

Modélisation hydrologique du bassin versant du Touch Cartographie du potentiel d'infiltration des sols et analyses hydrologiques

Rapport intermédiaire

BRGM/RP-52808-FR
décembre 2003

Modélisation hydrologique du bassin versant du Touch Cartographie du potentiel d'infiltration des sols et analyses hydrologiques

Rapport intermédiaire

BRGM/RP-52808
décembre 2003

Étude réalisée dans le cadre
des opérations de Recherche du BRGM ,
en collaboration avec l'ESAP

J.F. Desprats, J. Sidgwick, O. Cerdan, F. Linardon

*Modélisation hydrologique du bassin versant du Touch
Cartographie du potentiel hydrologique des sols et analyses hydrologiques*

Mots clés : Bassin versant du Touch, infiltration, SIG, télédétection, SPOT 5, HRS, modélisation, Hydrotel, Stream

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Desprats J.F., Sidgwick J., Cerdan O., Linardon F. (2003) Modélisation hydrologique du bassin versant du Touch. Cartographie du potentiel d'infiltration des sols et analyses hydrologiques. Rapport intermédiaire. BRGM RP-52808FR, 47 p., 23 fig., 14 tab.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Avant-Propos

Ce projet financé par le Centre National d'Études Spatiales (CNES) (50 %), le Bureau de Recherches Géologiques et minières (BRGM) (25 %) et le Laboratoire de Télédétection et de Gestion des Territoires (LTGT) de l'École Supérieure d'Agriculture de Purpan (ESAP) (25 %) vise à démontrer l'intérêt des données spatiales très haute résolution (imagerie SPOT 5 et Modèle Numérique d'Élévation Haute Résolution Spatiale (MNE HRS)) dans une démarche d'analyse hydrologique d'un bassin versant. Cette étude fait suite au projet PACTES (Prévention et Anticipation des Crues au moyen des Techniques Spatiales) (Denier J.P. et al.), achevé en 2002, et qui a analysé la possibilité d'introduire les différentes techniques spatiales dans les phases de prévention, de prévision – alerte et de crise lors d'inondations.

Ce rapport d'avancement vise à présenter :

- la cartographie de la perméabilité des sols, laquelle sera utilisée pour une modélisation hydrologique du bassin versant étudié, le bassin du Touch. Le choix de cette zone est lié à la forte évolution observée au cours des dernières décennies : évolution agricole d'une part avec le changement des types de culture et de la taille des parcelles, et évolution urbaine en aval du bassin avec l'importante croissance des zones urbaines ;
- l'état/l'avancement des premières simulations hydrologiques réalisées à l'aide des modèles STREAM (INRA) et Hydrotel.

Résumé

L'évolution de l'aménagement du territoire durant les dernières décennies implique l'évolution spatiale des zones soumises aux aléas liés à l'écoulement des eaux. L'intégration dans un processus d'analyse hydrologique du bassin versant du Touch permet d'étudier :

- le potentiel du sol à ruisseler ou bien infiltrer, ainsi que son évolution au cours du temps en fonction des changements des pratiques agricoles et de l'urbanisation ;
- l'évolution en aval du bassin, dans des zones reconnues comme étant inondables.

Ces travaux s'appuient sur l'imagerie très haute résolution SPOT 5, ainsi que sur le Modèle Numérique d'Altitude SPOT HRS.

La cartographie du potentiel d'infiltration des sols a permis de démontrer l'intérêt de la prise en compte des formations pédologiques d'une part, mais aussi de l'occupation du sol.

Cet élément de base a permis alors de réaliser différentes simulations à l'aide des logiciels hydrologiques HYDROTEL et STREAM.

La seconde partie du projet verra finaliser :

- le volet modélisation ;
- la cartographie précise des extensions urbaines en zones sensibles en aval du bassin ;
- la relation potentielle entre le réseau superficiel et les nappes d'accompagnement.

Sommaire

1	Introduction	9
1.1	Description du projet	9
1.2	Description du bassin versant	10
2	Modélisation hydrologique	11
2.1	Introduction	11
2.2	Contexte de l'étude	11
2.2.1.	description des logiciels phytel et hydrotel (hydrologie et télédétection)	12
2.2.1.1.	Choix du système de modélisation.	12
2.2.1.2.	Fonctionnement du système	12
2.2.2.	description du logiciel stream (sealing and transfert by runoff and erosion taking into account agricultural management)	13
2.2.2.1.	Analyse et paramétrisation des processus à l'échelle de la parcelle	13
2.2.2.2.	Intégration des processus à l'échelle du bassin versant	14
3	Cartographie du potentiel d'infiltration des sols	17
3.1.	Données de base	17
3.2.	différents instruments de mesure utilisables	17
3.3.	mise en place de la campagne de terrain	19
3.4.	Analyse des résultats	19
3.4.1.	Relation pédologie - potentiel d'infiltration	20
3.4.2.	Relation géologie – potentiel d'infiltration	21
3.4.3.	Granulométrie et potentiel d'infiltration	23
3.4.4.	Relation occupation des sols – potentiel d'infiltration	24
3.4.5.	Interaction pédologie – occupation des sols	26
3.4.6.	Interaction granulométrie – occupation des sols	27
3.5.	Discussion	28
4	Modélisations hydrologiques	29
4.1	stream	29
4.1.1	Adaptations du modèle et des règles de décision	29
4.1.2	Choix des événements pluvieux	30
4.1.3	Résultats des simulations	32

4.2 hydrotel	36
4.2.1 Données d'entrée.....	36
4.2.2 Analyse sous PHYSITEL	40
4.2.3 Test sous HYDROTEL	40
5 Conclusion	43

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du bassin versant du Touch	10
Figure 2 : Principe du modèle STREAM (d'après Lecomte).....	14
Figure 3 : Données de base a) pédologie b) occupation du sol c) géologie.....	18
Figure 4 : Infiltromètre double anneaux CERAS.....	19
Figure 5 : Analyse de l'infiltration par le facteur "pédologie.....	21
Figure 6 : Analyse du potentiel d'infiltration des sols selon le facteur "géologie"	22
Figure 7 : Triangle des textures et positionnement des points des profils pédologiques disponibles.....	23
Figure 8 : Visualisation des potentiels d'infiltration selon le facteur "occupation des sols	25
Figure 9 : Synthèse finale.....	27
Figure 10 : Cartographie du potentiel d'infiltration des sols du bassin versant en fonction de la pédologie et de l'occupation des sols	28
Figure 11 : Carte des capacités d'infiltration calculées.....	30
Figure 12 : Zones pluviométriques	31
Figure 13 : Pluies cumulées sur les cinq zones pour les différents événements pluvieux identifiés.....	31
Figure 14 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 50 mm de 4h sur le bassin versant du Touch (MNE non surcreusé)	32
Figure 15 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 69.6 mm de 6h sur le bassin versant du Touch (MNE non surcreusé)	33
Figure 16 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 50 mm de 4h sur le bassin versant du Touch (MNE surcreusé)	34
Figure 17 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 69.6 mm de 6h sur le bassin versant du Touch (MNE surcreusé)	35
Figure 18 : Emprise du MNT HRS SPOT 5	36
Figure 19 : Emprise du MNT IGN à 50m	36
Figure 20 : Réseau hydrologique brut (détail zone de plaine)	37
Figure 21 : Réseau hydrographique modifié.....	37
Figure 22 : Localisation des stations météorologiques et des stations hydrographiques.....	38
Figure 23 : Description des étapes de travail de PHYSITEL.....	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse pour le facteur "pédologie".....	20
Tableau 2: Résultats retenus pour le facteur "pédologie".....	20
Tableau 3 : Synthèse pour le facteur "géologie".....	22
Tableau 4: Résultats pour le facteur "texture du sol" (données CRAMP).	24
Tableau 5 : Synthèse pour le facteur "occupation des sols".....	24
Tableau 6: Résultats pour le facteur "occupation des sols".....	25
Tableau 7 :Synthèse du croisement pédologie - occupation des sols.....	26
Tableau 8 : Résultat du croisement pédologie - occupation du sol	26
Tableau 9 : Résultats du croisement texture (granulométrie) – occupation du sol 27	
Tableau 10 : moyenne du cumul des précipitations pour les 4 événements identifiés sur les 5 zones du bassin versant du Touch.....	32
Tableau 11 : Classes d'occupation du sol	36
Tableau 12 : Exemple de données météorologiques	38
Tableau 13 : Exemple de données de débit	39
Tableau 14 : Combinaison des météo et des scenarii.....	41

1 Introduction

1.1 DESCRIPTION DU PROJET

Au cours des dernières décennies, le bassin versant du Touch a fait l'objet de nombreux réaménagements comme l'ensemble du territoire français (D. Tessier, et al., 1996). L'intensification de l'activité agricole et les modifications du parcellaire impliqués traduits par la disparition des haies (conséquence du remembrement), ont contribué à une probable modification du ruissellement et des écoulements de surface. Ainsi, la localisation des zones du bassin versant concernées par les phénomènes de crues et d'inondations s'est trouvée modifiée. Parallèlement à cela, le bassin a fait l'objet d'une forte urbanisation en aval, exposant une part de population plus importante aux inondations. Il est aujourd'hui devenu important de pouvoir gérer efficacement les phénomènes liés aux écoulements tels que les inondations. La prévention et l'alerte en cas de crue qui rentrent dans le cadre de la mission de service public du Service de prévention des Crues dépendant de la DIREN nécessitent une connaissance optimale des bassins versants, afin de pouvoir modéliser au mieux les écoulements.

Ce projet s'articule donc autour de différents axes :

- (1) la cartographie du potentiel d'infiltration des sols, comme éléments d'entrée dans**
- (2) la modélisation des écoulements à l'aide des logiciels Hydrotel et STREAM**
- (3) l'analyse de l'occupation du sol en zone inondable à l'aide des images THR Spot 5 permettra enfin d'évaluer l'impact de l'accroissement urbain au cours des 15 dernières années**

Le projet PACTES tout d'abord (2000-2002) sur le bassin versant de l'Hérault, mais aussi les travaux menés sur le bassin versant du Gardon d'Anduze (Service de Prévention des Crues du Gard, École des Mines d'Alès, BRGM) ont proposé une approche spatialisée de la perméabilité des sols, afin de l'intégrer dans un modèle d'annonce de crue (Althair dans le Gard). L'utilisation de l'imagerie SPOT 5, ainsi que des MNE HRS doivent permettre une amélioration des méthodes mises en place à ce jour. Il subsiste cependant la difficulté de modéliser exactement les caractéristiques physiques du terrain.

En conclusion de son étude « le sol et l'eau » (M. Bonneau et B. Souchier, 1994), R. Guennelon évoque une incertitude sur l'intensité des phénomènes se déroulant dans les sols. Il évoque également la difficulté de transcrire les informations sur un site à une échelle supérieure. Ceci explique en partie qu'à ce jour, le paramètre perméabilité des sols, pourtant fondamental, n'est que rarement utilisé dans les différents modèles d'écoulement de surface. Sur ces bases, R. Guennelon envisage l'étude d'approches permettant de travailler directement à des échelles supérieures pour prévoir et modéliser ces phénomènes, ce qui est un aspect omniprésent dans le travail présenté ici.

1.2 DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

La vallée du Touch est une vallée de rivière secondaire située dans la vallée de la Garonne (cf. figure 1). Le bassin versant du Touch s'étend de la commune de Lilhac en Haute-Garonne en amont à la commune de Blagnac en Haute-Garonne en aval. Il recoupe 62 communes de Haute-Garonne et 2 communes du Gers pour une superficie totale d'environ 507 Km². L'orientation du bassin, de l'amont à l'aval, suit une tendance Sud-Ouest Nord-Est. La source du Touch est située en bordure du village de Lilhac (478229m, 3110478m coordonnées Lambert 3), sa confluence avec la Garonne (l'exutoire du bassin versant) étant localisée à Blagnac (524534m, 3147565m, coordonnées Lambert 3).

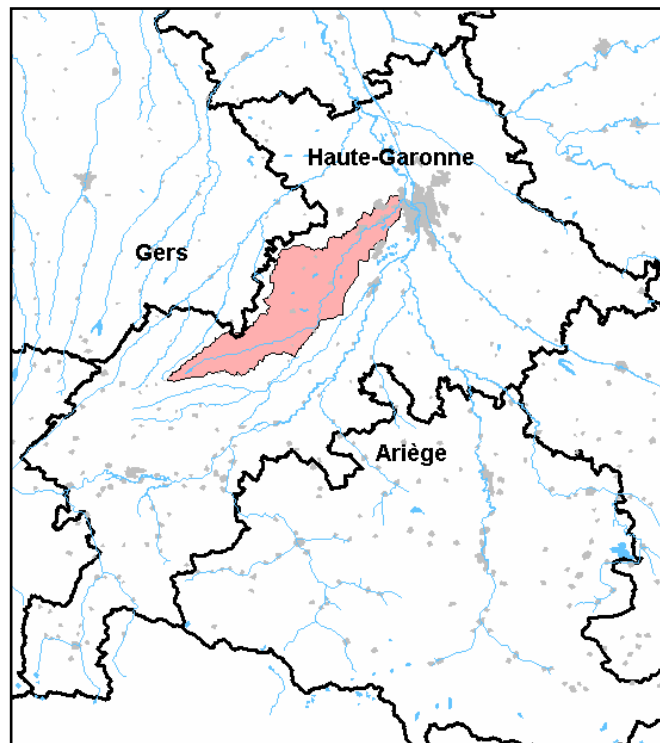


Figure 1 : Localisation du bassin versant du Touch

2 Modélisation hydrologique

2.1. INTRODUCTION

Le projet PACTES (Prévention et Anticipation des Crues au moyen des Techniques Spatiales) 2000-2002 réalisé pour le Ministère de la Recherche et de la Technologie (MRT) vise à améliorer la gestion des inondations à l'aide de techniques et de données satellitaires. Les principaux demandeurs dans ce domaine, la protection et la sécurité civile, ont en effet besoin d'avoir à disposition des données rapidement utilisables et de pouvoir les obtenir dans des délais très courts si cela est nécessaire.

