ruissellement montrent que l'on surestime énormément le ruissellement pour les fèves/féverolles et les céréales pour la pluie de janvier, alors qu'il est fortement sous-estimé pour les mêmes cultures et les pois chiches au mois de décembre.

Au niveau de micro-bassin versant, nous avons constaté pour les simulations effectuées sur le parcellaire de 2005-2006 que nous sous-estimons le ruissellement pour les pluies du 08/01/2006 et du 30/01/2006. Là encore, une trop forte infiltration affectée aux céréales et/ou aux fèves/féverolles peut expliquer ces résultats. En effet, la figure 47 montre que pour la pluie du 08/01/2006, plus de la moitié du micro-bassin versant est affectée d'une capacité d'infiltration de 25 mm/h (le maximum simulé dans ce cas étant de 30 mm/h). Cette valeur fixée à 25 mm/h à partir de l'expertise faite sur Roujan est sans doute trop élevée dans le cas de Kamech.

### Capacité d'infiltration pour la pluie du 08/01/2006

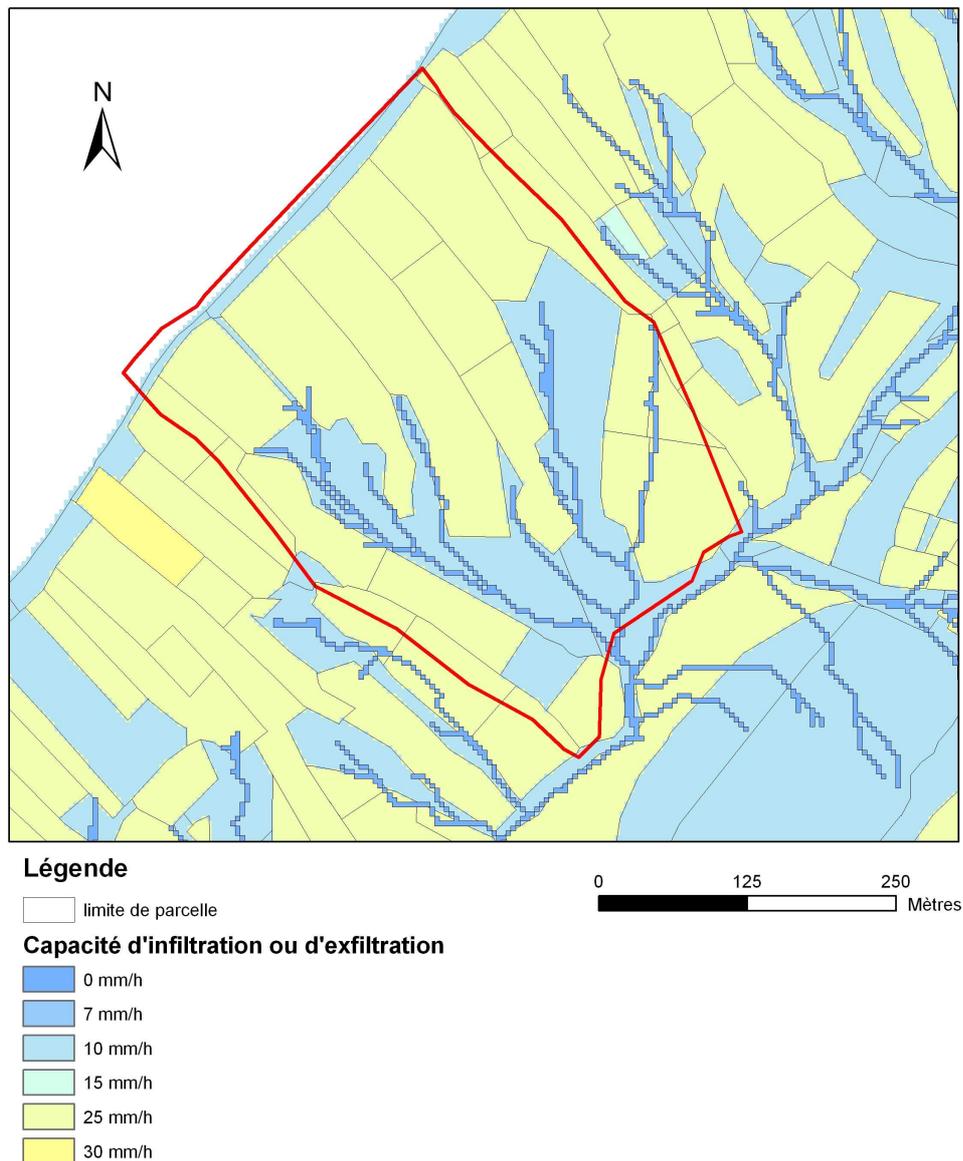


Fig.47 : Capacité d'infiltration pour la pluie du 08/01/2006 sur le micro-bassin versant.

Pour les simulations effectuées avec le parcellaire de 2006-2007, les cartes STREAM sont similaires pour les pluies où l'on sous-estimait le ruissellement.

- Conclusion des simulations sur Kamech

Sur l'ensemble des simulations effectuées, on peut dire que les résultats sont assez décevants. Il faut néanmoins rappeler qu'aucune calibration du modèle avec un premier jeu de donnée et qu'aucun test d'infiltration (simulation de pluie comme sur Roujan) n'a été effectué avant de lancer ces simulations. Il est important de rappeler également que, faute de mesures terrain adaptées au paramétrage de STREAM, il a été choisi de le paramétrer de la même façon que pour Roujan. En effet, nous n'avons pas de données de capacité d'infiltration mesurées sur Kamech. Cela entraîne donc une approximation importante de ces capacités qui peut expliquer les fortes sur- ou sous-estimations de volumes ruisselés.

A partir de mauvaises estimations du ruissellement, il était ensuite impossible d'avoir de bonnes estimations des masses de terre érodées. Ce biais est ensuite accentué par une mauvaise paramétrisation de l'érosion, qui a également été faite à partir des valeurs de Roujan.

Les résultats obtenus peuvent cependant nous aider à mieux calibrer le modèle pour de futures simulations. En effet, nous avons déjà mis en avant des capacités d'infiltrations qui semblaient sur- ou sous-estimées pour certains mois de l'année (en particulier pour les céréales, fèves/féverolles et pois chiches). En ce qui concerne l'érosion, des ajustements seront aussi nécessaires (notamment concernant la charge solide potentielle affectée aux cultures citées précédemment) puisqu'une bonne estimation du ruissellement n'aboutit pas forcément à une bonne estimation de la perte en terre.

#### **d. Scénarios de changement de pratique culturale**

Pour le bassin versant de Kamech, nous avons défini deux scénarios différents.

Pour le premier, nous avons choisi d'augmenter de 30 % les parcelles cultivées avec le postulat que les conditions climatiques futures permettraient de l'intensifier, afin de garantir une production suffisante face à une demande toujours croissante. Etant donné la forte prédominance des céréales sur Kamech, il a été choisi que les nouvelles parcelles seraient cultivées uniquement avec des céréales, au dépend des zones de parcours.

Le second scénario est le scénario inverse. Dans l'optique d'un réchauffement climatique qui limiterait les apports d'eau et limiterait l'irrigation, il a été décidé de diminuer la surface occupée par des céréales de 30 % (ces parcelles sont laissées en parcours). Le faible nombre de cultures irriguées présent sur Kamech passe aussi en parcours.

Les comparaisons se feront comme pour Roujan entre les résultats obtenus à l'exutoire du bassin versant avec l'occupation du sol initiale et les nouvelles occupations du sol.

- Résultats des simulations avec l'occupation du sol avec 30 % de céréales en plus

Nous pouvons tout d'abord remarquer que l'augmentation de la surface cultivée avec des céréales a pour effet de diminuer le ruissellement (fig.48). Cette diminution est en moyenne de 30% pour les mois de janvier et décembre. Pour les mois de mars et septembre, il n'y a pratiquement pas de différence. Cela est dû à des états de surface similaires entre les céréales et les parcours pour ces deux mois.

