



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

Modélisation des crues du bassin cévenol du Rieutord à Sumène au sud de la France

Présenté par:

ZIYAD Jawad

Encadré par:

- Christophe BOUVIER, Hydrosience-Montpellier (France)
- Lahcen BENAABIDATE, FST – Fès (Maroc)

Soutenu Le 24 Juin 2011 devant le jury composé de:

- Mr. Lahsen BENAABIDATE
- Mr. Christophe BOUVIER
- Mr. Abdellah DRIDRI
- Mlle. Nanée CHAHINIAN
- Mr. Abderrahim LAHRACH

Stage effectué à : Maison des Sciences des Eaux (Hydrosience), Montpellier (France)



Institut de recherche
pour le développement



HydroSciences
Montpellier

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	5
I. Introduction.....	6
II. Les crues en sud de France et stratégies de prévention.....	6
II.1. Les crues en sud de France.....	6
II.2. Stratégies de prévention.....	7
CHAPITRE I : Les processus de formation des crues méditerranéennes cévenoles.....	10
I. Observation générale sur les crues :.....	10
II. Mécanismes de la genèse des crues « éclair ».....	11
II.1. Facteur climatique.....	11
II.2. Facteur physique.....	14
CHAPITRE II : Caractéristique générale de bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène.....	17
I. Introduction.....	17
II. Cadre géographique général.....	17
II.1. Climat.....	18
II.2. Le contexte physique de bassin versant.....	18
II.3. Etude de la variabilité spatial du sol :.....	23
CHAPITRE III : Analyse des caractéristiques pluviométriques.....	27
I. Le réseau météorologique de bassin versant de Rieutord à Sumène :.....	27
I.1. Les données de pluie.....	28
I.2. Corrélation interpostes :.....	30
CHAPITRE IV : Etalonnage des débits des crues.....	32
I. Exploitation des données.....	32
I.1. Caractéristiques du bief étudié.....	32
I.2. Interface sur le Modèle utilisé :.....	35
I.3. Coefficients de Manning (rugosité).....	36
I.4. Simulation des lignes d'eau pour différents débits.....	36
I.5. Résultats :.....	38
II. Délimitation et caractéristiques des épisodes averse-crue.....	40
CHAPITRE VI : Modélisation pluie-débit.....	43
I. Objet et enjeux de la modélisation pluie-débit.....	43
I.1. Classification des modèles pluie débits:.....	43
I.2. Présentation de modèle ATHYS.....	44
II. Le modèle hydrologique spatialisé MERCEDES.....	45
II.1. Les étapes La transformation pluie-débits spatialisée par MERCEDES.....	46
II.2. Calage des paramètres.....	49
III. Conclusion.....	52
CONCLUSION ET PRESPECTIVE.....	53
BIBLIOGRAPHIE.....	54
ANNEXES.....	56