La logique du projet PACTES divise le cycle de vie des inondations en quatre phases : la prévention, l'anticipation-prévision-alerte, la gestion de la crise et la post-crise. Comme nous le verrons, le projet d'analyse du bassin versant du Touch est situé à la fois sur la phase prévention et sur la phase anticipation-prévention-alerte.

L'objectif premier du projet est de définir et de modéliser l'influence des changements d'occupation des sols sur les inondations. Cependant, le rendu final devrait être un modèle permettant de simuler les flux hydriques dans le bassin versant du Touch, ce qui permettrait également de prévoir d'éventuelles crues.

2.2. CONTEXTE DE L'ETUDE

Le bassin versant est considéré dans la plupart des modèles d'annonce de crue (Sophie, Agyr, Althair...) comme étant une entité homogène. Seule la topographie est éventuellement prise en compte (Althair). Cet état de fait est en partie justifié par l'étude « modélisation hydrologique et hétérogénéité spatiale des bassins » (J.C. Baudez et al 1999), la partition des bassins versant n'ayant permis d'améliorer les prévisions hydrologiques que pour un tiers des bassins étudiés. Dans certains cas, le modèle peut prendre en compte l'occupation des sols qui est alors associée à une notion de rugosité (modèle MARINE de L'IMFT). Dans le cadre du projet intégrant cette étude, il est envisagé de modéliser ce bassin versant à l'aide d'une nouvelle approche. Les différentes phases permettant d'atteindre cet objectif seront les suivantes :

- cartographie de l'occupation du sol à la fin des années 80 ;
- cartographie de l'occupation du sol de l'année 2003 à l'aide d'images SPOT 5 ;
- analyse des changements de l'occupation du sol ;
- cartographie du développement urbain en aval ;
- interprétation des lignes d'écoulements ;
- calibrage du modèle en fonction des potentiels d'infiltration relevés sur le terrain ;
- modélisation des écoulements et estimation des volumes ruisselés pour quelques événements pluvieux typiques ou remarquables ;
- simulation des effets sur les écoulements de surface des changements d'occupation du sol observés ou simulés.

Les logiciels canadiens PHYSITEL et HYDROTEL seront utilisés dans le cadre de l'étude du bassin versant du Touch. Des simulations seront par ailleurs menées par le BRGM sur le logiciel STREAM, développé par l'INRA sur les petits bassins versants

agricoles du Pays de Caux en Normandie, afin de pouvoir réaliser une comparaison entre les résultats obtenus par les deux modèles.

2.2.1. Description des logiciels PHYSITEL et HYDROTEL (HYDROlogie et TÉLÉdéttection)

2.2.1.1. Choix du système de modélisation.

L'une des finalités du projet est de pouvoir modéliser l'impact des changements d'occupation des sols sur les flux hydriques. De ce fait, le logiciel utilisé devait respecter les conditions suivantes :

- permettre la modélisation hydrologique ;
- prendre en compte le type de sol ;
- prendre en compte l'occupation des sols.

Selon ces critères, le choix s'est finalement porté sur les logiciels canadiens PHYSITEL et HYDROTEL.

2.2.1.2. Fonctionnement du système

PHYSITEL est un préparateur de données qui permet d'envoyer à HYDROTEL l'ensemble des informations lui permettant de simuler les flux hydriques.

Les informations principales à fournir à PHYSITEL se présentent sous trois matrices et un réseau vectoriel :

- une matrice d'altitude (MNE ou MNT (Modèle Numérique de Terrain)) ;
- une matrice d'occupation des sols ;
- une matrice des types de sol ;
- une représentation vectorielle du réseau hydrographique (facultative).

Dans son fonctionnement, PHYSITEL découpe le bassin versant en unités hydrologiques relativement homogènes (UHRH). Ces unités sont définies de manière à ne contenir qu'un seul tronçon du réseau hydrologique. A chacune de ces unités est affectée une seule valeur pour la pédologie, celle-ci correspond à la formation dominante sur sa surface. Chacune de ces unités est également affectée des pourcentages que représente chaque classe d'occupation du sol.

Au final, PHYSITEL permet d'exporter vers HYDROTEL les données suivantes :

- altitudes ;
- pentes ;
- orientations ;
- réseau hydrographique ;
- UHRH.

A partir de ces données et d'autres telles que la pluviométrie, HYDROTEL se base sur un système d'équations dont l'ensemble est issu du travail de W.J. Rawls et D.L. Brakensiek (1989) pour définir l'infiltration et les vitesses de ruissellement afin de modéliser les flux hydriques (volumes, vitesses et trajectoires) du bassin versant.

2.2.2. Description du logiciel STREAM (*Sealing and Tranfert by Runoff and Erosion taking into account Agricultural management*)

Défini, calé et validé en Normandie par l'INRA pour étudier les phénomènes d'érosion et de ruissellement hortonien sur les sols limoneux agricoles, STREAM est un modèle de type expert qui s'appuie sur une connaissance des mécanismes élémentaires de genèse du ruissellement. Il intègre les paramètres suivants :

1. La pente dérivée du Modèle Numérique de Terrain ;
2. La cartographie de l'occupation du sol ;
3. La répartition des sols sensibles à la battance ;
4. L'hypothèse d'une pluie homogène sur l'ensemble du bassin versant ;
5. La prise en compte des antécédents pluvieux ;
6. La croûte de battance ;
7. La rugosité du sol ;
8. Le sens du travail du sol ;
9. Les motifs agraires.

L'idée sous-tendant le développement du modèle STREAM est d'élaborer une approche de modélisation qui se base sur les connaissances actuelles des mécanismes de l'érosion tout en se concentrant les processus dominants afin d'éviter les problèmes liés à la surparamétrisation d'une part et de rendre le modèle potentiellement utilisable par les acteurs locaux d'autre part.

La démarche suivie pour l'élaboration du modèle a consisté en l'identification et la paramétrisation des facteurs dominants à l'échelle locale sur la base de résultats expérimentaux, puis une spatialisation à l'échelle du bassin versant en prenant en compte les paramètres propres à ce niveau d'investigation.

2.2.2.1. Analyse et paramétrisation des processus à l'échelle de la parcelle

Pour une grande partie des sols à texture limoneuse (de faible stabilité structurale), le ruissellement et l'érosion résultent de la diminution de l'infiltrabilité consécutive à la dégradation structurale de la surface des sols (formation de croûtes de battance par désagrégation des mottes de terre) sous l'action des pluies. La capacité d'infiltration peut, dans certains cas, être réduite jusqu'à des valeurs de quelques mm/h. En territoire agricole s'ajoute l'influence de la rugosité (modifiée par les techniques culturales) et du couvert végétal (Le Bissonnais et al., 2002). Sur la base de nombreux travaux expérimentaux réalisés sous pluie simulée ou en condition naturelle (Gallien et al., 1995 ; Lecomte et al., 1997 ; Le Bissonnais et al., 1998 ; Lecomte, 1999 ; Chaplot et Le Bissonnais, 1999 ; Martin, 1997 ; Cerdan et al., 2002c ; Lecomte et al., 2004) nous avons évalué l'importance de ces trois facteurs en fonction de leur influence sur le ruissellement et l'érosion.

Pour ce faire nous avons établi une typologie combinant ces trois facteurs (Cerdan et al, 2002; 2002a; Le Bissonnais et al, 2002) qui soit à même de reproduire leurs influences sur l'infiltrabilité, sur la concentration potentielle en sédiment du ruissellement et sur l'érosivité du flux et la cohésion de la surface du sol dans le but de formaliser les processus de ruissellement ou d'érosion correspondants.

Pour l'infiltrabilité, un quatrième facteur a été intégré sous la forme d'un indice des pluies antécédentes afin de rendre compte de l'état hydrique initial. Sur la base de

références expérimentales, une capacité d'infiltration potentielle a pu être associée à chaque combinaison de ces facteurs. Cinq classes ont été définies qui s'étalent de 2 mm/h pour une surface nue complètement dégradée à 50 mm/h pour une surface fraîchement travaillée ou une prairie (Cerdan et al., 2002).

Ces classifications de combinaisons de classes (ou typologies) de facteurs ont donc permis de caractériser des situations en fonction de leur sensibilité au mécanisme étudié. Ils ont l'avantage d'intégrer non seulement des lois bien quantifiées mais aussi des résultats évalués de manière qualitative. Ils permettent, en outre, de tenir compte de manière simple des interactions entre facteurs ; l'effet d'un paramètre pouvant être catalysé ou, au contraire, inhibé en fonction du degré d'expression des autres. Ceci est, par exemple, illustré par l'importance de l'effet de la rugosité sur la concentration potentielle en sédiment qui varie en fonction du degré de développement du couvert végétal (Cerdan et al., 2002a). La validité de ces typologies est limitée aux zones cultivées de la ceinture loessique du nord de l'Europe, par contre la démarche reste transposable à tout contexte.

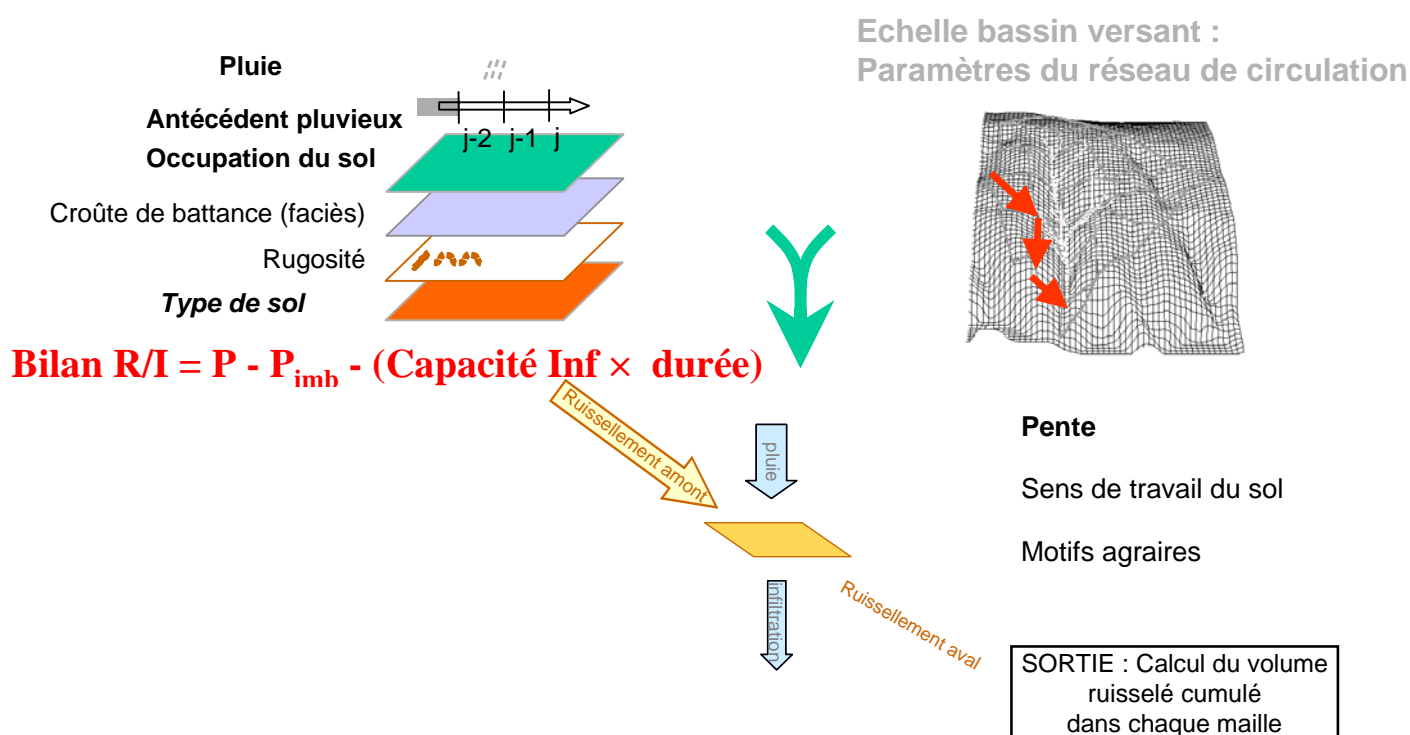


Figure 2 : Principe du modèle STREAM (d'après Lecomte)

2.2.2.2. Intégration des processus à l'échelle du bassin versant

Les classifications de combinaisons de facteurs ont donc été établies pour caractériser les processus de ruissellement et d'érosion. Ces classifications sont basées sur des connaissances acquises à l'échelle locale (bac – parcelle). Elles sont reprises pour établir la modélisation à l'échelle du bassin versant. Pour permettre cette spatialisation, la première étape est le calcul du réseau de circulation des écoulements. Pour faciliter la prise en compte des caractéristiques topographiques et la visualisation

des résultats, le modèle a été intégré dans le SIG (Système d'Information Géographique) ARC/INFO.

Le calcul du réseau de circulation tient compte, en plus du modèle numérique de terrain, des motifs agraires qui peuvent avoir une influence sur les directions d'écoulement (Souchère et al., 1998). Ainsi, au sein des parcelles, y compris les fourrières, une fonction discriminante permet de diriger le flux soit selon la plus grande pente, soit selon la direction du sens du travail du sol, à partir d'informations sur la rugosité orientée et sur l'intensité et l'orientation de la pente.

Pour la simulation de la hauteur d'eau ruisselée en tout point du bassin versant, une fonction calcule l'accumulation des flux en permettant à chaque pixel de pouvoir infiltrer en plus de la pluie, la totalité ou une partie du ruissellement provenant des zones situées en amont (Cerdan et al., 2002).

Une première évaluation des modules de ruissellement et d'érosion diffuse à l'aide de données provenant de bassins versants expérimentaux, a démontré la capacité de cette approche à reproduire les valeurs observées avec satisfaction (Cerdan et al., 2000 ; 2002 ; 2002b).

3 Cartographie du potentiel d'infiltration des sols

3.1. DONNEES DE BASE

La carte des formations pédologiques de la région (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées) permet de distinguer 4 formations majeures sur le bassin versant du Touch :

- la partie la plus en amont du bassin est dominée par les terreforts superficiels ;
- la moitié aval du bassin est quant à elle composée d'alluvions anciennes ;
- ces deux formations sont séparées par une bande large d'environ cinq kilomètres de boubènes ;
- enfin, on retrouve le long de la rivière des formations caractéristiques de vallées secondaires (cf. figure 2a).