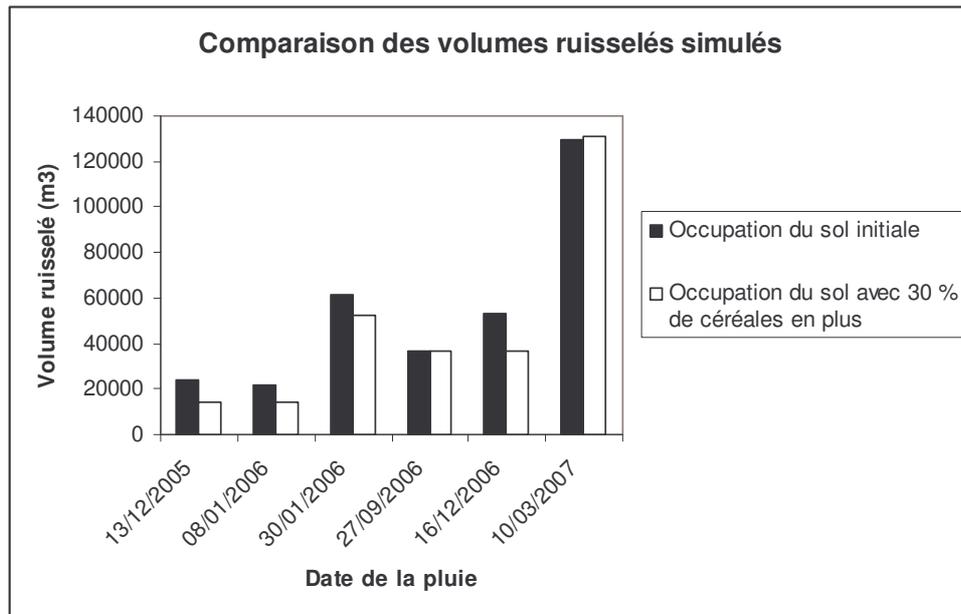


Fig.48 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en plus

La figure 49 montre que les résultats concernant la masse de terre érodée sont similaires.

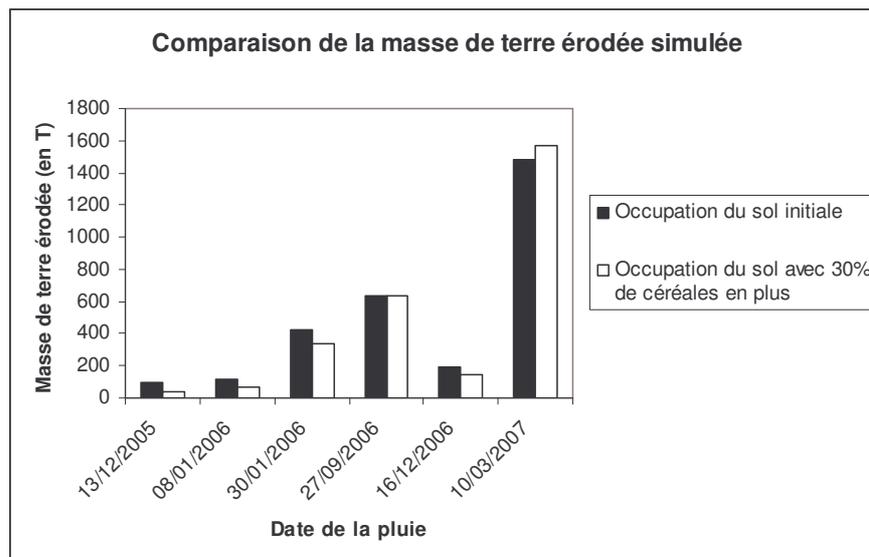


Fig.49 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en plus

La diminution moyenne observée pour les mois de janvier et décembre est de 37% alors que l'augmentation pour le mois de mars est de seulement 5%.

- Résultats des simulations avec l'occupation du sol avec 30 % de céréales en moins

Avec cette configuration, nous obtenons des résultats inverses, tant au niveau du ruissellement que de l'érosion (fig.50 et 51). Cette fois la tendance est à l'augmentation avec des taux plutôt faibles, comparables au cas précédent.

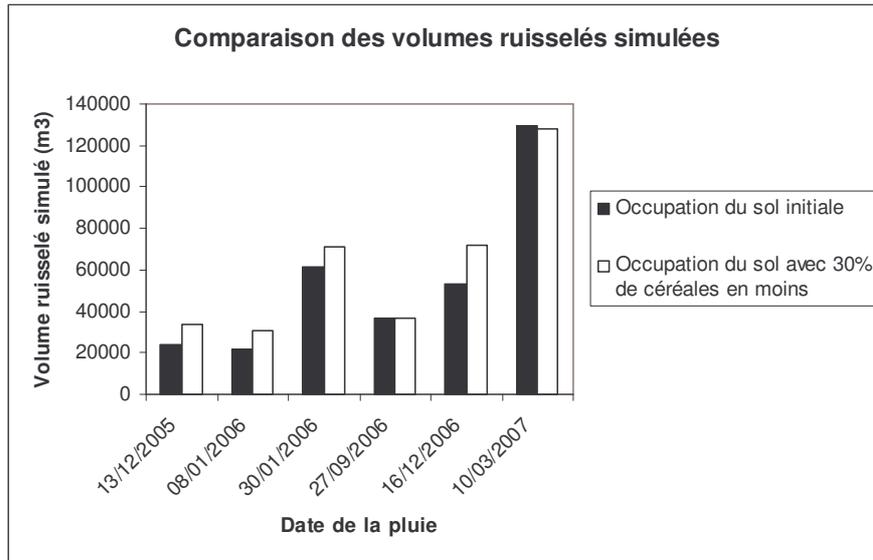


Fig.50 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en moins

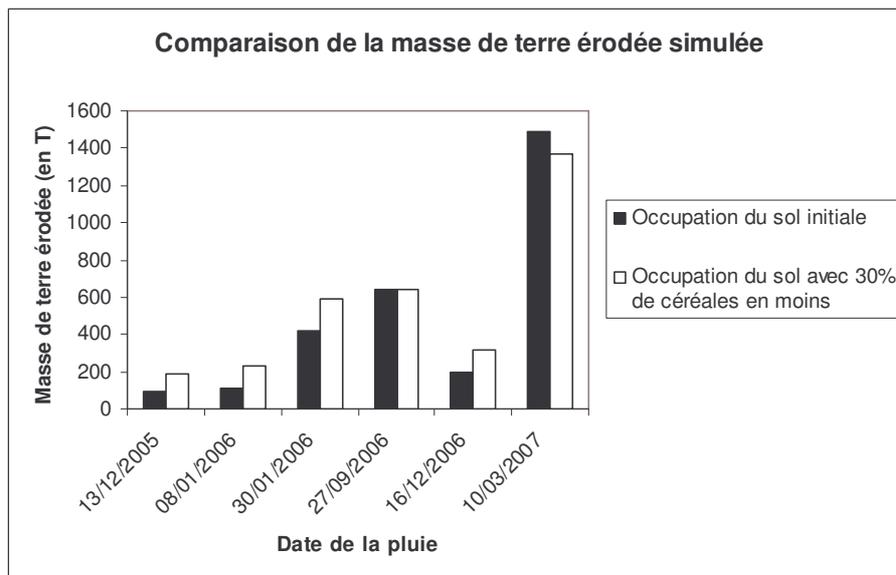


Fig.51 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en moins

Au vue de cela, nous pouvons dire que l'augmentation ou la diminution de la culture des céréales n'entraîne pas de changement significatif à l'échelle du bassin versant de Kamech. Cela est appuyé par le fait que les mois de janvier et décembre font partie des mois les plus contrastés en termes d'états de surface entre les céréales et les parcours.

## CONCLUSION

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, ce travail est une participation à un projet A.N.R dont le but est une meilleure compréhension des impacts potentiels du changement climatique global sur l'érosion des sols en contexte méditerranéen.

Nous allons voir dans quelle mesure les simulations effectuées peuvent être exploitées et les différentes perspectives qu'elles amènent.

### Conclusion sur les simulations :

Tout d'abord, le travail réalisé a permis d'effectuer plusieurs séries de simulations sur les deux bassins versants. Si les résultats obtenus du point de vue du ruissellement ou de l'érosion sont plutôt décevants, ils sont en adéquation avec ce que l'on peut espérer avoir avec ce genre de simulations. De plus, il convient de rappeler qu'aucune calibration n'a été effectuée pour aucun des deux sites d'études et pour Kamech, la paramétrisation utilisée est la même que pour Roujan.

L'utilisation du calendrier pour déterminer les états de surface des différentes occupations du sol peuvent également entraîner des erreurs. En effet, les états de surface du calendrier ne correspondent pas forcément à ceux réellement présent sur le terrain à une date donnée.

Outre ces biais, les modélisations effectuées ont permis de constater que sur les deux bassins versant d'étude, l'utilisation de la pluie antécédente à 48 heures (P48) ou à 5 jours (IPA5) ne donnait pas de résultats significativement différents, ce critère est donc beaucoup moins pertinent en contexte méditerranéen par rapport à l'aire géographique pour laquelle STREAM a été initialement conçu et paramétré, la ceinture loessique d'Europe de l'ouest.

En contexte méditerranéen, l'intensité moyenne des pluies est un facteur particulièrement important pour l'érosion (Neboit, 1984). Ce paramètre est intégré dans STREAM par la notion de durée efficace. Or, aucune mesure n'est disponible pour ce facteur pour nos bassins versants. Pour les contextes méditerranéens, le modèle gagnerait fortement en fiabilité par un investissement de la définition de la pluie efficace pour chaque bassin versant étudié.