La carte géologique (cf. figure 2c) à l'échelle du 1/50.000 met en évidence quatre grands ensembles :

- au Nord-Est du bassin versant, on retrouve essentiellement des limons sur alluvions du quaternaire ;
- sur une bande Nord-Sud au centre du bassin, la formation majoritaire est composée de colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses ;
- au Sud-Ouest, les molasses de l'oligocène-miocène dominant ;
- sur une bande longeant le Touch, on retrouve des alluvions du quaternaire tributaires de la molasse.

Enfin, nous disposons de résultats d'analyses de sols fournis par la CRAMP.

Une image SPOT 4 HRS acquise en juillet 2002 a permis de réaliser une classification de l'occupation du sol en 15 classes –ESAP- (cf. figure 2b)

3.2. DIFFERENTS INSTRUMENTS DE MESURE UTILISABLES

Les études précédemment menées sur des problèmes similaires (Ayrat P-A., Sauvagnargues-Lesage S., 2003) (Desprats J.F et al., 2002), permettent de dégager deux types d'essais pouvant être envisagés ici :

Simulateur de pluie : Un système d'arrosage permet de simuler, sur une surface de 8m², les conditions naturelles de pluie. La mesure d'infiltration se fait sur une zone plus restreinte de manière à ne considérer que l'infiltration verticale (principe que nous développerons avec l'infiltromètre double anneau). Cette méthode est intéressante car elle permet de mesurer l'infiltration réelle. La surface de mesure étant de 1m, on peut prendre en compte les fissures et fentes de retrait importantes, et l'évolution de la structure du sol entre en jeu dans les résultats. Cependant, ce protocole est lourd à mettre en place et ne permet pas de réaliser un grand nombre de mesures sur un temps restreint.

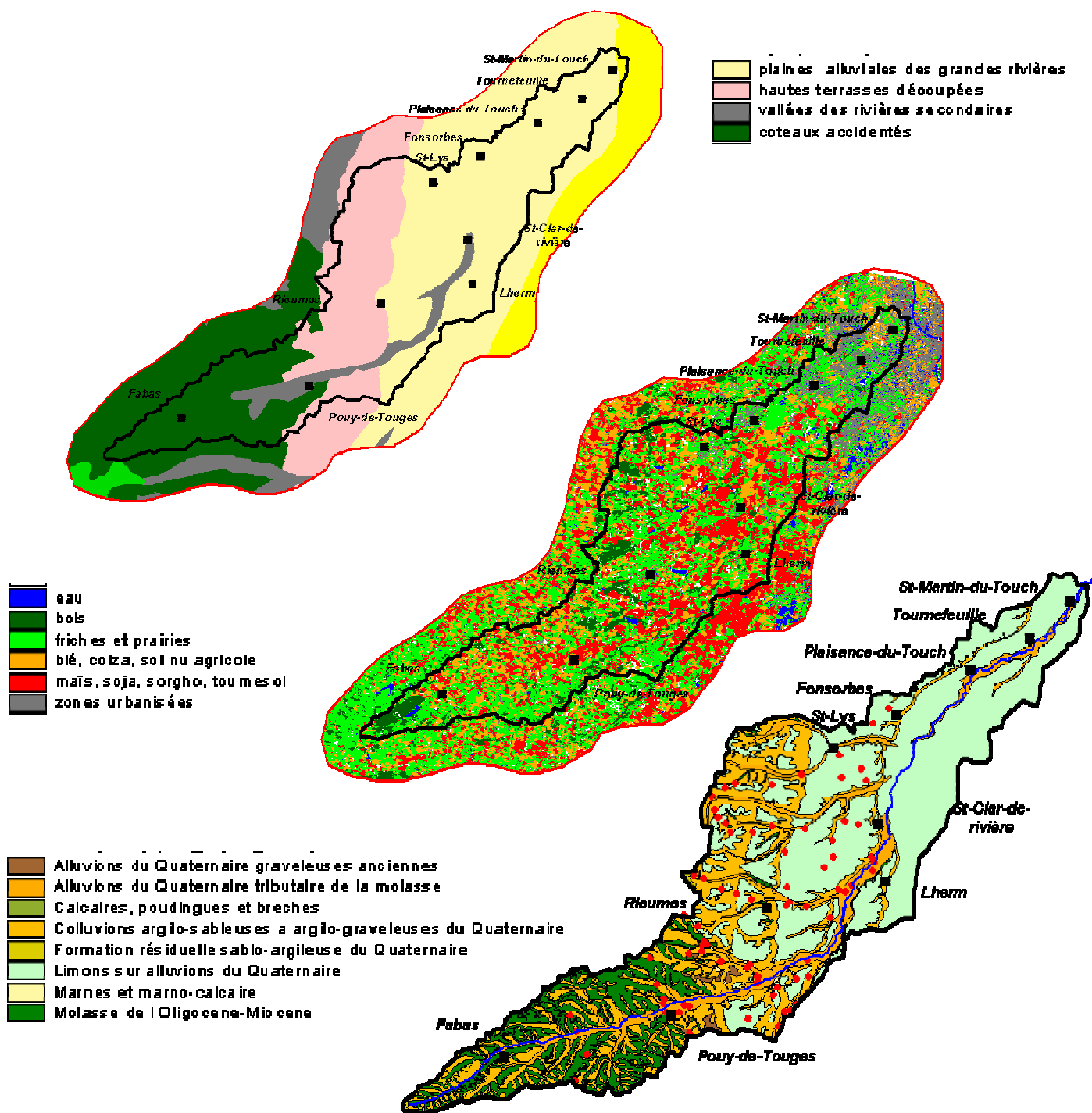


Figure 3 : Données de base a) pédologie b) occupation du sol c) géologie

Infiltromètre double anneau CERAS (type Müntz) : L'infiltromètre est constitué de deux anneaux concentriques. L'anneau extérieur a un rayon de 50 cm, l'anneau central, quant à lui, a un rayon de 30 cm. Sur l'anneau central, on peut disposer un système de réglette reliée à un flotteur servant à mesurer la hauteur d'eau infiltrée dans le sol.

L'anneau extérieur de l'infiltromètre permet de générer une colonne d'eau de diamètre suffisant pour pouvoir considérer que le bilan de l'infiltration latérale à la verticale de l'anneau central est nul. Le dispositif de la réglette fixée au flotteur est tel que la mesure ne commence qu'après un délai de quelques minutes pendant lequel l'eau s'infiltré dans le sol. On se rapproche ainsi des conditions de saturation souhaitées.

Le protocole normal d'utilisation de l'infiltromètre double anneau implique de maintenir le niveau d'eau dans l'anneau extérieur à une hauteur stable. Ainsi, la mesure est effectuée avec une pression d'eau constante.

Ce système est particulièrement adapté au type d'étude que nous désirons mener. Il permet d'effectuer un nombre relativement important de mesures dans une journée et il peut être manipulé efficacement par une personne seule. Cependant, la mesure reste relative puisqu'on ne peut pas tenir compte des fentes de retrait et qu'elle ne tient pas compte de la variabilité locale.



Figure 4 : Infiltromètre double anneaux CERAS.

3.3. MISE EN PLACE DE LA CAMPAGNE DE TERRAIN

La nécessité de réaliser un nombre maximum de mesures au cours de la campagne de mesure justifiait le choix du système double anneau CERAS. Ces mesures visent à mettre en évidence l'existence d'une variabilité liée aux facteurs pédologie, géologie et occupation des sols afin d'établir des valeurs caractéristiques de perméabilité permettant de créer une couche d'information intégrable aux modèles hydrologiques.

Dans la mesure du possible les essais de perméabilité étaient réalisés à proximité des sites sur lesquels la CRAMP avait, au préalable, réalisé des analyses de sols.

3.4. ANALYSE DES RESULTATS

Les mesures réalisées ont été étudiées statistiquement en suivant une démarche systématique. Pour chacun des facteurs présentés, les groupes créés ont subi une analyse de variance selon un test de Fisher-Snedecor puis leurs moyennes ont été comparées par un test de Student. Dans tous les cas, un risque alpha de 10 % est toléré. Ainsi, des différences statistiquement significatives permettent d'affirmer que le résultat est exact avec une probabilité de 90%.

3.4.1. Relation pédologie - potentiel d'infiltration

La texture et la structure des sols sont des éléments majeurs dans la détermination de leur perméabilité. Si une texture équilibrée favorise une structure stable et ainsi un bon potentiel d'infiltration, une texture trop argileuse ou trop limoneuse peut être à l'origine d'une structure instable et de potentiels d'infiltration moins élevés. Sur le bassin versant du Touch, les textures attendues s'échelonnent de la texture équilibrée en amont à la texture limoneuse fine en aval. Il n'est donc pas étonnant de voir apparaître un gradient de perméabilité décroissant lorsque l'on s'éloigne de la source du Touch pour se rapprocher de Blagnac.

La mise en corrélation de la pédologie et des potentiels d'infiltrations des sols permet de dissocier deux unités au sein du bassin versant (cf. tableaux 1 et 2) : (1) la plaine alluviale correspondant à la moitié aval du bassin versant présente le potentiel d'infiltration moyen le plus bas et (2) la partie amont du bassin, regroupant les coteaux accidentés et les hautes terrasses découpées, est quant à elle qualifiée par le potentiel d'infiltration moyen le plus élevé. Le lit majeur du Touch, correspondant à la formation de type « vallée des rivières secondaires », n'est distincte statistiquement que de la partie aval du bassin. Cependant, la valeur moyenne du potentiel d'infiltration de cette partie est intermédiaire par rapport aux deux autres.

Formation pédologique	Unité finale	Nombre de mesures	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type (mm/s)
Coteaux accidentés	Haute vallée	18	0.102	0.143
Hautes terrasses découpées	Haute vallée	32	0.090	0.180
Vallée des rivières secondaires	Vallée centrale	22	0.064	0.057
Plaine alluviale des grandes rivières	Basse vallée	20	0.015	0.013

Tableau 1 : Synthèse pour le facteur "pédologie"

Unité retenue	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type (mm/s)
Haute vallée	0.094	0.167
Vallée centrale	0.064	0.057
Basse vallée	0.015	0.013

Tableau 2 : Résultats retenus pour le facteur "pédologie"

La forte variabilité au sein de la « haute vallée » (cf. figure 8) est probablement la raison pour laquelle on ne peut la distinguer statistiquement de la vallée centrale.

Par la suite, on choisira de considérer le bassin versant comme un ensemble constitué de trois unités pédologiques : la haute vallée, la basse vallée et la vallée centrale.

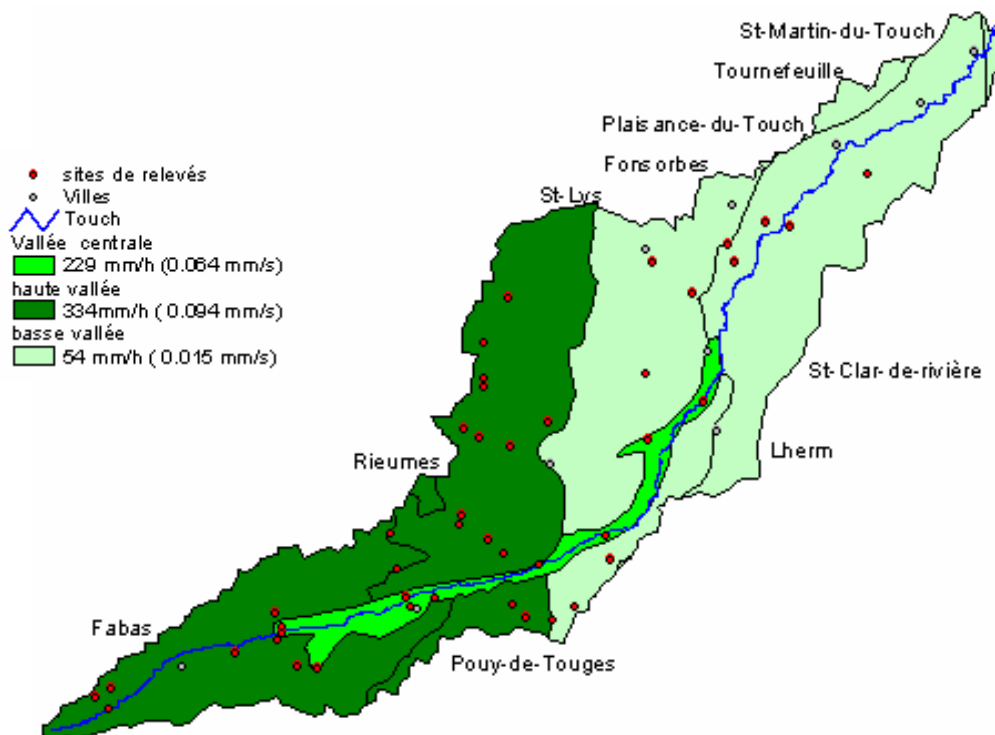


Figure 5 : Analyse de l'infiltration par le facteur "pédologie"

3.4.2. Relation géologie – potentiel d'infiltration

Le découpage des formations géologiques dans le bassin versant du Touch permet de percevoir une relation logique avec la pédologie. Si on réalise un classement des zones par formation géologique majoritaire, les unités obtenues sont très proches des unités pédologiques observées.

Les résultats obtenus grâce aux observations de terrain ne permettent pas de distinguer statistiquement des unités significatives (cf. tableau 3). Cependant, ils permettent d'apporter quelques compléments et ouvertures vis à vis du classement réalisé en fonction de la pédologie.

La géologie apparaît ici comme une cause probable de la forte variabilité des valeurs des potentiels d'infiltration en haute vallée. De plus, les résultats permettent de nous interroger quant à l'étendue de la zone pédologique « vallée des rivières secondaires » correspondant dans notre classement à la « vallée centrale ». La carte géologique tend en effet à montrer qu'il existe d'autres zones de la même nature dans le bassin versant et que celles-ci ne sont pas prises en compte sur la carte pédologique (Notons que l'échelle de la carte géologique permet une précision supérieure à celle de la carte pédologique).