Sur Roujan, les simulations ont montrées que l'utilisation de la durée efficace à 5 mm/h était finalement la plus adaptée à notre cas d'étude, malgré une forte surestimation des volumes ruisselés à l'exutoire.

Nous avons vu que ces résultats étaient principalement dus à une mauvaise paramétrisation de l'infiltration des vignes (ou plantier) traitées mécaniquement (tendance à la sous-estimation de la capacité d'infiltration). Le fait qu'elles soient largement prédominantes sur l'ensemble du bassin versant maximise les erreurs sur les simulations.

D'un point de vue de l'érosion, les simulations ont montrées que les paramétrisations concernant les trois types de vignes devaient être revues également.

Les scénarios effectués sur Roujan ont montrés l'importance du type de pratique culturale sur les vignes. En effet, les vignes traitées chimiquement amplifient énormément le ruissellement, et donc l'érosion. Au contraire, les vignes enherbées semblent fortement limiter le volume d'eau ruisselé, et constitue donc une solution efficace pour restreindre l'érosion sur un bassin versant de ce type.

Sur Kamech, les simulations réalisées ont montrées des résultats corrects pour le micro-bassin versant. Il semble donc que malgré une paramétrisation approximative, les erreurs d'estimations de flux diminuent lorsque l'on augmente la taille de la zone de validation.

Les cartes de flux ont permises de mettre en évidence une mauvaise paramétrisation de la capacité d'infiltration pour les céréales et les fèves/féverolles principalement.

Les résultats pour l'érosion n'étant pas satisfaisant, un ajustement des charges solides potentielles pour ces cultures est également nécessaire.

Les scénarios réalisés sur Kamech montrent qu'une augmentation ou une diminution de l'ordre de 30% des céréales sur l'ensemble du bassin versant, ne semble pas avoir d'effet important sur le ruissellement et l'érosion. Cela vient du fait que la différence des états de surface au cours de l'année entre les céréales et les parcours est limitée.

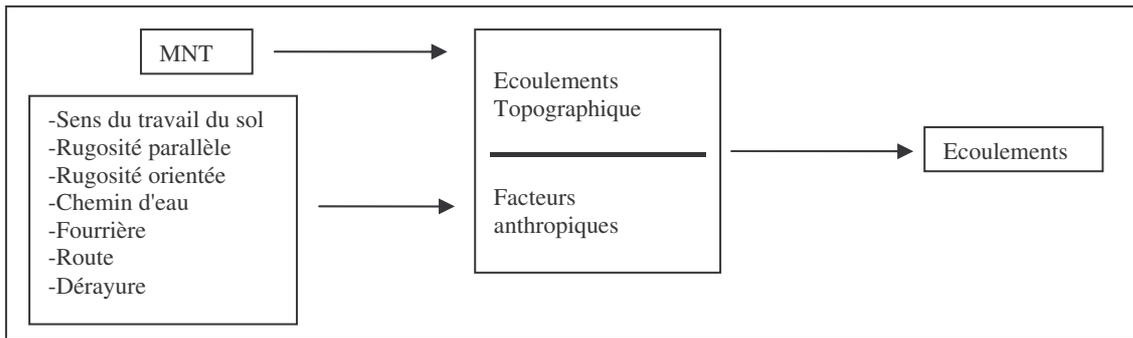
### **Poursuite de l'étude :**

Les résultats obtenus en ce qui concerne les prédictions sur Roujan et Kamech ne sont en l'état pas suffisants pour répondre aux attentes fixées par les objectifs du projet. Nous avons toutefois réussi à identifier certains paramètres qui pourraient être ajusté afin d'obtenir de meilleures estimations.

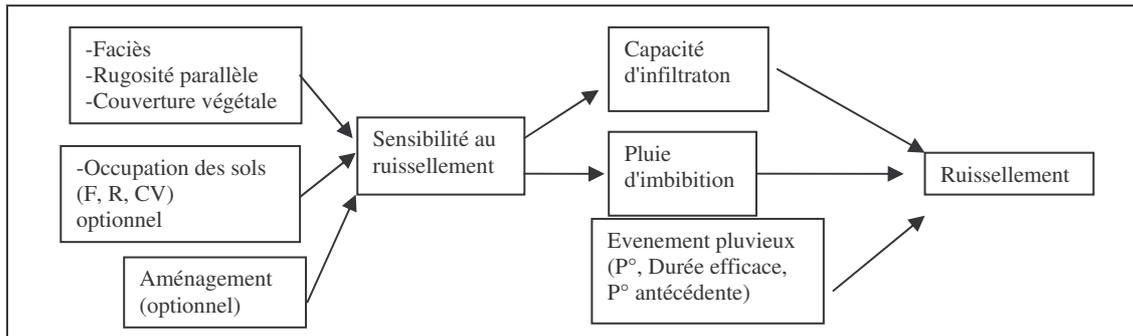
Ainsi, pour Roujan et Kamech, il serait intéressant de refaire ces simulations après avoir ajusté les capacités d'infiltration sur les occupations du sol précédemment citées. Une fois ces paramètres mieux définis, il serait enfin utile de réajuster la paramétrisation de STREAM concernant l'érosion (charge solide potentielle et sensibilité à l'incision) afin d'obtenir de meilleures estimations de masses de terres érodées.

Si les résultats obtenus sont assez satisfaisant, on pourra alors ajuster les autres types d'occupations du sol afin de se rapprocher des mesures terrain. Sur Roujan, il serait également intéressant de préciser l'influence des fossés sur les transferts de flux. En effet, comme nous l'avons vue, leur capacité d'infiltration calibrée à 50 mm/h (expertise d'Yves Le Bissonnais INRA-LISAH) permet d'infiltrer de grandes quantités d'eau. Ils ont donc un rôle majeur sur les volumes simulés, notamment à l'exutoire.

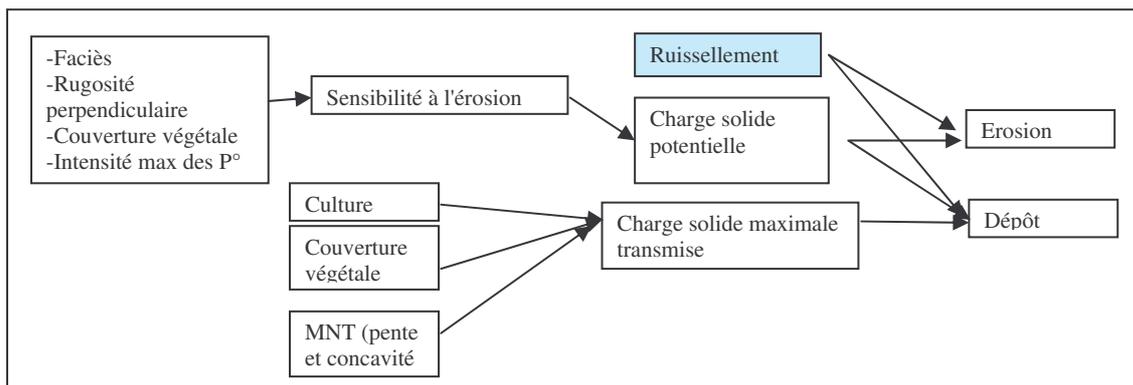
# ANNEXES



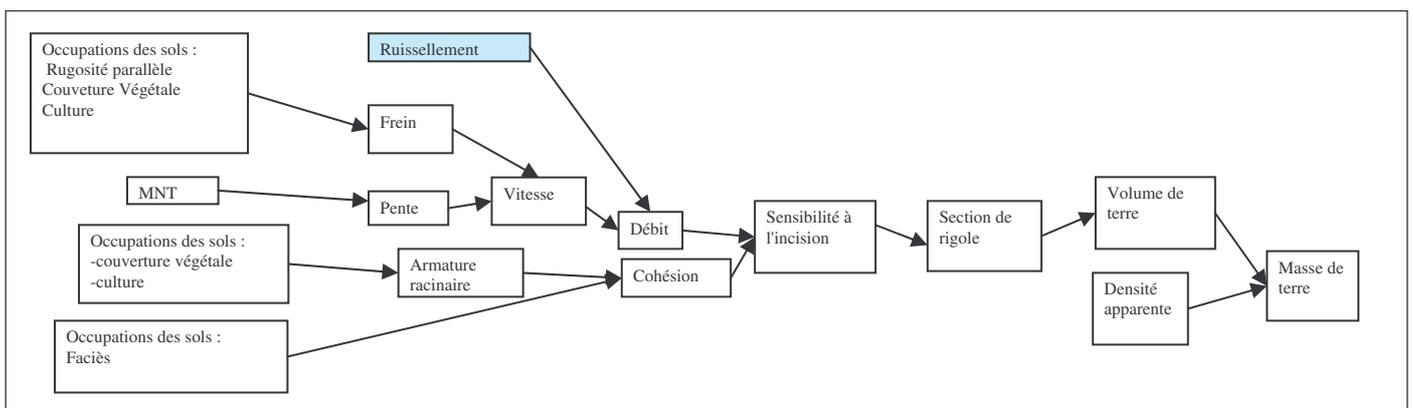
Module d'écoulement



Module de ruissellement



Module d'érosion diffuse



Module d'érosion linéaire

Annex1 : Schéma de fonctionnement des différents modules de STREAM

		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Humidité initiale	humide												
	frais												
	sec												
Couverture Végétale													
Vigne - Global (entretien non précisé)													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Vigne - Désherbage chimique total=env 20% des vignes													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Vigne - Désherbage mécanique=env60% des vignes													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Vigne - Enherbement (tot ou partiel)=env20%des vignes													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Forêt, garrigue, friches													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Terres arables													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Urbanisé													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												
Plantier													
	0-20%												
	21-60%												
	61-100%												