Les relevés effectués sur le terrain ne permettent pas de réaliser les tests visant à affirmer cette dernière observation. Il pourrait être intéressant d'effectuer de nouvelles mesures en vue d'augmenter la précision du modèle final du bassin versant.

Formation géologique	Nombre de mesures utilisées	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type
Formations résiduelles sablo-argileuses du quaternaire	6	0.2371	0.1807
Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du quaternaire	24	0.1121	0.1985
Molasses de l'oligocène-miocène	6	0.0629	0.0523
Alluvions du quaternaire tributaires de la molasse	22	0.0382	0.0569
Limons sur alluvions du quaternaire	34	0.0295	0.0500

Tableau 3 : Synthèse pour le facteur "géologie"

La variance reste ici très importante relativement aux valeurs moyennes de potentiel d'infiltration des sols.

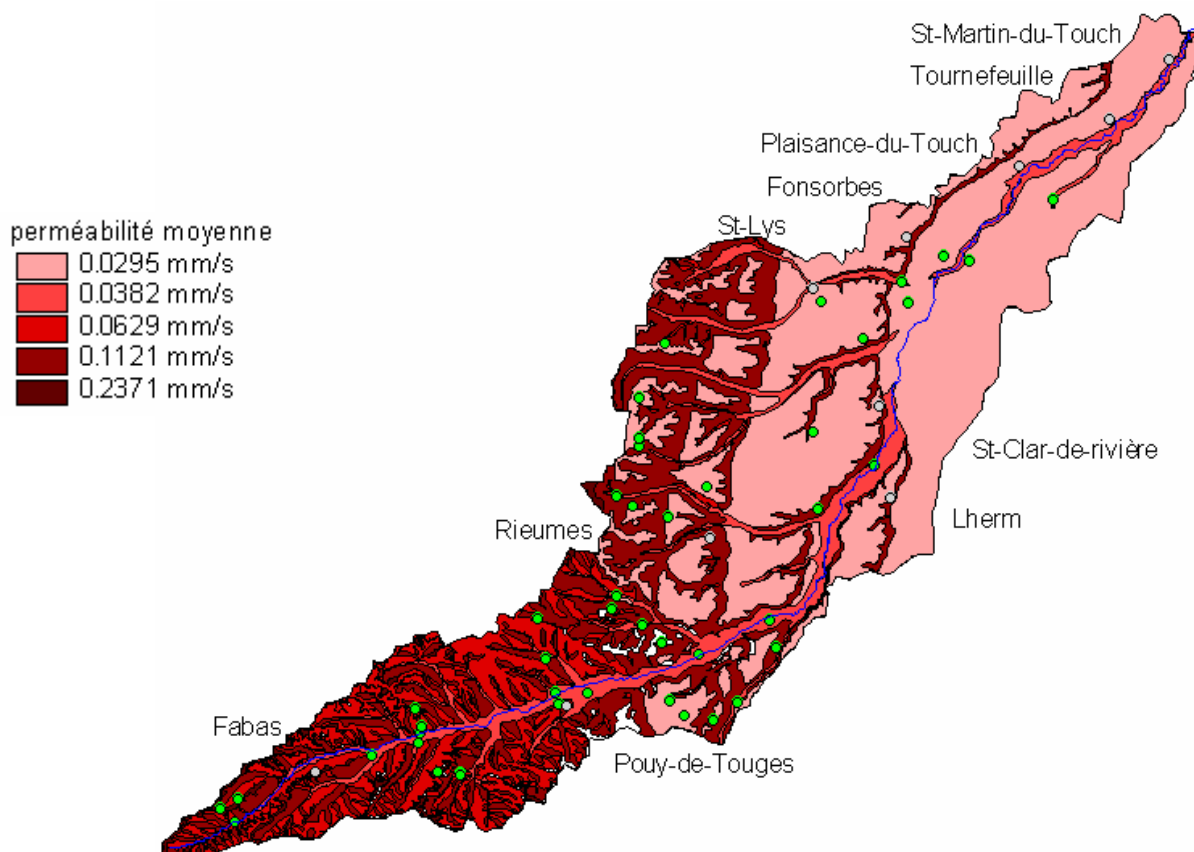


Figure 6 : Analyse du potentiel d'infiltration des sols selon le facteur "géologie"

3.4.3. Granulométrie et potentiel d'infiltration

La granulométrie d'un sol est directement liée à sa texture. Ainsi, il existe certainement une relation entre granulométrie et potentiel d'infiltration. Nous avons ici la possibilité d'étudier cette relation par rapport aux différentes particules de sol.

Selon le diamètre des éléments qui composent le sol, on classe généralement ceux-ci dans les catégories suivantes :

- Argile : inférieure à 2 μm
- Limons : de 2 μm à 50 μm
- Sables : 50 μm à 2mm

Ces éléments, constituant la « terre fine », sont généralement séparés des éléments constituant les « refus » :

- Graviers : 2 mm à 2 cm
- Cailloux ou galets : 2 cm à 20 cm
- Blocs : supérieur à 20 cm

De manière grossière, on peut dire que la force de succion causée par les éléments va en diminuant et que le volume de porosité augmente lorsque la taille de ceux-ci augmente.

L'étude de l'impact de chacun des éléments granulométriques sur la perméabilité ne permet pas d'établir de classes significativement différentes, que cela soit en fonction du taux d'argiles, de limons, de sables ou de refus. Il reste cependant intéressant d'étudier la combinaison de ces éléments, c'est-à-dire la texture des sols.

Le schéma suivant montre la tendance générale des textures des sols du bassin versant.

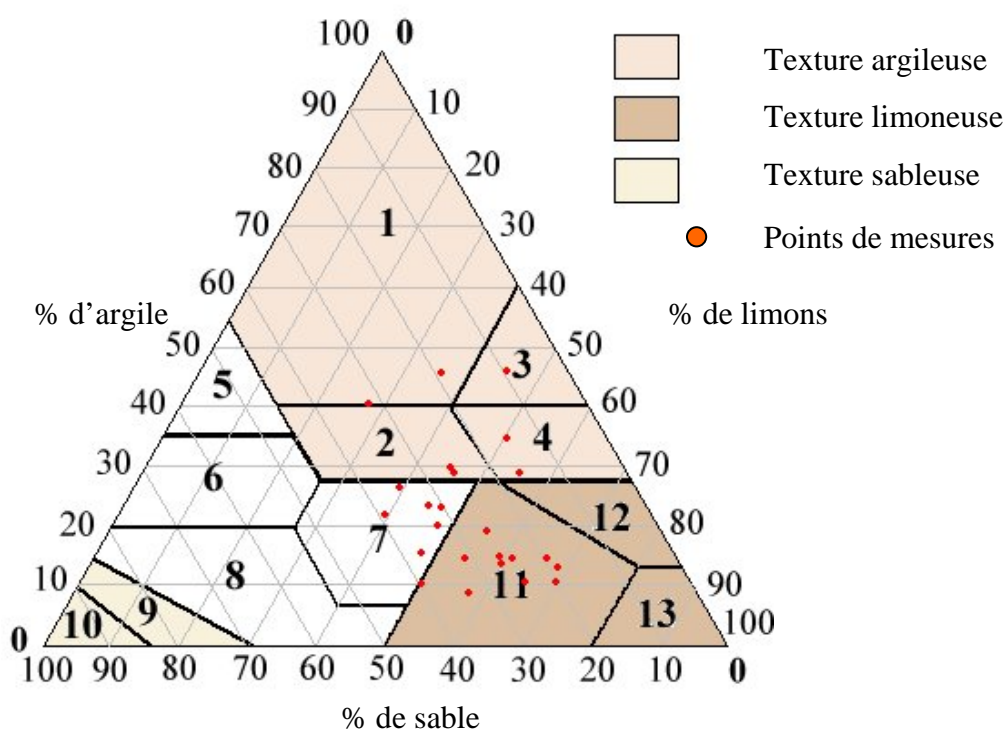


Figure 7 : Triangle des textures et positionnement des points des profils pédologiques disponibles.

La carte des grands ensembles morpho-pédologiques fournie par la C.R.A.M.P. permet de diviser le bassin versant selon les textures attendues pour les sols. On peut ainsi établir les liens suivants : la haute vallée devrait présenter une majorité de sols à texture équilibrée (correspondant à la zone blanche du triangle des textures), la basse vallée devrait présenter une majorité de sols à texture limoneuse et enfin les sols à texture argileuse devraient être les plus fréquents en vallée centrale.

Les résultats vont effectivement dans le sens de ces attentes, en effet le classement des moyennes révèle un parallèle avec les zones pédologiques (cf. tableau 4).

Type de texture	Nombre de mesures utilisées	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type
Texture équilibrée	6	0.1076	0.0168
Texture argileuse	8	0.0460	0.0466
Texture limoneuse	11	0.0201	0.0448

Tableau 4 : Résultats pour le facteur "texture du sol" (données CRAMP).

3.4.4. Relation occupation des sols – potentiel d'infiltration

De l'occupation des sols dépendent plusieurs facteurs jouant un rôle non négligeable dans la perméabilité des sols. Les cultures annuelles font l'objet d'itinéraires culturaux visant à améliorer la texture et la structure du sol ; les formations pérennes telles que les forêts et les friches ne font quant à elles pas l'objet d'intervention humaine. Dans tous les cas, il est également intéressant de considérer le délai depuis lequel le sol n'a pas été travaillé. Les sols, sous l'action de phénomènes naturels, ont en effet tendance à évoluer. Enfin, l'activité des micro-organismes de la faune et de la flore du sol, favorable à la perméabilité et à la stabilité structurale de ce dernier, est généralement favorisée par les formations pérennes et les herbages.

Les mesures effectuées sur le terrain suivent les tendances attendues vues les observations précédentes. De manière statistique, nous voyons apparaître deux catégories clairement distinctes (cf. tableaux 5 et 6). Les herbages et les forêts sont caractérisés par des sols dont le potentiel d'infiltration moyen est élevé par rapport aux sols des cultures d'été et d'hiver.

Occupation du sol	Nombre de mesures utilisées	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type (mm/s)
Herbages	30	0.1356	0.2028
Forêt	6	0.1072	0.0480
Cultures d'été	26	0.0326	0.0458
Cultures d'hiver	30	0.0247	0.0313

Tableau 5 : Synthèse pour le facteur "occupation des sols"

Occupation du sol	Nombre de mesures utilisées	Potentiel d'infiltration moyen	Écart type (mm/s)
Formations pérennes et herbages	36	0.1309	0.1858
Cultures annuelles	56	0.0290	0.0396

Tableau 6 : Résultats pour le facteur "occupation des sols"

Il est à présent intéressant de croiser ces classements afin d'essayer de mettre en évidence le résultat de l'interaction entre la pédologie et l'occupation des sols.

On notera ici une forte variabilité au sein des formations pérennes et des herbages (cf. figure 7). Ces formations étant présentes majoritairement en haute vallée, on vient à s'interroger sur la cause principale de variabilité dans cette partie du bassin versant. Il peut en effet s'agir de l'impact d'un facteur indépendamment de l'autre ou de l'interaction des deux facteurs.

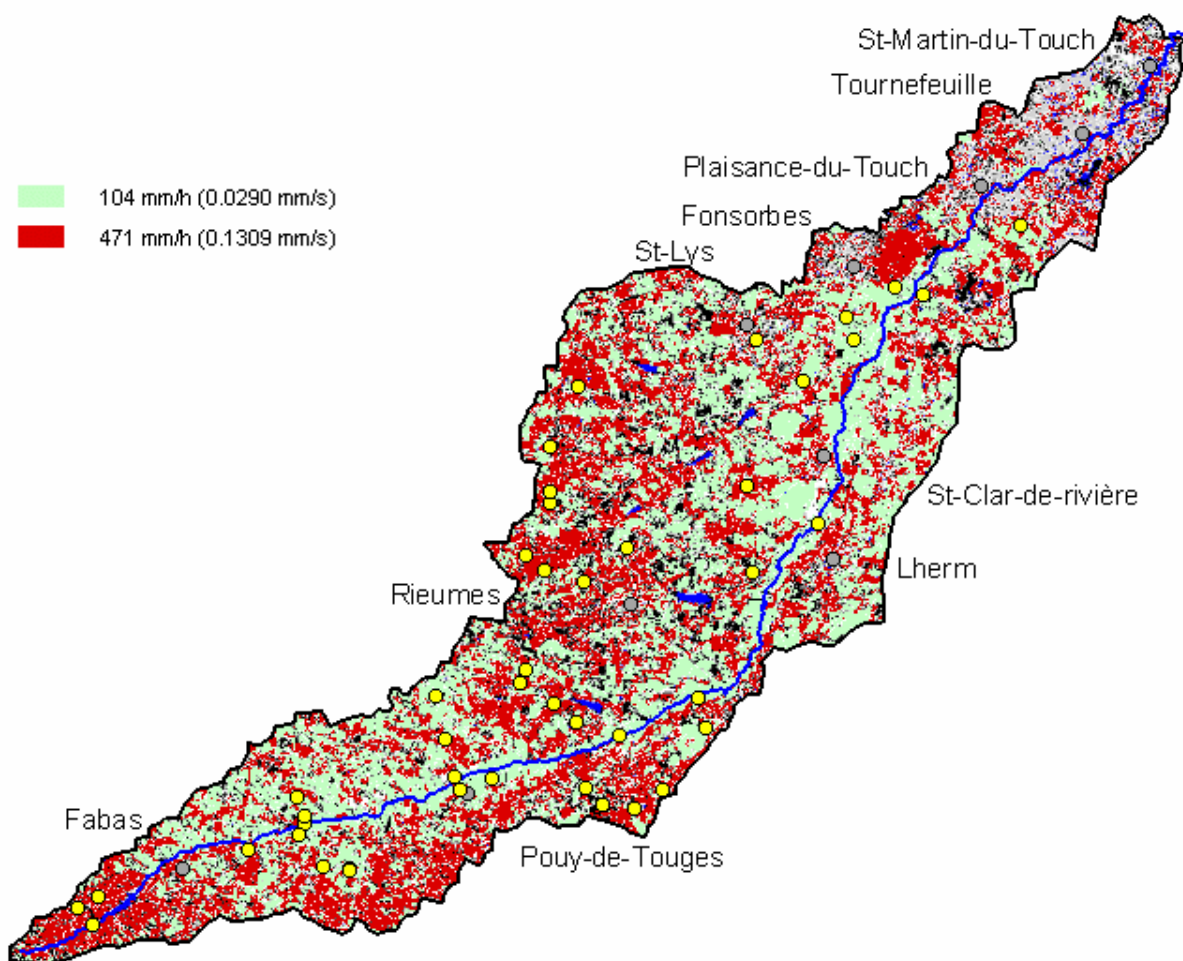


Figure 8 : Visualisation des potentiels d'infiltration selon le facteur "occupation des sols"

3.4.5. Interaction pédologie – occupation des sols

L'occupation et le travail des sols ont donc un impact certain sur la texture et la structure des sols. Cet impact est cependant modulé par la nature même du sol. Dans un sol très argileux, il est possible que les racines ne puissent pas explorer un volume de sol aussi important que dans un sol de texture équilibré. Les racines créant des voies de passage privilégié pour l'eau, l'impact positif de l'occupation des sols sur des textures argileuses est moindre que sur des textures équilibrées (hors travail du sol).