Couverture végétale

		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Rugosité													
Vigne - Global													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												
Vigne - Désherbage chimique													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												
Vigne - Désherbage mécanique													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												
Vigne - Enherbement													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												
Forêt, garrigue, friches													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												
Terres arables													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												
Urbanisé													
	0-1 cm												
	1-2 cm												
	2-5 cm												
	5-10 cm												
	10-15 cm												
	>15 cm												

Rugosité

		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Développement des croûtes													
Vigne - Global													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												
Vigne - Désherbage chimique													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												
Vigne - Désherbage mécanique													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												
Vigne - Enherbement													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												
Forêt, garrigue, friches													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												
Terres arables													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												
Urbanisé													
	F0												
	F11												
	F12												
	F2												

Faciès

Annexe 2 : Calendrier des états de surface de Roujan

### Janvier

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	12	1	1	2
2	vigne désherbage chimique	12	1	1	2
3	vigne désherbage mécanique	12	1	1	2
4	vigne enherbement	1	2	2	3
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	1	3	3	1
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	12	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	12	1	1	1
10	plantier enherbement	1	2	2	2

### Février

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	12	1	1	2
2	vigne désherbage chimique	12	1	1	2
3	vigne désherbage mécanique	12	1	1	2
4	vigne enherbement	1	2	2	3
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	12	2	2	1
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	12	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	12	1	1	1
10	plantier enherbement	1	2	2	2

### Mars

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	1	2	2	1
2	vigne désherbage chimique	12	1	1	2
3	vigne désherbage mécanique	0	3	3	1
4	vigne enherbement	1	2	2	2
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	12	2	2	2
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	12	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	0	3	3	1
10	plantier enherbement	1	2	2	1

### Mai

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	1	2	2	1
2	vigne désherbage chimique	2	1	1	1
3	vigne désherbage mécanique	0	3	3	1
4	vigne enherbement	1	2	2	2
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	12	2	2	3
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	2	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	0	3	3	1
10	plantier enherbement	1	2	2	1

### Juin

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	1	2	2	1
2	vigne désherbage chimique	2	1	1	1
3	vigne désherbage mécanique	1	2	2	1
4	vigne enherbement	1	2	2	3
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	12	2	2	3
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	2	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	1	2	2	1
10	plantier enherbement	1	2	2	2

### Septembre

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	1	2	2	1
2	vigne désherbage chimique	12	1	1	1
3	vigne désherbage mécanique	1	2	2	1
4	vigne enherbement	1	2	2	3
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	0	3	3	2
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	12	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	1	2	2	1
10	plantier enherbement	1	2	2	2

### Octobre

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	1	2	2	2
2	vigne désherbage chimique	12	1	1	2
3	vigne désherbage mécanique	1	2	2	2
4	vigne enherbement	1	2	2	3
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	0	4	4	1
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	12	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	1	2	2	1
10	plantier enherbement	1	2	2	2

### Novembre

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	vigne global	12	1	1	2
2	vigne désherbage chimique	12	1	1	2
3	vigne désherbage mécanique	12	1	1	2
4	vigne enherbement	1	2	2	3
5	forêt, garrigue, friches	1	3	3	3
6	terres arables	1	3	3	1
7	urbanisé	-1	-1	-1	-1
8	plantier désherbage chimique	12	1	1	1
9	plantier désherbage mécanique	12	1	1	1
10	plantier enherbement	1	2	2	2

Annexe 3 : Etats de surface en fonction du mois simulé pour les différentes occupations du sol sur Roujan

Sensibilité de la surface au ruissellement		Capacité d'in(ex)filtration (mm/h)			Pluie d'imbibition	
RUGOSITE PARALLELE	COUVERT VEGETAL	FACIES non relev	FACIES F0 - stade	FACIES F1 - 1er	FACIES F12 - 2è	FACIES F2 - stac
non relevé (-1)	non relevé (-1)	-1	2	3	4	5
	< 20 % (1)	2	2	3	4	5
	21 - 60 % (2)	2	2	3	4	5
	> 60 % (3)	1	1	2	3	4
0 - 1 cm (0)	non relevé (-1)	4	2	3	4	5
	< 20 % (1)	4	2	3	4	5
	21 - 60 % (2)	3	2	3	4	5
	> 60 % (3)	2	0	1	2	3
1 - 2 cm (1)	non relevé (-1)	3	2	3	4	5
	< 20 % (1)	3	2	3	4	5
	21 - 60 % (2)	2	2	3	4	5
	> 60 % (3)	1	0	1	2	2
2 - 5 cm (2)	non relevé (-1)	2	0	1	3	4
	< 20 % (1)	2	0	1	3	4
	21 - 60 % (2)	2	0	1	2	4
	> 60 % (3)	1	0	1	2	4
5 - 10 cm (3)	non relevé (-1)	1	0	1	2	4
	< 20 % (1)	1	0	1	2	4
	21 - 60 % (2)	1	0	1	2	3
	> 60 % (3)	0	0	1	2	3
10 - 15 cm (4)	non relevé (-1)	0	0	1	2	3
	< 20 % (1)	0	0	1	2	3
	21 - 60 % (2)	0	0	1	2	3
	> 60 % (3)	0	0	1	2	2
> 15 cm (5)	non relevé (-1)	0	0	1	1	2
	< 20 % (1)	0	0	1	1	2
	21 - 60 % (2)	0	0	1	1	2
	> 60 % (3)	0	0	0	0	1

Sensibilité de la surface au ruissellement pour Roujan

Sensibilité de la surface au ruissellement		Capacité d'in(ex)filtration (mm/h)	Pluie d'imbibition (mm)
CLASSE DE SENSIBILITE	CAPACITE D'INFILTRATION		
-1	0		
0	30		
1	25		
2	20		
3	15		
4	10		
5	7		

Capacité d'infiltration (en mm/h)

Sensibilité de la surface au ruissellement		Capacité d'in(ex)filtration (mm/h)				Pluie d'imbibition (mm)
CLASSE DE SENSIBILITE	P48					
	0 mm	0 à 15 mm	16 à 40 mm	> 40 mm		
-1	0	0	0	0		
0	20	15	12	8		
1	15	12	8	5		
2	12	8	5	5		
3	8	5	2	2		
4	5	2	2	1		
5	5	2	2	1		

Pluie d'imbibition (en mm)

#### Annexe 4 : Tableaux « ruissellement de STREAM

Sensibilité de la surface		Charge solide potentielle (g/l)		Charge solide maximale transmise (g/l)			
RUGOSITE PERPENDICULAIRE	COUVERT VEGETAL	INT. MAX. PLUIE	FACIES non rel.	FACIES F0 - sta	FACIES F1 - 1er	FACIES F12 -	FACIES F2 - sl
non relevé (-1)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	-1
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
0 - 1 cm (0)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	3	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	4	4	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	2	2	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	3	3	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	0	0	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	0	1	1	
		> 40 mm/h (3)	-1	1	2	2	
1 - 2 cm (1)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	3	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	4	4	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	2	2	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	3	3	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	0	0	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	0	1	1	
		> 40 mm/h (3)	-1	1	2	2	
2 - 5 cm (2)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	1	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	2	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	4	5	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	2	2	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	3	3	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	0	0	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	0	1	1	
		> 40 mm/h (3)	-1	1	2	2	
5 - 10 cm (3)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	2	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	3	4	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	4	5	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	2	2	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	3	3	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	0	1	1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	1	2	2	
		> 40 mm/h (3)	-1	2	3	3	
10 - 15 cm (4)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	2	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	3	4	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	4	5	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	2	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	3	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	4	4	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	1	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	2	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	3	3	
> 15 cm (5)	non relevé (-1)	0 à 10 mm/h (1)	-1	-1	-1	-1	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	-1	-1	-1	
		> 40 mm/h (3)	-1	-1	-1	-1	
< 20 % (1)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	2	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	3	4	
		> 40 mm/h (3)	-1	4	4	5	
21 - 60 % (2)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	2	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	3	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	4	4	
> 60 % (3)		0 à 10 mm/h (1)	-1	1	2	2	
		10 à 40 mm/h (2)	-1	2	2	3	
		> 40 mm/h (3)	-1	3	3	3	