L'étude des résultats montre, une fois encore, la hiérarchisation entre haute vallée, vallée centrale et basse vallée. On voit également apparaître une hiérarchisation au sein des unités pédologiques. En haute vallée, les cultures annuelles sont statistiquement distinctes des formations pérennes et herbages. Ce n'est cependant pas le cas en vallée centrale et en basse vallée. Les formations pérennes et herbages étant largement minoritaires en basse vallée, il est intéressant de constater que les cultures d'été se distinguent statistiquement des cultures d'hiver.

Catégorie	Nombre de relevés utilisés	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type
Haute vallée / herbe	16	0,2240	0,2457
Haute vallée / forêt	6	0,1072	0,0480
Vallée centrale / herbe	4	0,0838	0,0352
Vallée centrale / hiver	6	0,0618	0,0421
Vallée centrale / été	10	0,0582	0,0720
Basse vallée / été	6	0,0208	0,0079
Haute vallée / été	14	0,0195	0,0177
Haute vallée / hiver	14	0,0154	0,0188
Basse vallée / herbe	10	0,0150	0,0165
Basse vallée / hiver	6	0,0094	0,0065

Tableau 7 : Synthèse du croisement pédologie - occupation des sols

Catégorie	Nombre de relevés utilisés	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type (mm/s)
Haute vallée / formations pérennes et herbages	22	0,192	0,216
Vallée centrale/ formations pérennes et herbages	4	0,084	0,035
Vallée centrale/ cultures annuelles	16	0,060	0,061
Haute vallée / cultures annuelles	28	0,017	0,018
Basse vallée / cultures annuelles	12	0,015	0,009
Basse vallée / formations pérennes et herbages	10	0,015	0,016

Tableau 8 : Résultat du croisement pédologie - occupation du sol

3.4.6. Interaction granulométrie – occupation des sols

Nous avons déjà pu établir un parallèle entre texture et pédologie. Les résultats des tests pour l'interaction granulométrie (traduit en texture) et occupation du sol, bien qu'il n'y ait pas de différence significative, donnent les mêmes tendances que les résultats obtenus pour l'interaction pédologie et occupation des sols. Le nombre de mesures utilisées par catégorie étant très faible, les résultats ne permettent pas une interprétation plus avancée.

catégorie	Nombre de mesures utilisées	Potentiel d'infiltration moyen (mm/s)	Écart type
texture équilibrée / pérenne	3	0,1836	0,2298
texture argileuse / pérenne	6	0,0607	0,0714
texture argileuse / annuelle	2	0,0411	0,0437
texture équilibrée / annuelle	3	0,0317	0,0253
texture limoneuse / annuelle	7	0,0249	0,0594
texture limoneuse / pérenne	5	0,0133	0,0113

Tableau 9 : Résultats du croisement texture (granulométrie) – occupation du sol

Le résultat de ces croisements répond de manière satisfaisante à notre objectif de départ. Nous pouvons en effet, en réalisant le travail synthétisé par le schéma suivant, réaliser une cartographie du bassin versant de manière à obtenir des unités homogènes de perméabilité distincte.

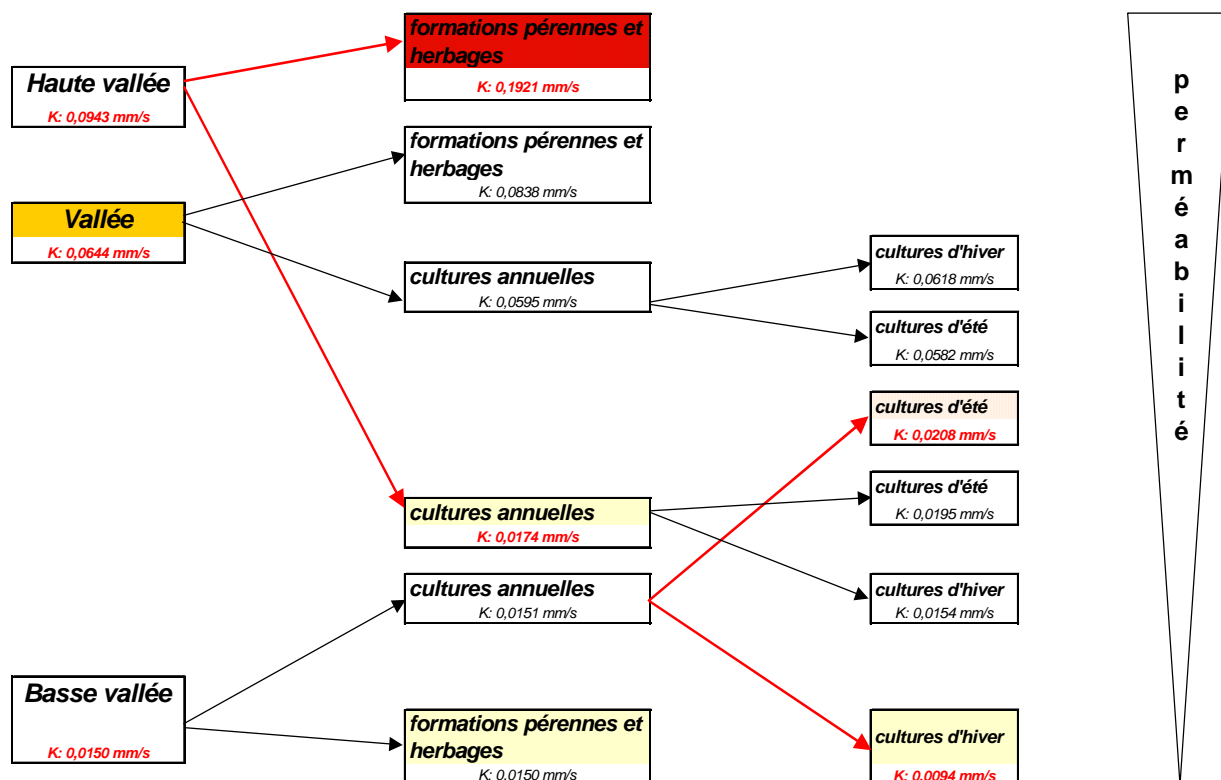


Figure 9 : Synthèse finale

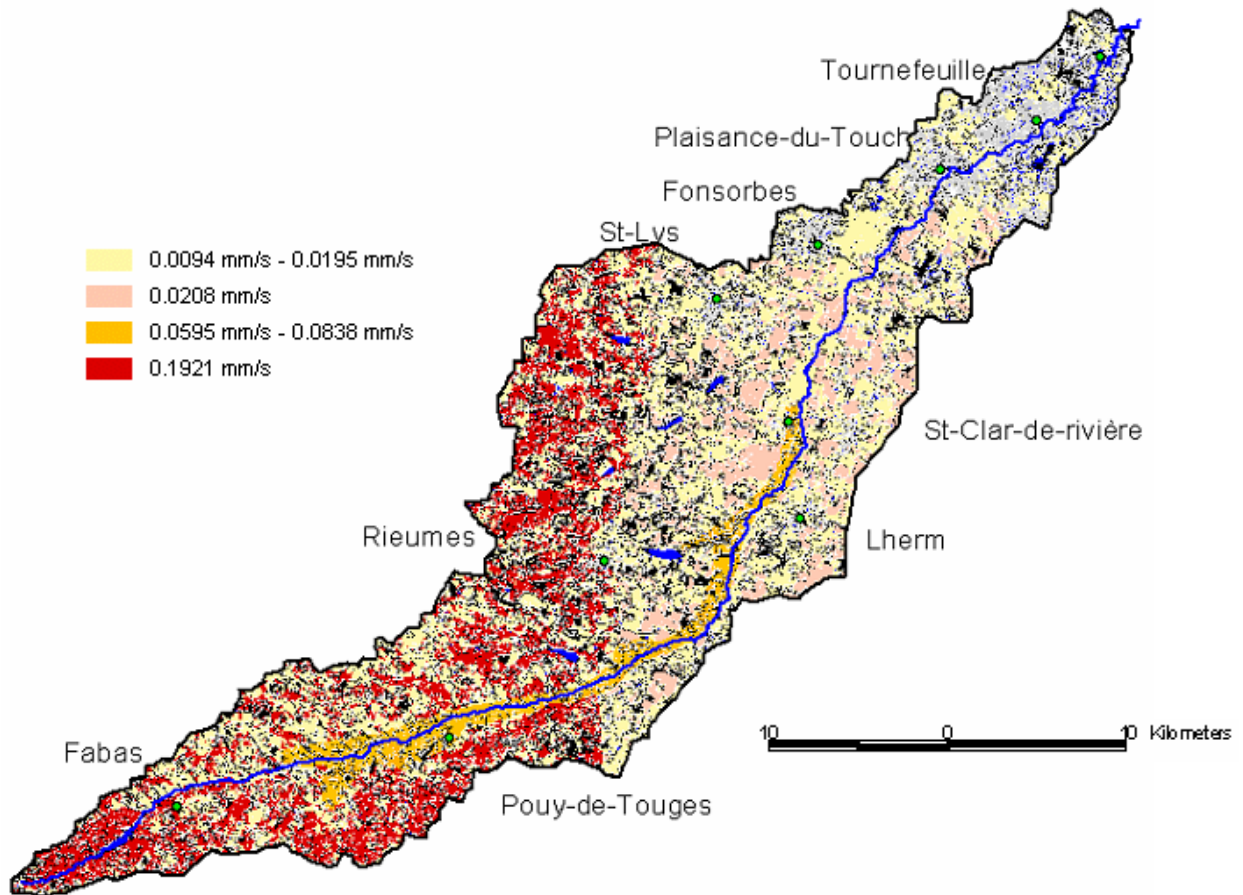


Figure 10 : Cartographie du potentiel d'infiltration des sols du bassin versant en fonction de la pédologie et de l'occupation des sols

3.5. DISCUSSION

Le protocole suivi, consistant à réaliser trois mesures en moyenne par sites a permis de matérialiser la variabilité intra-parcellaire. De la sorte, nous avons pu compenser l'aspect très ponctuel des mesures effectuées avec un infiltromètre double anneaux et sommes ainsi plus proches de la réalité du terrain. Cependant les conditions extrêmes rencontrées lors de l'été 2003 (sécheresse extrême se traduisant par des fentes de retrait importantes) doivent être rappelées : par dessiccation, les argiles se rétractent entraînant une augmentation du volume des macroporosités. Ainsi : « L'écoulement par les fissures ne peut être négligé lorsqu'une précipitation, un épandage, une irrigation surviennent sur un sol argileux sec. Mais l'importance de cet écoulement par les fissures diminue au fur et à mesure du gonflement du sol. Une fois le sol humecté, la considération de la perméabilité moyenne du sol est suffisante, à moins que l'échelle nécessitée par l'étude soit très grande. » (R. GRAS 1988). Il est alors probable que la vitesse d'infiltration pour les premiers évènements pluvieux se verra modifiée par rapport à la vitesse d'infiltration moyenne réelle des sols.

Dans leur ensemble, les conditions de terrains rencontrées obligent à insister sur le lien entre les conditions du milieu et les potentiels d'infiltration. En effet, il semble qu'une dimension temporelle s'ajoute à la dimension spatiale de la variabilité pour le facteur sol. Cependant des tests menés sur un autre site (Gard 2003) ne montrent pas de résultats particulièrement contrastés. Ceci s'explique en partie par le temps de saturation observé (environ 10 mn) avant le début de la mesure, laps de temps qui temps à rapprocher le sol de conditions rencontrées en hiver.

4 Modélisations hydrologiques

Les simulations de modélisations hydrologiques réalisées (Hydrotel et Stream) visent :

- à démontrer l'intérêt de la prise en compte de couches d'informations spatialisées, dont certaines sont dérivées de la technologie spatiale (MNE HRS, télédétection SPOT) ;
- à évaluer l'impact de l'évolution de l'occupation du sol entre 1989 et 2002 ;
- à simuler de nouvelles évolutions pouvant intervenir.

4.1 STREAM

4.1.1 Adaptations du modèle et des règles de décision

Comme spécifié dans le paragraphe de présentation du logiciel STREAM, si la démarche est transposable à d'autres contextes, il n'en reste pas moins qu'il est nécessaire de ré-établir les typologies de caractéristiques de surface des sols en fonction de la nature de l'environnement simulé d'une part et de la nature des données disponibles d'autre part.

Pour ce faire nous disposons du travail de terrain réalisé et détaillé dans la partie « cartographie du potentiel d'infiltration des sols ». Nous reprendrons la classification établie en quatre catégories pour ce qui est de la délimitation d'unités spatiales de réponse hydrologique homogène (cf. figure 9). Par contre les valeurs de capacité d'infiltration sont difficilement exploitables telles quelles. Si elles permettent une hiérarchisation des surfaces, elles nécessitent avant d'être intégrées dans le modèle d'être calibrées. En l'absence de mesure complémentaire de calibration à l'aide d'appareillages différents, nous avons étalé les valeurs jusque 50 mm/h, ce qui correspond à une surface enherbée sur sol limoneux. On obtient donc quatre classes d'infiltration de 4, 6, 16 et 51 mm/h plus une classe à 2 mm/h pour le bâti (Figure 10). Ce sont ces valeurs que nous utiliserons pour les simulations.