Sensibilité de la surface à l'érosion

Sensibilité de la surface		Charge solide potentielle (g/l)		Charge solide maximale transmise (g/l)	
CLASSE DE SENSIBILITE		CHARGE SOLIDE			
-1	non relevé	0			
0	< 20 %	1			
1	21 - 60 %	2			
2	> 60 %	5			
3		10			
4		20			
5		40			

Charge solide potentielle

Sensibilité de la surface		Charge solide potentielle (g/l)		Charge solide maximale transmise (g/l)	
CODE	CULTURE	CHARGE SOLIDE			
-1	non relevé	-1			
7	forêt et garrigue	5			
CODE	COUVERT VEGETAL	CHARGE SOLIDE			
-1	non relevé	-1			
1	< 20 %	-1			
2	21 - 60 %	-1			
3	> 60 %	10			
PENTE en % < à	CONCAVITE VERTICALE DANS LE SENS DE LA PENTE < à	CHARGE SOLIDE			
2	-0.055	10			

Charge maximale transmise

Annexe 5 : Tableaux « érosion diffuse de STREAM

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente	Section rigole	Sol
CODE	CULTURE	COUVERT VEGE non relevé (-1)	COUVERT VE < 20 % (1)	COUVERT VE 1 - 60 % (2)	COUVERT VE > 60 %		
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1		
1	vigne global	-1	1	2	3		
2	vigne désherbage chimique	-1	1	2	3		
3	vigne désherbage mécanique	-1	1	2	3		
4	vigne enherbement	-1	2	3	5		
5	forêt, garrigue, friches	-1	2	3	5		
6	terres arables	-1	1	3	4		
7	urbanisé	-1	2	3	4		
8	plantier désherbage chimique	-1	1	2	3		
9	plantier désherbage mécanique	-1	1	2	3		
10	plantier enherbement	-1	2	3	5		
11	Code d'occupation du sol invalide	-1	-1	-1	-1		
12	Code d'occupation du sol invalide	-1	-1	-1	-1		
13	Code d'occupation du sol invalide	-1	-1	-1	-1		

Couverture du sol

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente	Section rigole	Sol
CS	non relevé (-1)	RUGOSITE PAI 0 - 1 cm (0)	RUGOSITE F 1 - 2 cm (1)	RUGOSITE F 2 - 5 cm (2)	RUGOSITE P 5 - 10 cm (3)	RUGOSIT 15 cm (4)	RUGOSITE F > 15 cm (5)
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	-1	5	5	4	3	2	2
2	-1	5	4	3	2	1	1
3	-1	4	3	2	1	1	1
4	-1	3	2	1	1	1	1
5	-1	2	1	1	1	1	1

Frein

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente	Section rigole	Sol
CODE	CULTURE	COUVERT VEGE non relevé (-1)	COUVERT VE < 20 % (1)	COUVERT VE 1 - 60 % (2)	COUVERT VE > 60 % (3)		
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1		
1	vigne global	-1	1	2	3		
2	vigne désherbage chimique	-1	1	1	2		
3	vigne désherbage mécanique	-1	1	1	2		
4	vigne enherbement	-1	1	2	3		
5	forêt, garrigue, friches	-1	1	2	3		
6	terres arables	-1	1	2	3		
7	urbanisé	-1	1	2	3		
8	plantier désherbage chimique	-1	1	1	2		
9	plantier désherbage mécanique	-1	1	1	2		
10	plantier enherbement	-1	1	2	3		

Armature racinaire

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente
AR	FACIES non relevé (-1)	FACIES F0 - stade fra	FACIES F1 - 1er stade	FACIES F12 - 2ème sta	FACIES F2 - stade :
-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	-1	5	5	4	3
2	-1	5	4	3	2
3	-1	4	3	3	2
4	-1	4	3	2	1
5	-1	3	2	1	1

Cohésion

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente
CLASSE	PENTE	BORNE SUPERIEURE DE LA CLASSE			
1	0% à 4%	4			
2	4% à 8%	8			
3	8% à 12%	12			
4	> 12%	999			

Effet pente

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente	Section rigole	Sol
	SENSIBILITE A L'INCISION	BORNE SUPERIEURE DE LA CLASSE	SECTION AFFECTEE				
	0 à 2000	2000	0				
	2000 à 13000	13000	0.035				
	13000 à 57000	57000	0.1505				
	57000 à 100000	100000	0.25				
	100000 à 250000	250000	0.5				
	> 250000	99999999999	0.9				

Section de la rigole

(C)ouverture du (S)ol		Frein	(A)rmeture (R)acinaire	Cohésion	Effet pente	Section rigole	Sol
UNITE	DENSITE DE LA TERRE ARRACHEE DANS LA RIGOLE						
1	1.3						

Densité de la terre arrachée à la rigole

Annexe 6 : Tableaux STREAM pour l'érosion linéaire sur Roujan

		septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	
Humidité	Humide													
	Frais													
	Sec													
Céréales	Couverture du sol	0-20%												
		21-60%												
		61-100%												
	Hauteur	0-20 cm												
		21-40 cm												
		41-60 cm												
		61-80 cm												
		81-100 cm												
	Rugosité	0-2 cm	1	1					2	2	2	2	1	1
		2-5 cm					3	3						
5-20 cm				6	6									
> 20cm														
Croûte	moiteux													
	un peu													
	beaucoup													
	total													

		septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	
Humidité	Humide													
	Frais													
	Sec													
Jachère	Couverture du sol	0-20%												
		21-60%												
		61-100%												
	Hauteur	0-20 cm												
		21-40 cm												
		41-60 cm												
		61-80 cm												
		81-100 cm												
	Rugosité	0-2 cm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2-5 cm												
5-20 cm														
> 20cm														
Croûte	moiteux													
	un peu													
	beaucoup													
	total													

La rugosité a été reclassée par Damien Raclot pour correspondre aux classes de STREAM :

- 1 = [0-1]
- 2 = [1-2]
- 3 = [2-5]
- 4 = [5-10]
- 5 = [10-15]
- 6 = [>15 cm]

Annexe 7 : Calendrier de Kamech

## Janvier

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	1	2	2	2
2	fève/féverolle	1	2	2	1
3	pois chiches	0	5	5	1
4	cultures irriguées	1	0	0	1
5	jachères	12	0	0	2
6	parcours	12	0	0	2
7	forêt et garrigue	12	0	0	2
8	arboriculture	0	4	4	2
9	vigne	2	0	0	1
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	1	-1	2	2
15	fève/féverolles sur vertisols	1	-1	2	1
16	pois chiches sur vertisols	0	-1	5	1
17	jachères sur vertisols	12	-1	0	2
18	parcours vertisols	12	-1	0	2

## Mars

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	1	1	1	2
2	fève/féverolle	12	1	1	2
3	pois chiches	1	2	2	1
4	cultures irriguées	1	0	0	1
5	jachères	12	0	0	3
6	parcours	12	0	0	3
7	forêt et garrigue	12	0	0	3
8	arboriculture	1	2	2	3
9	vigne	0	3	3	1
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	1	-1	1	2
15	fève/féverolles sur vertisols	12	-1	1	2
16	pois chiches sur vertisols	1	-1	2	1
17	jachères sur vertisols	12	-1	0	3
18	parcours vertisols	12	-1	0	3

## Avril

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	12	1	1	3
2	fève/féverolle	12	1	1	2
3	pois chiches	12	1	1	1
4	cultures irriguées	0	2	2	2
5	jachères	2	0	0	3
6	parcours	2	0	0	2
7	forêt et garrigue	2	0	0	3
8	arboriculture	12	2	2	3
9	vigne	12	2	2	2
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	12	-1	1	3
15	fève/féverolle sur vertisols	12	-1	1	2
16	pois chiches sur vertisols	12	-1	1	1
17	jachères sur vertisols	2	-1	0	3
18	parcours sur vertisols	2	-1	0	2

## Septembre

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	2	0	0	1
2	fève/féverolle	12	0	0	1
3	pois chiches	1	2	2	1
4	cultures irriguées	1	0	0	1
5	jachères	2	0	0	1
6	parcours	2	0	0	1
7	forêt et garrigue	2	0	0	2
8	arboriculture	12	0	0	2
9	vigne	2	0	0	2
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	2	-1	0	1
15	fève/féverolle sur vertisols	12	-1	0	1
16	pois chiches sur vertisols	1	-1	2	1
17	jachères sur vertisols	2	-1	0	1
18	parcours sur vertisols	2	-1	0	1

## Décembre

CODE	CULTURE	FACIES	RUGOT	RUGOPT	CV
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	0	5	5	1
2	fève/féverolle	0	4	4	1
3	pois chiches	0	5	5	1
4	cultures irriguées	1	0	0	1
5	jachères	2	0	0	2
6	parcours	2	0	0	2
7	forêt et garrigue	2	0	0	2
8	arboriculture	0	5	5	2
9	vigne	2	0	0	1
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	0	-1	5	1
15	fève/féverolles sur vertisols	0	-1	4	1
16	pois chiches sur vertisols	0	-1	5	1
17	jachères sur vertisols	2	-1	0	2
18	parcours vertisols	2	-1	0	2

Annexe 8 : Etats de surface pour chaque mois pour chaque occupation du sol sur Kamech

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente   Section rigole   Sol					
CODE	CULTURE	COUVERT VEGETAL non relevé (-1)	COUVERT V1 < 20 % (1)	COUVERT V2 1 - 60 % (2)	COUVERT V3 > 60 % (3)
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	-1	2	3	4
2	fève/féverolle	-1	2	3	4
3	pois chiches	-1	2	3	4
4	cultures irriguées	-1	1	2	3
5	jachères	-1	2	3	5
6	parcours	-1	1	3	4
7	forêt et garrigue	-1	2	3	5
8	arboriculture	-1	1	2	3
9	vigne	-1	1	2	3
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	-1	2	3	4
15	fève/féverolle sur vertisols	-1	2	3	4
16	pois chiches sur vertisols	-1	2	3	4
17	jachères sur vertisols	-1	2	3	5
18	parcours sur vertisols	-1	1	3	4

Couverture du sol

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente   Section rigole   Sol							
CS	non relevé (-1)	RUGOSITE PAI 0 - 1 cm (0)	RUGOSITE F 1 - 2 cm (1)	RUGOSITE F 2 - 5 cm (2)	RUGOSITE P 5 - 10 cm (3)	RUGOSIT 15 cm (4)	RUGOSITE F > 15 cm (5)
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	-1	5	5	4	3	2	2
2	-1	5	4	3	2	1	1
3	-1	4	3	2	1	1	1
4	-1	3	2	1	1	1	1
5	-1	2	1	1	1	1	1

Frein

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente   Section rigole   Sol					
CODE	CULTURE	COUVERT VEGE non relevé (-1)	COUVERT V1 < 20 % (1)	COUVERT V2 1 - 60 % (2)	COUVERT V3 > 60 % (3)
-1	non relevé	-1	-1	-1	-1
1	céréales	-1	1	2	3
2	fève/féverolle	-1	1	2	3
3	pois chiches	-1	1	2	3
4	cultures irriguées	-1	1	1	2
5	jachères	-1	1	2	3
6	parcours	-1	1	2	3
7	forêt et garrigue	-1	1	2	3
8	arboriculture	-1	1	1	2
9	vigne	-1	1	2	3
10	maison	-1	-1	-1	-1
11	route	-1	-1	-1	-1
12	lac	-1	-1	-1	-1
13	ravines	-1	-1	-1	-1
14	céréales sur vertisols	-1	1	2	3
15	fève/féverolle sur vertisols	-1	1	2	3
16	pois chiches sur vertisols	-1	1	2	3
17	jachères sur vertisols	-1	1	2	3
18	parcours sur vertisols	-1	1	2	3
19	Code d'attribution du sol invalide	-1	2	4	5

Armature racinaire

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente					
AR	FACIES non relevé (-1)	FACIES F0 - stade fra	FACIES F1 - 1er stade	FACIES F12 - 2ème sta	FACIES F2 - stade :
-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	-1	5	5	4	3
2	-1	5	4	3	2
3	-1	4	3	3	2
4	-1	4	3	2	1
5	-1	3	2	1	1

Cohésion

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente   Section rigole   Sol			
CLASSE	PENTE	BORNE SUPERIEURE DE LA CLASSE	
1	0% à 4%	4	
2	4% à 8%	8	
3	8% à 12%	12	
4	> 12%	999	

Effet pente

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente   Section rigole   Sol			
SENSIBILITE A L'INCISION	BORNE SUPERIEURE DE LA CLASSE	SECTION AFFECTEE	
0 à 2000	2000	0	
2000 à 13000	13000	0.035	
13000 à 57000	57000	0.1505	
57000 à 100000	100000	0.25	
100000 à 250000	250000	0.5	
> 250000	999999999999	0.9	

Section rigole

(C)ouverture du (S)ol   Frein   (A)rmeture (R)acinaire   Cohésion   Effet pente   Section rigole   Sol			
(le sol étant considéré comme homogène sur l'ensemble du secteur d'étude à modéliser dans cette version de STREAM, une unique valeur de densité est utilisée lors du calcul de la masse de terre arrachée dans toutes les rigoles)			
UNITE	DENSITE DE LA TERRE ARRACHEE DANS LA RIGOLE		
1	1.4		

Densité de la terre arrachée à la rigole

Annexe 9 : Tableaux d'érosion linéaire pour Kamech

Date de la pluie	Hauteur (mm)	Imax (mm/h)	P48(mm)	IPA5 (mm)	Durée efficace -5 mm/h (heure)	Ruissellement (m3)	Erosion Diffuse (T)	Erosion Linéaire(T)	ED+EL (T)
18/10/05	45.57	24.59		52.54	2.63	1112.46	0.99	0.63	1.634
12/11/05	88.26	37.44		2.96	4.6	17691.22	94.53	166.01	260.54
15/01/06	19.78	10.56		0.36	0.83	4337.08	7.65	14.36	22.026
13/09/06	38.72	58.5		0	2.03	906.42	3.69	0.63	4.33
11/10/06	34.38	147.9		0	0.63	5369.66	35.53	18.74	54.28
18/10/06	21.18	18.72		0	2.05	185.46	0	0	0
17/02/07	46.34	11.28		2.04	1.93	12841	25.78	99.42	125.20
31/03/07	23.12	13.68		0	1.23	408.97	0.23	0	0.235
03/05/07	33.10	8.69		16.76	0.68	6698.01	9.96	26.64	36.61
06/06/07	27.20	64.32		0	0.78	1712.15	14.66	5.36	20.03
10/06/07	31.90	48.96		19.88	1.5	1420.55	8.26	5.46	13.728

18/10/05	45.57	24.59	6.75		2.63	1049.98	0.89	0.63	1.536
12/11/05	88.26	37.44	0		4.6	16249.74	86.03	146.74	232.78
15/01/06	19.78	10.56	0		0.83	2918.59	4.87	7.18	12.05
13/09/06	38.72	58.5	0		2.03	906.42	3.69	0.63	4.33
11/10/06	34.38	147.9	0		0.63	5369.66	35.53	18.74	54.28
18/10/06	21.18	18.72	0		2.05	185.46	0	0	0
17/02/07	46.34	11.28	0		1.93	11134.25	21.71	78.75	100.46
31/03/07	23.12	13.68	0		1.23	408.97	0.23	0	0.235
03/05/07	33.10	8.69	18.63		0.68	6698.01	9.96	26.64	36.61
06/06/07	27.20	64.32	0		0.78	1712.15	14.66	5.36	20.03
10/06/07	31.90	48.96	0		1.5	1167.6	6.28	1.45	7.739

Annexe 10 : Comparaison du ruissellement et de l'érosion simulés à l'exutoire sur Roujan entre la P48 et l'IPA5

Date de la pluie	Ruissellement simulé	Ruissellement mesuré
18/10/2005	15.37	485.22
12/11/2005	17.64	4445.58
15/01/2006	0	838.51
13/09/2006	143.81	16.63
11/10/2006	169.19	757.34
18/10/2006	140.33	143.94
17/02/2007	0	10.8
31/03/2007	0	19.65
03/05/2007	0	10.48
06/06/2007	553.97	249.61
10/06/2007	738.83	901.87

Volume ruisselé simulé et mesuré sur Roujan avec l'utilisation de l'IPA5 et de la durée efficace à 0 mm/h (en m<sup>3</sup>)

Date de la pluie	Ruissellement simulé	Ruissellement mesuré
18/10/2005	214.16	485.22
12/11/2005	570.77	4445.58
15/01/2006	95.33	838.51
13/09/2006	296.23	16.63
11/10/2006	1199.98	757.34
18/10/2006	154.7	143.94
17/02/2007	33.99	10.8
31/03/2007	68.06	19.65
03/05/2007	48.35	10.48
06/06/2007	1451.42	249.61
10/06/2007	780.57	901.87

Volume ruisselé simulé et mesuré sur Roujan avec l'utilisation de l'IPA5 et de la durée efficace à 2 mm/h (en m<sup>3</sup>)

Date de la pluie	Ruissellement simulé	Ruissellement mesuré
18/10/2005	1112.47	485.22
12/11/2005	17691.2	4445.58
15/01/2006	4337.09	838.51
13/09/2006	906.426	16.63
11/10/2006	5369.66	757.34
18/10/2006	165.77	143.94
17/02/2007	12841	10.80
31/03/2007	408.971	19.65
03/05/2007	6698.02	10.48
06/06/2007	1712.16	249.61
10/06/2007	1420.56	901.87

Volume ruisselé simulé et mesuré sur Roujan avec l'utilisation de l'IPA5 et de la durée efficace à 2 mm/h (en m<sup>3</sup>)

Annexe 11 : Comparaison des volumes ruisselés simulés et mesurés à l'exutoire sur Roujan.