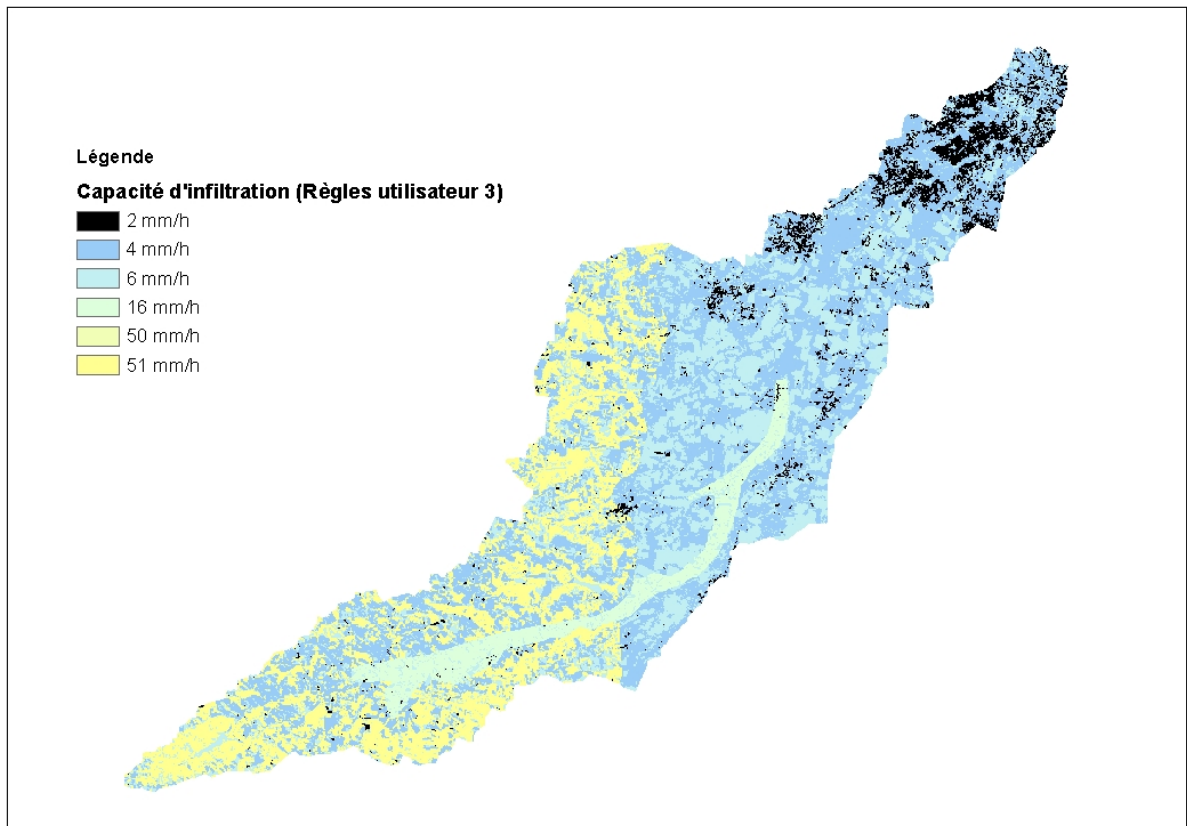


Figure 11 : Carte des capacités d'infiltration calculées

4.1.2 Choix des événements pluvieux

Dans l'état actuel, le modèle STREAM fait l'hypothèse d'une pluie homogène sur la surface modélisée. Des données radar spatialisées sont disponibles pour une série d'événement ayant occasionnés une crue fin janvier, début février 2003. La figure 11 localise les différentes zones pluviométriques.

Le détail du cumul des précipitations pour chaque événement identifié (arrêt de la pluie de plus de cinq heures) et pour chaque zone est présenté sur la figure 12. On distingue nettement 4 événements pluvieux communs aux cinq zones dont deux principaux avec des cumuls importants. Pour effectuer les simulations avec STREAM on utilisera donc une valeur moyenne des cinq zones pluviométriques. Le tableau 10 présente les caractéristiques moyennes des 4 événements pluvieux.

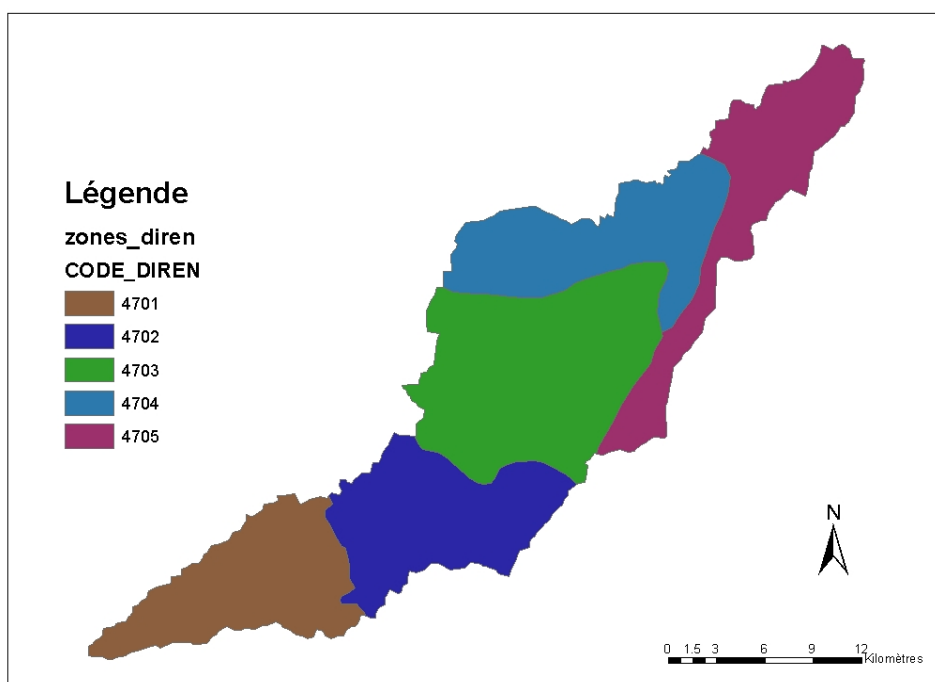


Figure 12 : Zones pluviométriques

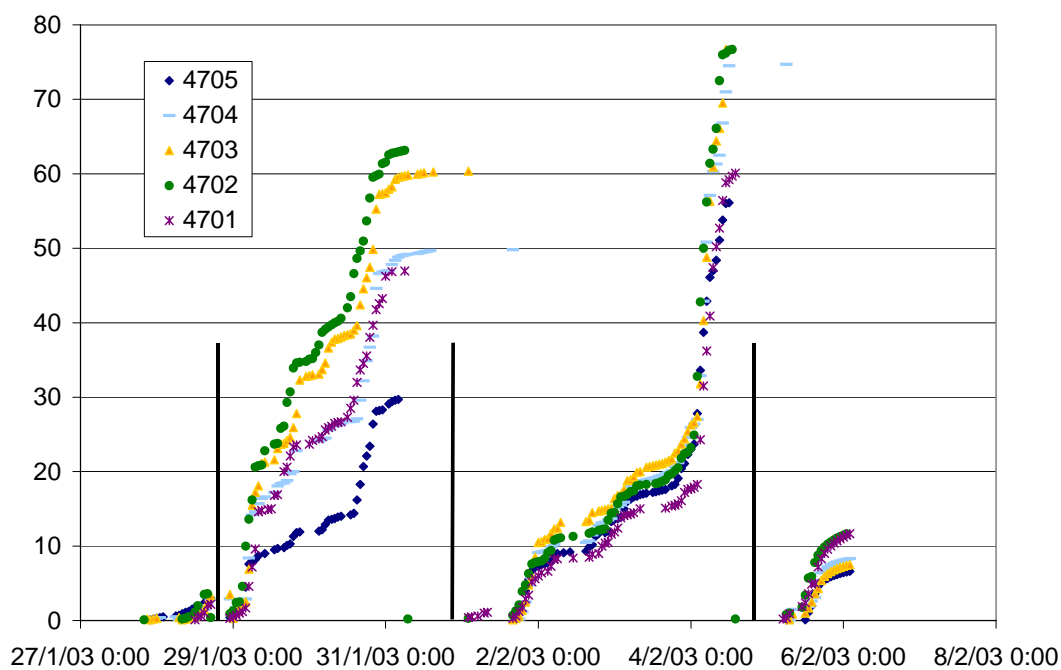


Figure 13 : Pluies cumulées sur les cinq zones pour les différents événements pluvieux identifiés.

Tableau 10 : moyenne du cumul des précipitations pour les 4 événements identifiés sur les 5 zones du bassin versant du Touch.

Date début	Date fin	Pluie moyenne(mm)	Ecart-type
28/1/03 6:12	28/1/03 17:00	3.0	0.5
28/1/03 23:00	31/1/03 9:12	50.0	11.8
1/2/03 16:12	4/2/03 13:00	69.6	9.6
5/2/03 5:48	6/2/03 2:00	9.3	1.9

Parmi les quatre événements identifiés, on s'intéressera qu'au deux principaux :

- 50 mm en 4 h avec 4 mm de pluie antécédente
- 69.6 mm en 6h avec 50 mm de pluie antécédente

Les simulations seront effectuées soit avec le MNE/MNT retravaillés sur le Touch, tel quel ou creusé de 100 mètres au niveau du réseau hydro de la BD Carthage

4.1.3 Résultats des simulations

Les figures 13 & 14 présentent les cartes de l'accumulation des flux pour les deux événements pluvieux modélisés avec le MNE/MNT retravaillés sur le Touch tel quel et les figures 15 & 16 avec le MNE/MNT recreusé.

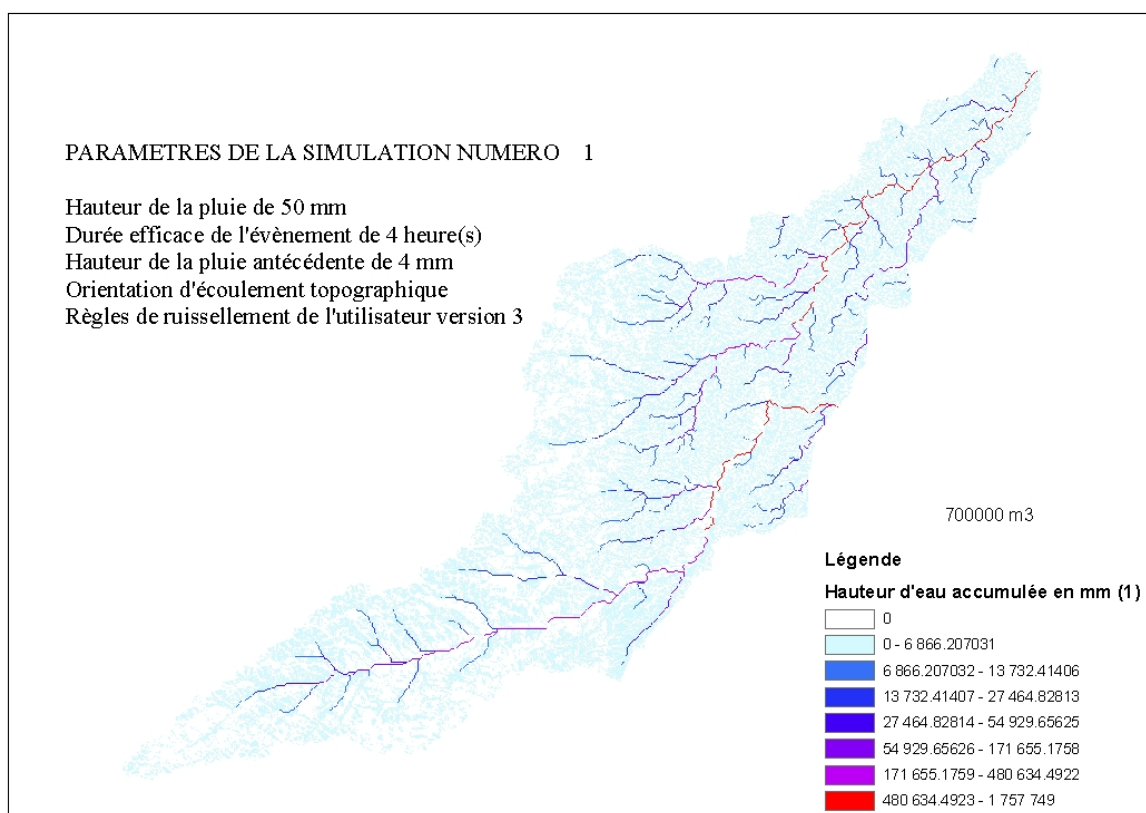


Figure 14 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 50 mm de 4h sur le bassin versant du Touch (MNE non surcreusé)

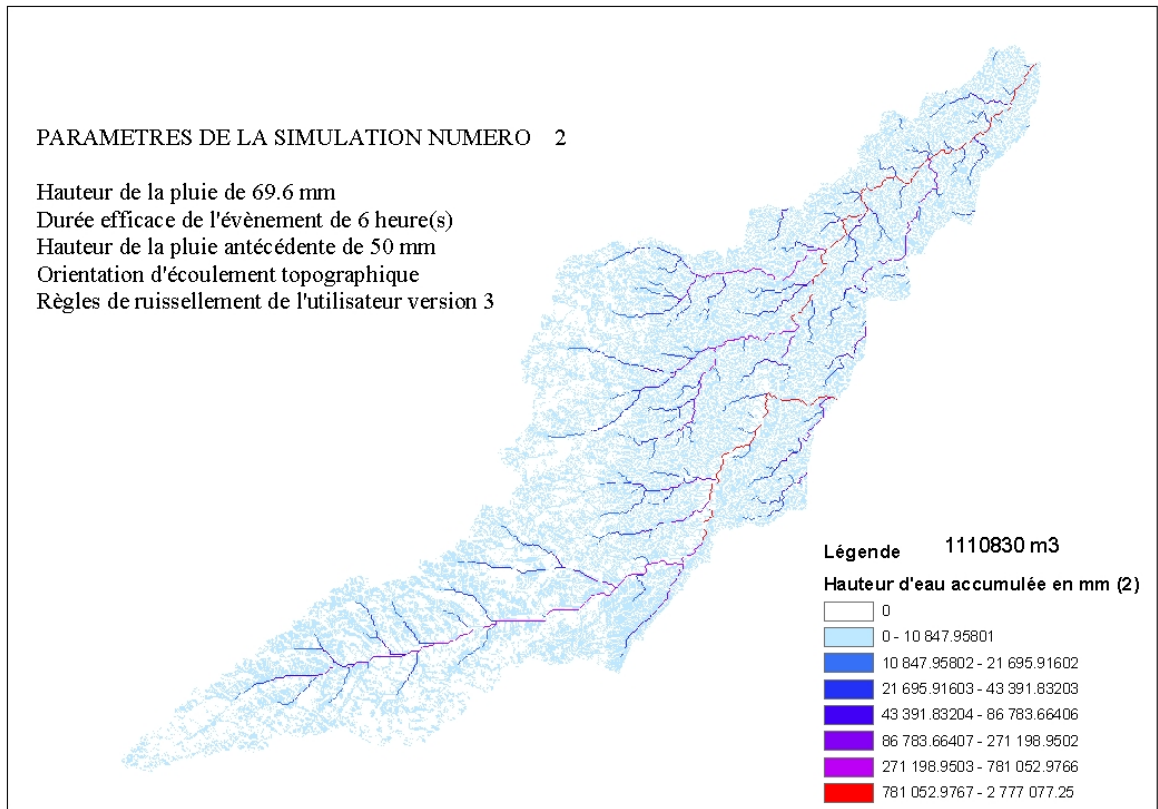


Figure 15 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 69.6 mm de 6h sur le bassin versant du Touch (MNE non surcreusé)

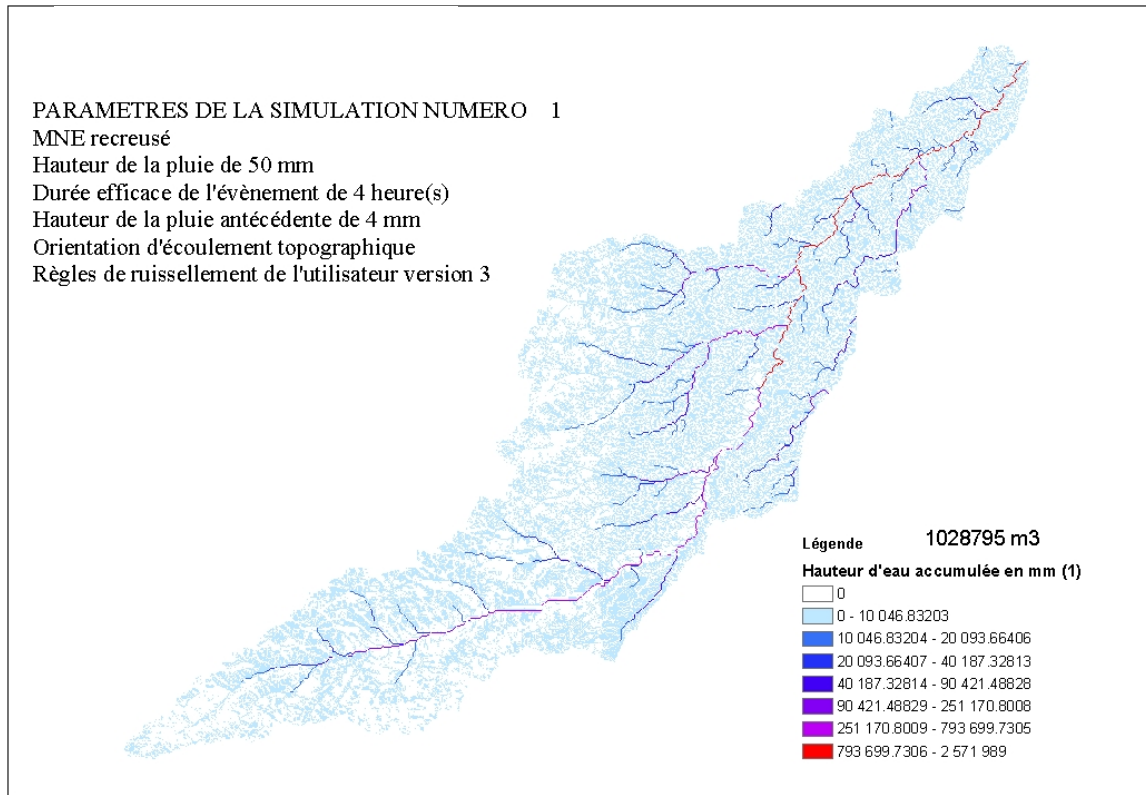


Figure 16 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 50 mm de 4h sur le bassin versant du Touch (MNE surcreusé)

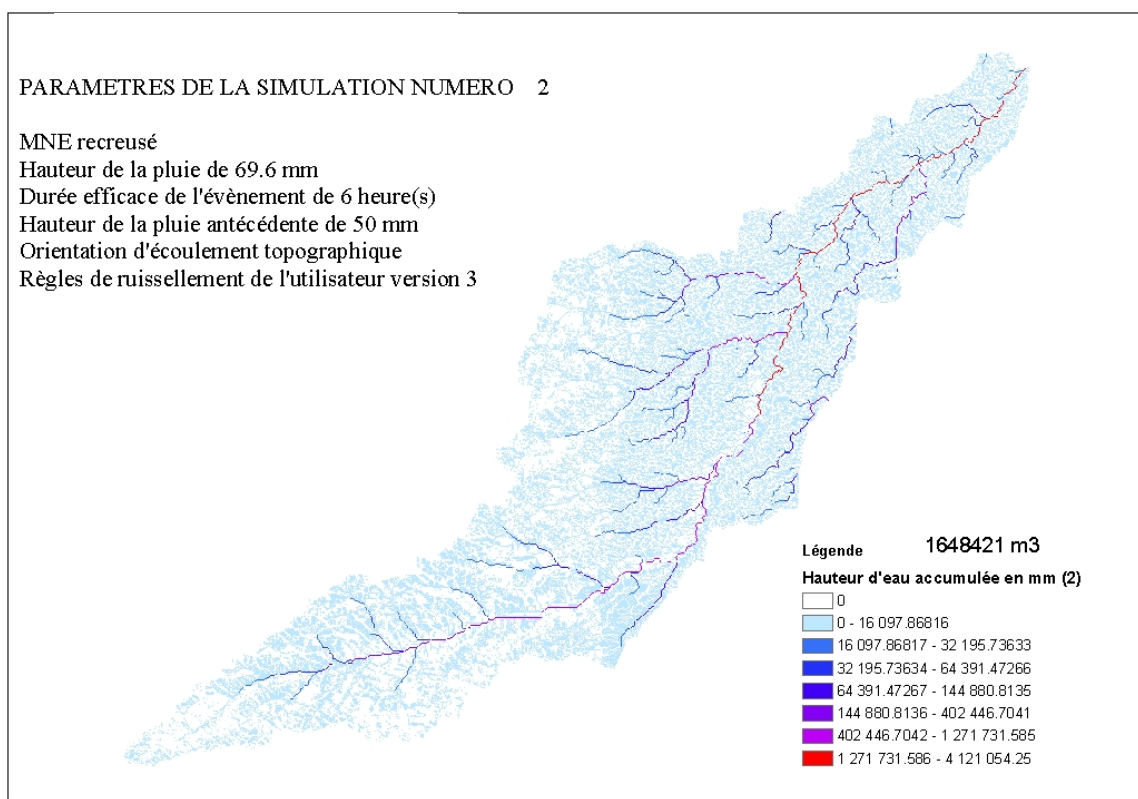


Figure 17 : Carte de l'accumulation des flux pour une pluie de 69.6 mm de 6h sur le bassin versant du Touch (MNE surcreusé)

Les simulations montrent clairement l'intérêt de modifier le MNE. Avec le MNE non recreusé, toute la partie sud-est du bassin versant est drainée à l'extérieur bien avant d'atteindre l'exutoire. Ces simulations représentent une première étape de faisabilité de la modélisation sur le bassin versant du Touch. Les prochaines étapes incluent plusieurs perspectives :

- calibrer les valeurs des capacités d'infiltration soit à l'aide de nouvelles campagnes de mesures utilisant un appareillage différent (simulateur de pluie...) et à l'aide de mesures pluies-débits/volumes ruisselés ;
- affiner la cartographie (établissement de règles de décisions basées sur l'occupation du sol, le type de culture à partir de données extraites de la littérature...);
- évaluation de l'impact de l'évolution de l'occupation du sol entre 1989 et 2002 ;
- simuler de nouvelles évolutions pouvant intervenir, scénario de changement d'occupation des terres.

4.2 HYDROTEL

4.2.1 Données d'entrée

Le modèle de simulation hydrologique utilisé, HYDROTEL, nécessite 4 types de données d'entrées qui sont préparées à l'aide du logiciel PHYSITEL (voir chapitres 2.2.1.2) ; à savoir un Modèle Numérique de terrain, une matrice d'occupation du sol, une matrice des types de sols, et accessoirement le réseau hydrographique qui détermine le bassin versant.

4.2.3.1 Le modèle numérique de terrain

Le MNE HRS SPOT 5 couvre la majorité de notre zone d'étude, le complément étant le MNT IGN à 50m.

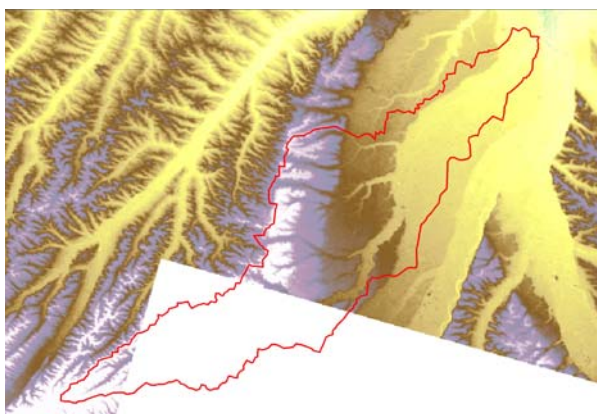


Figure 18 : Emprise du MNT HRS SPOT 5



Figure 19 : Emprise du MNT IGN à 50m

4.2.3.2 L'occupation du sol

L'occupation du sol utilisée est obtenue par classification supervisée de 2 images SPOT 4 du 23 avril et du 14 août 2002.

Les classes d'occupation du sol obtenues sont ainsi regroupées :

<u>Bois</u>	<u>Urbain</u>	<u>Prairie</u>
Bois de feuillus	Urbain	Prairie
Bois de résineux	<u>Sol nu</u>	<u>Culture d'été</u>
Friches	Sol nu	Sorgho
<u>Eau</u>	<u>Culture d'hiver</u>	Mais
Eau	Blé	Tournesol
Eau superficielle	Colza	<u>Non classé</u>
	Soja	

Tableau 11 : Classes d'occupation du sol

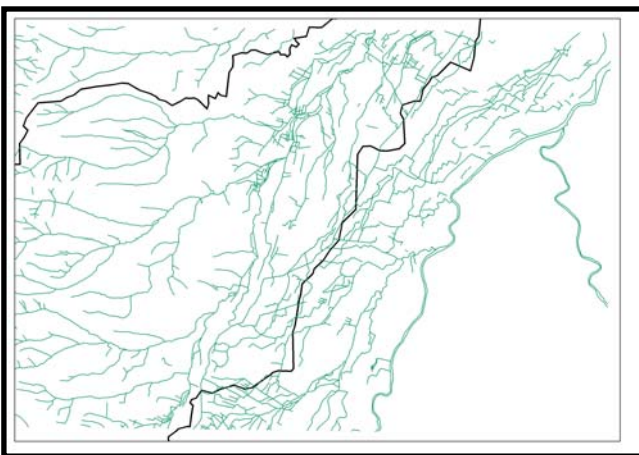
Une classification de l'occupation du sol pour l'année 2003 avec des images SPOT 5 est en cours, le terrain ayant déjà été effectué, nous sommes en attente d'une image de juillet qui complétera celle du 4 avril 2003 que nous possédons déjà.

4.2.3.3 Les types de sol

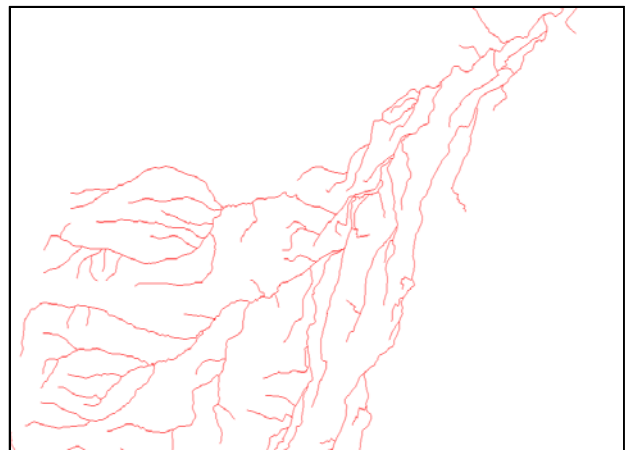
La cartographie du potentiel d'infiltration des sols obtenue par analyse multicritère permet d'affecter dans PHYSITEL à chaque classe un coefficient de perméabilité. Il faut noter que ces coefficients peuvent être modifiés dans HYDROTEL pour permettre un calage plus fin du modèle.

4.2.3.4 Le réseau hydrographique

La BD Carthage IGN® a été retravaillée à partir des Scans 25 et des connaissances du terrain car la densité du réseau dans la partie de plaine était trop grande et il existait un maillage de canaux artificiels qui « court-circuitait » le réseau hydrographique naturel.