	Parcelle 6		CosteN		CosteC		CosteS		Aubertelles		Puech	
	V.Sim.	V.mes.	V.Sim.	V.mes.	V.Sim.	V.mes.	V.Sim.	V.mes.	V.Sim.	V.mes.	V.Sim.	V.mes.
18/10/2005	40.21	6.9	126.3	9.38	7.618	0.18	195.79	107.2	364.4	7.66	118.09	61.71
12/11/2005	71.04	35	460.1	649	92.21	852.1	1142.3	3720	3126	2738	425.43	1095.8
15/01/2006	3.423	13	39.2	179.41	2.098	204.7	7.9605	912	217.6	595.4	106.31	264.83
13/09/2006	76.72	5	58.01	9.52	0	0.15	2.7572	88.52	37.07	8.11	28.861	38.94
11/10/2006	44.94	54.86	20.56	377.67	20.81	110.5	621.52	1069	109.2	677.5	208.11	500
18/10/2006	14.69	0	99.49	0.25	2.021	0.08	114.05	0.34	31.95	0	85.732	0
17/02/2007	28.38	34.8	60.42	498.63	0	541.2	13.393	2498	50.65	2010	41.431	935.24
31/03/2007	16.45	1.41	13.78	2.29	0	0.09	0.2565	21.7	13.91	1.92	6.0154	16.75
03/05/2007	18.65	33.03	27.84	479.99	0	57.13	3.2414	1101	28.87	1131	15.911	858.49
06/06/2007	10.68	17.56	19.72	87.78	0	8.71	120.15	278.4	577.4	88.05	108.36	143.45
10/06/2007	20.98	13.96	75.9	46.98	1.129	1.2	232.76	212.4	335.6	36.88	108.17	119.59

V.sim : Volume simulé en m<sup>3</sup>

V.mes : Volume mesuré en m<sup>3</sup>

Annexe 12 : Comparaison des volumes ruisselés simulés et mesurés sur les sous bassins versants de Roujan avec la durée efficace à 5 mm/h.

	Parcelle 6		Coste N		Coste C		Coste S		Aubertelles		Puech	
	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé	M. mesuré	M. simulé
18/10/2005	18	0	165	0	1	0	39	0	36	0	35	0
12/11/2005	144	0	797	0	25	0	741	0	2188	0	142	0
15/01/2006	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0
13/09/2006	247	0	150	0	0	0	0	0	41	0	117	0
11/10/2006	817	96.87	153	186	43	0	43	1151	234	44.61	13930	295.7
18/10/2006	60	0	278	0	1	0	88	0	8	0	1571	0
17/02/2007	817	0	153	0	43	0	43	0	234	0	13930	0
31/03/2007	22	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/05/2007	8	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3	0
06/06/2007	98	275	118	775	0	0	3041	2450	4111	230	1059	4194
10/06/2007	222	54	649	2.83	7	0	5021	310	2616	0	937	55

M. mesurée : masse de terre mesurée en kg

M. simulée : masse de terre simulée en kg

Annexe 13 : Comparaison de la masse de terre simulée et mesurée sur les sous bassins versants de Roujan avec la durée efficace à 2 mm/h.

	Ruissellement (m3)		Erosion (T)	
	Parcelle modifié	Parcelle initial	Parcelle modifié	Parcelle initial
18/10/2005	8627	1112	98.23	1
12/11/2005	20104	17691	350	260
15/01/2006	4900	4337	43	22
13/09/2006	6384	906	119	4
11/10/2006	14427	5369	264	54
18/10/2006	165	165	0	0
17/02/2007	14383	12841	188	125
31/03/2007	2678	408	20	0.2
03/05/2007	17985	6698	177	36
06/06/2007	9203	1712	169	20
10/06/2007	9627	1420	161	13

Annexe 14 : Comparaison des flux mesurés à l'exutoire de Roujan entre le parcellaire initial et le parcellaire où toutes les vignes sont traitées chimiquement

date de la pluie : 13/12/2005

	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	1023.444	1072.53	53.016	40.14	32.48	0	ruissellement
ipa5	1023.444	1072.53	53.016	40.14	32.48	0	
	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	8882.437	3818.55	321.203	125.49	299.211	0	érosion
ipa5	8882.437	3818.55	321.203	125.49	299.211	0	

date de la pluie : 08/01/2006

	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	4178.739	914.71	357.383	33.974	123.539	0	ruissellement
ipa5	4178.739	926.16	357.383	36.4706	123.539	0	
	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	50361.624	3246.62	4327.617	105.22	443.016	0	érosion
ipa5	50361.624	3303.89	4327.617	117.7	443.016	0	

date de la pluie : 30/01/2006

	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	4416.317	2879.25	448.924	231.34	351.05	132.64	ruissellement
ipa5	4416.317	3320.57	448.924	276.22	351.05	167.83	
	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	20581.943	20257	1728.939	1021.76	473.658	265.29	érosion
ipa5	20581.943	27529.2	1728.939	2483.52	473.658	335.65	

date de la pluie : 27/09/2006

	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48		2142.4	4.608	135.639	3.069	184.6	ruissellement
ipa5		2142.4	4.608	135.639	3.069	184.6	
	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48		40185	302.604	2845.35	0	1846	érosion
ipa5		40185	302.604	2845.35	0	1846	

date de la pluie : 16/12/2006

	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	12283.375	2400	1030.488	89.6628	700.983	0	ruissellement
ipa5	12283.375	2400	1030.488	89.6628	700.983	0	
	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	573492.185	2269.2	30626.257	64.2	50777.493	0	érosion
ipa5	573492.185	2269.2	30626.257	64.2	50777.493	0	

date de la pluie : 10/03/2007

	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	6001.811	7574.91	643.729	756.881	523.803	594.492	ruissellement
ipa5	6001.811	7574.91	643.729	756.881	523.803	594.492	
	MBV		RAV		PAR		
	mesuré	simulé	mesuré	simulé	mesuré	simulé	
p48	20616.494	94071.6	4430.122	13416.8	1458.03	1189	érosion
ipa5	20616.494	94071.6	4430.122	13416.8	1458.03	1189	

Annexe 15 : Résultats des simulations effectuées sur Kamech pour le micro bassin versant (MBV, l'impluvium de la ravine (RAV) et la parcelle (PAR) avec l'IPA5 et la p48