**Figure 20 : Réseau hydrologique brut
(détail zone de plaine)**



**Figure 21 : Réseau hydrographique
modifié**

4.2.3.5 Les données météorologiques

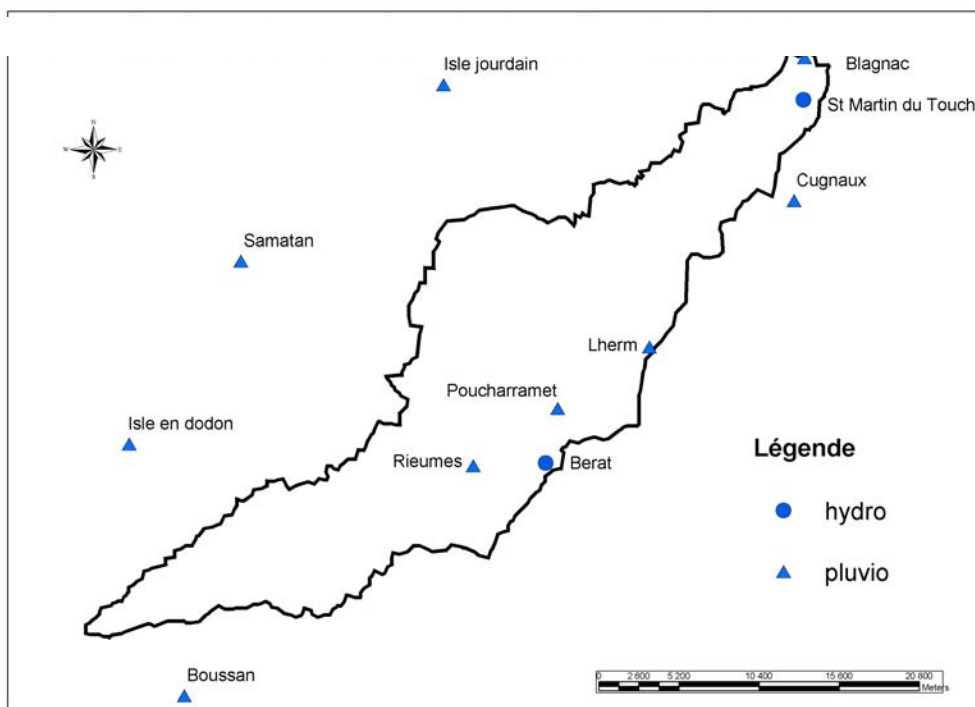


Figure 22 : Localisation des stations météorologiques et des stations hydrographiques

Les paramètres nécessaires au calage et au fonctionnement du modèle sont les précipitations : pluie ou neige, les températures minimales et maximales, ainsi que l'évapotranspiration; à défaut le logiciel calcule lui même ce dernier paramètre.

Nous avons donc ces données de début 2001 à février 2003 au pas de temps journalier sur les 9 stations météorologiques, fournies par Météo France.

Station de mesure	Date	précipitation	T° min	T° max	ETP
BLAGNAC	19960102	1.2	9.7	13.1	1.7
BLAGNAC	19960103	0	5.3	10	0.5
BLAGNAC	19960104	0	0.6	9.6	0.5
BLAGNAC	19960105	9.6	7.3	10.4	0.8
BLAGNAC	19960106	1.8	2.3	11.4	0.5
BLAGNAC	19960107	1.4	7.4	11.4	0.6
BLAGNAC	19960108	0	1.6	13.8	1
BLAGNAC	19960109	8.2	9.9	15.1	1.5
BLAGNAC	19960110	10.4	8.3	10.5	1
BLAGNAC	19960111	0.2	3.5	12.7	0.9
BLAGNAC	19960112	0.2	7.5	11.9	0.9
BLAGNAC	19960113	0	5.7	13.4	0.8
BLAGNAC	19960114	0	9.4	14.8	1.4
BLAGNAC	19960115	0	11	16.2	1.6
BLAGNAC	19960116	0	11.3	14.7	1.4
BLAGNAC	19960117	0	7.4	12.8	1.5

Tableau 12 : Exemple de données météorologiques

4.2.3.6 Les données de débit

Les données de débit au pas de temps journalier ont été obtenues à la DIREN, elles concernent les stations de Bérat et Saint-Martin du Touch. Le positionnement de ces deux stations est intéressant, celle de Bérat nous permet de découper le bassin versant en deux entités indépendantes pour le calage du modèle car elle est localisée au centre du bassin versant, celle de Saint-Martin du Touch est stratégiquement située à l'exutoire du bassin.

Station	Date	Débit
St Martin	1/1/2001	5.61
St Martin	2/1/2001	4.80
St Martin	3/1/2001	4.38
St Martin	4/1/2001	4.91
St Martin	5/1/2001	8.56
St Martin	6/1/2001	15.10
St Martin	7/1/2001	7.12
St Martin	8/1/2001	5.71
St Martin	9/1/2001	5.52
St Martin	10/1/2001	5.02
St Martin	11/1/2001	4.65
St Martin	12/1/2001	4.42
St Martin	13/1/2001	8.22
St Martin	14/1/2001	9.01

Tableau 13 : Exemple de données de débit

4.2.2 Analyse sous PHYSITEL

Le travail sous PHYSITEL est structuré en 13 étapes linéaires, c'est-à-dire qu'il est nécessaire d'effectuer l'étape N avant de passer à l'étape N+1.














	Étape 1: Importation et édition du modèle numérique d'altitudes (MNA)
	Étape 2: Détermination et édition des pentes
	Étape 3: Importation et édition du réseau vectoriel imposé
	Étape 4: Détermination et édition du réseau matriciel imposé
	Étape 5: Détermination et édition du modèle numérique d'altitudes altéré
	Étape 6: Détermination et édition des orientations
	Étape 7: Détermination du bassin
	Étape 8: Détermination du réseau hydrographique modélisé
	Étape 9: Réorientation des mailles autour des noeuds
	Étape 10: Détermination et édition des UHRH
	Étape 11: Importation et édition des occupations du sol
	Étape 12: Importation et édition des types de sols
	Étape 13: Exportation du projet PHYSITEL en format HYDROTEL

Figure 23 : Description des étapes de travail de PHYSITEL

À ce jour nous sommes rendus à l'étape 6 ; conçu des mailles d'une centaine de mètres minimum (développé initialement pour des applications hydrauliques au Canada), PHYSITEL nécessite des modifications (en collaboration avec les développeurs du logiciel) pour fonctionner avec une maille de 20 m de résolution.

4.2.3 Test sous HYDROTEL

4.2.3.7 Calage du modèle

Le modèle hydrologique choisi nécessite d'être calé sur un long pas de temps c'est pourquoi nous avons choisi de travailler sur les années 2001 à début 2003, compte tenu des 3 événements de crues sur cette période.

Ces événements sont les crues de janvier 2001, juin 2002 et février 2003.

Nous utiliserons donc les données météo, d'occupation du sol de 2002 et les mesures de perméabilité réalisées pour que les débits donnés en sortie du modèle concordent avec les débits observés.

Une fois le modèle calé, nous pourrons réaliser une série d'expérimentations qui tendront à montrer l'influence de l'occupation du sol sur les événements de crues.

4.2.3.8 Programme d'expérimentation

Dans un premier temps nous appliquerons les données météorologiques des événements de ces trois dernières années sur l'occupation du sol de 1989.

Puis, dans un deuxième temps, nous élaborerons des scénarii d'aménagements du bassin, sur lesquels nous appliquerons les météo d'une crue d'hiver et d'une crue d'été. Ces scénarii pourront être l'ajout de bandes enherbées, d'une largeur variable, le long du Touch, ainsi que l'ajout de prairies ou d'inter-cultures, limitant ainsi en hiver les parcelles en sol nu, c'est ce que nous appèlerons une occupation du sol optimisée.

Sur ces différents types de scénarii d'occupation du sol nous pourrions appliquer des données d'un événement ou d'une année très exceptionnellement pluvieuse; de l'ordre de 15 à 20 % supérieure à la normale.

Météo	D'un évènement d'hiver	D'un évènement été	D'une catastrophe
Occupation du sol			
Actuelle	S1	S2	S3
Optimisée	S4	S5	S6
Ancienne	S7	S8	S9

Tableau 14 : Combinaison des météo et des scénarii

5 Conclusion

Ce rapport d'avancement a permis de mettre en évidence la nécessité de cartographier le potentiel d'infiltration des sols, élément d'entrée dans différents modèles hydrologiques tels que STREAM ou Hydrotel qui prennent en compte les caractéristiques du bassin versant (topographie, infiltration).

L'importance des sols et de l'occupation de ces sols est avérée, une relation statistiquement robuste étant validée par rapport à une série de mesures in situ réalisée lors de l'été 2003.

Les travaux à mener lors de la seconde phase du projet concerneront :

- la finalisation des modélisations présentées dans ce rapport ;
- l'analyse fine de l'occupation du sol en zone inondable (SPOT 5) ;
- l'impact de l'évolution de l'occupation du sol entre 1989 et 2003 ;
- l'importance de la relation entre la nappe alluviale et la rivière Touch lors de crues.

Bibliographie

Ayral P-A., Sauvagnargues-Lesage S., 2003, Élaboration par SIG d'une couche d'information sur les capacités d'infiltration d'eau dans le sol permettant l'établissement d'un indicateur pour l'annonce des crues, rapport intermédiaire 1 et 2, École des mines d'Alès, 114 P.

Beauchamp J., 2001, éléments de pédologie et d'hydrogéologie, page Web : <http://www.u-picardie.fr/~beaucham/mst/mst-plan.htm>

Bonneau M., Souchier B., 1994, *Pédologie, tome 1, constituants et propriétés du sol*, deuxième édition. P 395 – 424.

Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., Lecomte V., Couturier A. 2000. 'The elementary process of runoff: the STREAM model, a tool of understanding and simulation'. Performances and results. FLOODGEN final Session. 20/01/2000, Ispra, Italy.

Cerdan, O., Souchère, V., Lecomte, V., Couturier, A. and Le Bissonnais, Y. 2002. 'Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff and erosion model STREAM (Sealing Transfer Runoff Erosion Agricultural Modification)', *Catena*, 46, 189-205.

Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Souchère, V., Martin, P. and Lecomte, V. 2002a. 'Concentration of suspended particles in interrill flow', *Earth Surface Processes and Landforms*, 27 (2), 193-205.

Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A., Saby N. 2002b. Modelling interrill erosion in small cultivated catchments. *Hydrological Processes* 16 (16), 3215-3226.

Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., Couturier A., Bourennane H. 2002c. 'Rilling development on cultivated hillslopes during two extreme events'. *Soil & tillage Research* 67 (1), 99-108.

Chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées, 1995, Les grands ensembles morpho-pédologiques de la région Midi-Pyrénées.

Chaplot V, Le Bissonnais Y. 1999. Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surf. Process. Landforms* 24:1-10.

Denier J.P., Ducuing J-L., Goutorbe J.P., Pierotti S. - PACTES, un projet d'amélioration de la gestion des inondations combinant avancées scientifiques et technologies du spatial, 14 P

Desprats J.F., Denux J.P., Sidgwick J., Wyns R., Flament N., Dutartre Ph., Bertin C., Parc Naturel des Grands Causses. Cartographie des formations superficielles du bassin-versant du Rance, BRGM, Décembre 2002. 56P.

Fortin J.P., R. Turcotte, S. Massicotte, R. Moussa, J. Fitzback et J.P. Villeneuve (2001) A Distributed Watershed Model Compatible with Remote Sensing and GIS Data, Part 1: Description of the model, *Journal of Hydrologic Engineering*, American Society of Civil Engineering.

Fortin J.P., R. Turcotte, S. Massicotte, R. Moussa, J. Fitzback et J.P. Villeneuve (2001) A Distributed Watershed Model Compatible with Remote Sensing and GIS

Data, Part 2: Application to the Chaudière watershed, Journal of Hydrologic Engineering, American Society of Civil Engineering.

Fortin, J.P., R. Moussa, C. Bocquillon et J.P. Villeneuve (1995). HYDROTEL, un modèle hydrologique distribué pouvant bénéficier des données fournies par la télédétection et les systèmes d'information géographique. Revue des sciences de l'eau, 8(1): 97-124.

Gallien E, Le Bissonnais Y, Eimberck M, Benkhadra H, Ligneau L, Ouvry JF, 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.

Gras, R., 1988, Physique du sol pour l'aménagement. P 310 – 344.

Le Bissonnais Y., Montier C., Daroussin J., King D. 1998. Cartographie de l'Aléa " érosion des sols " en France. Collection Études et travaux. IFEN, Orléans, 63 pp. (se trouve sur le site Web <http://www.ifen.fr/erosion/methsom.htm>)

Le Bissonnais Y., Cerdan O., Lecomte V., Benkhadra H., Souchère V., Martin P. 2002. Spatial and temporal variability of soil surface characteristics influencing infiltration, runoff and interrill erosion of cultivated fields (accepted for publication Catena).

Le Bissonnais Y., Le Souder C., 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Dans la revue Etude et Gestion des Sols 2, 1, P 43-56.

Lecomte V. 1999. Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant - Processus, déterminisme et modélisation spatiale. Thèse de doctorat de École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Spécialité Science de l'Eau, 212 pp. + annexes.

Lecomte V, Le Bissonnais Y, Renaux B, Couturier A, Ligneau L. 1997. Érosion Hydrique et transfert de produits phytosanitaires dans les eaux de ruissellement. Cahiers Agricultures 6: 157-183.

Lecomte V., Le Bissonnais Y., Cerdan O. 2004. Effect of vegetated filter strips on runoff and erosion Agronomie.

Martin P. 1997. Reducing flood risk from sediment-laden agricultural runoff using intercrop management techniques in northern France. Soil & Tillage Research 52: 233-245.

Rawls W.J., Brakensiek D.L., 1989, estimation of soil water retention and hydraulic properties dans Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice, H.J. Morel-Seytoux, P 275-300

Soltner Dominique, 2003, Les bases de la production végétale, tome 1 : le sol est son amélioration, 23ème édition.

Tessier D., Bruand A., Le Bissonnais Y., Dambrine E., 1996, Variabilité chimique et physique des sols : variabilité spatiale et évolution. Dans la revue étude et gestion des sols 3, 4. P 229 – 244.

Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Service "Aménagement et Risques Naturels"
3, avenue Claude Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France
Tél. 02 38 64 34 34 – Fax 02 38 64 35 18