## LISTE DES FIGURES

- Fig.1 : Diagramme de Hjulström
- Fig.2 : Différents types d'érosions (Cerdan, 1998)
- Fig.3 : Comparaison entre les volumes ruisselés simulés et mesurés pour différents modèles (Jetten *et al.*, 1999)
- Fig.4 : Schéma du fonctionnement de STREAM (Cerdan, 1998)
- Fig.5 : Différents stades de fermeture du sol (Boiffin, 1990) (photo Croûte de battance)
- Fig.6 : Localisation et photo aérienne (BD ORTHO) du bassin versant de Roujan
- Fig.7 : Géomorphologie du bassin versant de Roujan (thèse Chahinian, 2004)
- Fig.8 : Occupation du sol sur Roujan (2007)
- Fig.9 : Réseau de fossés sur Roujan
- Fig.10 : Diagramme ombrothermique moyen de la région de Roujan de 1989 à 2005
- Fig.11 : Localisation et photographie aérienne (IKONOS) du bassin versant de Kamech
- Fig.12 : Occupation du sol sur Kamech (2006-2007)
- Fig.13 : Diagramme ombrothermique de Kélibia (près de Kamech, Mekki, 2003)
- Fig.14 : Morphologie du bassin versant de Kamech
- Fig.15 : Carte pédologique de Kamech (Zante et Mekki, 1998)
- Fig.16 : Localisation des points de mesures et des sous bassins versants de Roujan
- Fig.17 : Tableau des caractéristiques des pluies
- Fig.18 : Comparaison des volumes d'eau simulés à l'exutoire entre les deux types de pluies antécédentes (réalisé avec une durée efficace à 5 mm/h)
- Fig.19 : Graphique ruissellement simulé/mesuré pour les 3 durées efficaces
- Fig.20 : Tableaux de comparaison entre les volumes ruisselés mesurés et simulés avec la durée efficace à 2 mm/h.
- Fig.21 : Résultats des simulations effectuées avec la durée efficace à 5 mm/h sur les sous bassins versants
- Fig.22 : Relation entre la masse de terre érodée et le volume ruisselé (simulation effectuée avec la durée efficace à 5 mm/h)
- Fig.23 : Tableau comparatif entre la masse de terre érodée mesurée et simulée à l'exutoire avec une durée efficace 2 mm/h
- Fig.24 : Tableau comparatif entre la masse de terre érodée mesurée et simulée à l'exutoire avec une durée efficace 5 mm/h
- Fig.25 : Tableaux de comparaison entre les volumes ruisselés mesurés et simulés avec la durée efficace à 5 mm/h.
- Fig.26 : Sortie STREAM représentant le bilan Infiltration/Ruissellement pour la simulation du 10/06/2007 réalisée avec la durée efficace à 2 mm/h.
- Fig.27 : Accumulation des volumes d'eau sur le bassin versant pour la pluie du 10/06/2007
- Fig.28 : Sortie STREAM de l'accumulation d'eau réalisée avec la durée efficace à 2 mm/h
- Fig.29 : Tableaux du bilan infiltration/ruissellement
- Fig.30 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées chimiquement
- Fig.31 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées chimiquement
- Fig.32 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées mécaniquement
- Fig.33 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes traitées mécaniquement
- Fig.34 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes enherbées

Fig.35 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation du sol initiale et l'occupation du sol avec vignes enherbées

Fig.36 : Localisation des surfaces de validation

Fig.37 : Tableaux des caractéristiques de pluies

Fig.38 : Comparaison des résultats entre le P48 et L'IPA5

Fig.39 : Résultats des simulations sur le micro bassin versant

Fig.40: Résultats des simulations sur l'impluvium de la ravine

Fig.41 : Résultats des simulations sur la parcelle

Fig.42: Relation entre les pertes en terre et le volume ruisselé

Fig.43 : Résultats des simulations d'érosions sur le micro bassin versant

Fig.44: Résultats des simulations d'érosion sur la ravine

Fig.45: Résultats des simulations d'érosion sur la parcelle

Fig.46 : Bilan infiltration/ruissellement pour la pluie du 08/01/2006 pour l'impluvium de la ravine

Fig.47 : Capacité d'infiltration pour la pluie du 08/01/2006 sur le micro bassin versant

Fig.48 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en plus

Fig.49 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en plus

Fig.50 : Comparaison des volumes ruisselés simulés à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en moins

Fig.51 : Comparaison de la masse de terre érodée simulée à l'exutoire entre l'occupation initiale et l'occupation du sol avec 30% de céréales en moins

## BIBLIOGRAPHIE

- Andrieux P., and Leonard J., 1998.** Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in southern France. *Catena* . 32, 209-223.
- Boiffin J. and Bresson L.-M., 1990.** Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field *Geoderma*, Volume 47, Issues 3-4, December 1990, Pages 301-325
- Bryan R.B., 2000.** Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology* 32, p. 385-415
- Cerdan O., 1998.** Prise en compte des états de surface des parcelles et de leur organisation spatiale dans la modélisation du ruissellement et de l'érosion à l'échelle du bassin versant. Mémoire DEA
- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., Martin P., Lecomte V., 2002.** Sediment concentration in interill flow : interactions between soil surface conditions, vegetation and rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, p. 193-205.
- Chahinian N., 2004.** Paramétrisation multi-critère et multi-échelle d'un modèle hydrologique spatialisé de crue en milieu agricole, p.64-79.
- Favis-Mortlock, D. (1997)** A self-organising dynamic systems approach to the simulation of rill initiation and development of hillslopes, *Computers and Geosciences* 24, 353-372.
- Gallien E., Le Bissonnais Y., Emberck M., Berkhacha H., Ligneau L., Ouvry JF., and Martin P., 1995.** Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol limoneux cultivé. *Cahiers agricultures* 4, 171-183.
- Harris TM, Boardman J, 1990.** A rule-based expert system approach to predicting waterbone soil erosion. In: Boardman, J.I., Foster, D.L., Nearing, J.A. Eds., *Soil Erosion on Agricultural Land*.
- Hjulström F. 1935.** Studies on the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyries.
- Horton, R.E. 1945.** Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56 p. 275-370.
- Jetten V., De Roo A., Favis-Mortlock D., 1999.** Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models.
- Marofi, S. 1999.** Dynamique des échanges hydrologiques entre réseau de fossés et nappes superficielles dans un bassin versant méditerranéen. Thèse de doctorat, ENSA de Montpellier pp240.

**Mekki I, 2003.** Analyse et modélisation de la variabilité des flux hydriques à l'échelle d'un bassin versant cultivé alimentant un las collinaire du domaine semi-aride méditerranéen (Oued Kamech, Cap Bon, Tunisie), p. 25-45.

**Neboit, R., 1983.** L'homme et l'érosion. Faculté des Lettres et Sciences humaines de l'Université de Clermont-Ferrand II, Clermont-Ferrand, 183 pp.

**Paré N. 2007.** Etude de la variabilité et de la dynamique des états de surface des sols viticoles méditerranéens, mémoire, pages 31-35.

**Souchere, V., King, D., Daroussin, J., Papy, F. and Capillon, A. 1998.** Effects of tillage on runoff directions: consequence on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology*, 206(3-4) pp 256-267.

**Souchère V., King C, Dubreuil N.,Lecomte-Morel V,Le Bissonnais Y.,Chalat M., 2003.** Grassland and crop trends: role of the European Union Common Agricultural Policy and consequences for runoff and soil erosion. *Environment Science & Policy Volume 6, Issue 1, February 2003, p. 7-16.*

**Wischmeier WH, Smith D, 1978.** Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. US department of agriculture, agricultural handbook 537, Science and Education Administration USDA, Washington DC.

**Zante, P. et Mekki, I. 1998.** Carte pédologique de Kamech. Base de données cartographique SIG Arcview de l'UMR LISAH IRD/INRGREF Tunis.

Sites internet:

<http://www.orleans.inra.fr/>

# *Modélisation de l'érosion hydrique des sols avec le modèle STREAM.*

*Application sur deux petits bassins versants en contexte méditerranéen :  
Roujan (Hérault, France) et Kamech (cap Bon, Tunisie).*

Stéphane WILLIATTE

Septembre 2008

**Mots clés :** érosion, ruissellement, modélisation, SIG, bassin versant, sols, STREAM, climat méditerranéen

## **Résumé :**

Le projet MeSoEros21 (« MEditerranean Soils EROsion and vulnerability to global change during the 21th century ») a pour but une meilleure compréhension des impacts potentiels du changement climatique global sur l'érosion des sols en contexte méditerranéen.

Au sein de ce projet, l'objectif de ce stage, réalisé dans l'UR0272 « Science du sol » de l'INRA d'Orléans, est la modélisation de l'érosion hydrique des sols sous SIG sur deux bassins versants de petites tailles (environ 200 hectares) à l'aide du modèle STREAM. Le premier site d'étude est le bassin versant de Roujan, situé dans le Sud de la France, à 30 kilomètres à l'ouest de Montpellier. Le second site, le bassin versant de Kamech, se trouve au Nord de la Tunisie, au Nord-Ouest de la péninsule du Cap-Bon.

La finalité est d'observer le comportement de l'érosion de ces bassins versants suite à des événements pluvieux ayant des caractéristiques différentes et de caractériser l'influence d'un changement d'occupation du sol.

Plusieurs événements pluvieux ont été simulés (11 sur Roujan et 6 sur Kamech) avec différentes paramétrisations du modèle afin d'observer lesquelles correspondaient au mieux à ces deux zones d'études.

Les résultats montrent des erreurs de prédictions importantes sur les deux bassins versants, que se soit au niveau des volumes ruisselés ou des masses de terres érodées. Cependant, ces résultats sont en concordance avec les résultats que l'on peut espérer obtenir dans ce genre de simulation. De plus, ce rapport montre les facteurs mis en cause dans ces erreurs d'estimation et propose des solutions afin d'améliorer de futures simulations.

**Outils utilisés :** STREAM, ArcGIS, Suite MS Office, GIMP

**Encadrement :** INRA d'Orléans

2163, avenue de la Pomme de pin  
45075 ORLEANS CEDEX 2