LISTES DES FIGURES

Figure 1: classement des stratégies de gestion des inondations	7
Figure 2: Exemple de Carte de vigilance émise de 06 septembre 2005 par Météo France.....	9
Figure 3: Courant ascendant et descendant dans un cumulonimbus (Météo France)	12
Figure 4: nombre des épisodes ayant apporté 200 mm par département (1974-2003) (Météo France).....	13
Figure 5 : L'épisode cévenol (Source : www.prim.net)	14
Figure 6: Principaux processus de ruissellement (Tiré de Ambroise, 1991).....	15
Figure 9 : Situation géographique de bassin de cévenol de Rieutord à Sumène	17
Figure 10: Vue en 3D du MNT de la Vallée de Rieutord.....	18
Figure 11: Carte géologique harmonisée de BV cévenol Rieutord à Sumène de (BRGM)	19
Figure 12: Log stratigraphie de la série de Sumène (ALABOUVETTE, 1988)	20
Figure 13: Carte hypsométrique du bassin versants cévenols de Rieutord à Sumène	21
Figure 14: Courbe hypsométrique de bassin cévenol de Rieutord	21
Figure 15: carte des pentes en degré de bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène	22
Figure 16: Carte d'occupation du sol de bassin cévenol Sumène à Rieutord de 2006	24
Figure 18: les pourcentages des surfaces occupées par les profondeurs du sol.....	25
Figure 17 : Carte des substratums avec des profondeurs en cm des sols de bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène.....	25
Figure 19 : Pourcentage des textures de la terre fine.....	26
Figure 20: Régime hydrique de bassin versant	26
Figure 21: dispositifs de mesure de bassin versant cévenol de Sumène à Rieutord	27
Figure 22 Précipitations journalières au poste de Mas Daumet de 01/07/2009 au 23/03/2011	28
Figure 23: Précipitations journalières au poste de Saint Martial de 01/07/2009 au 23/03/2011	29
Figure 24 : Précipitations journalières au poste de Sumène de 01/07/2009 au 23/03/2011	29
Figure 25: Relation entre les pluies journalières aux postes de Mas daumet et ST Martial sur la période de 2009 au 2010	30
Figure 26: Relation entre les pluies journalières aux postes de Mas daumet et ST Martial sur la période de 2009 au 2010	30
Figure 27: Relation entre les pluies journalières aux postes de Mas Daumet et Sumène sur la période de 2009 au 2010	31
Figure 28: Schéma montrant les principes de la simulation hydraulique par la méthode de HEC-RAS	32
Figure 29: Situation des profils en travers modélisé de Juin 2009	33
Figure 30: les sections (1, 2, 3) choisie en juillet 2008	33
Figure 31: La section N°4 situé près du pont de Sumène (station hydrométrique) de juillet 2008.....	33
Figure 32: Les sections N° (5 et 6) de juillet 2008.....	34
Figure 33 : Situation des profils en travers et les distances interpostes de juillet 2008.....	34
Figure 34 : Paramétrage d'un profil en travers.....	35
Figure 35 : la forme de la section N°4 et la profondeur de l'eau pour un débit de 2,84m ³ /s	36
Figure 36 : Les variables sorties du profil en travers section N° 6 de juillet 2008.....	37
Figure 37 : Le profil de la surface libre le long de secteur mesuré en juillet 2008.....	37
Figure 38 : Comparaison de la courbe de tarage.....	38
Figure 39 ; Les sections les plus proches de l'échelle limnimétrique	39
Figure 40: Les courbes de tarages obtenues à partir des simulations hydrauliques des levés topo de 2008, 2009, 2011.	39
Figure 41 : les courbes des étalonnages obtenus en lit mineur	40
Figure 43 : Débits instantanés (Qi) de la station hydrométrique et précipitation journalière (Station Mas Daumet) de l'année hydrologique 2008/2009.....	41
Figure 42 : Débits instantanés (Qi) de la station hydrométrique et précipitation journalière (Station Mas Daumet) de l'année hydrologique 2009/2010.....	41
Figure 44 : Débits instantanés (Qi) de la station hydrométrique et précipitation journalière (Station Mas Daumet) de l'année hydrologique 2010/2011.....	42
Figure 45 : Schème de modèle global et modèle distribué	44
Figure 46: Schème de modèle continu et modèle événementiel	44
Figure 47: le MNT de bassin versant sous le module VICAIRES	46

Figure 48: Schéma récapitulatif du modèle SCS avec vidange.....	48
Figure 49 : Calage de l'épisode n°3 sur bassin cévenol de Sumène à Rieutord sous MERCEDES. Indiquer les valeurs finales des paramètres : $S = 250$, $w = 0.7$, $ds = 0.4$, $Vo = 2.5$, $Ko = 2$	50
Figure 50 : Calage de l'épisode n°4 sur bassin cévenol de Sumène à Rieutord sous MERCEDES Indiquer les valeurs finales des paramètres : $S = 250$, $w = 0.7$, $ds = 0.4$, $Vo = 2.5$, $Ko = 2$	51
Figure 51: Calage de l'épisode n°5 sur bassin cévenol de Sumène à Rieutord sous MERCEDES Indiquer les valeurs finales des paramètres : $S = 250$, $w = 0.7$, $ds = 0.4$, $Vo = 2.5$, $Ko = 2$	51
Figure 52: La structure de la base de données « DoneSol.....	57
Figure 53 : Schéma des différents objets et des informations géographiques et sémantiques sur ces objets	58
Figure 54: Carte de localisation des unités cartographiques du sol.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant cévenole Rieutord à Sumène	22
Tableau 2: Table des différents types de végétaux en pourcentage et la surface occupé.....	23
Tableau 3 : Table des postes pluviométrique	28
Tableau 4 : les débits adaptés pour la simulation hydraulique	38
Tableau 5 : tableau des fonctions polynomiales	40
Tableau 6 : Traduction de l'organisation de la couverture pédologique dans un USC donnée	59
Tableau 7: Surface occupée de chaque polygone de Num_UCS avec le nombre et le pourcentage d'occupation des UTS dans un UCS.....	59

TABLEAU DES ANNEXES

Annexe 1 : SCHAPI	56
Annexe 2 : Description de la base de Données de l'organisation du sol... ..	57
Annexe 3: Exemple de section en travers.....	60
Annexe 4: Coefficient de Manning.....	62
Annexe 5: Tableau des jaugeages.....	64
Annexe 6 : tableaux des Curve Nombre (CN).....	65

INTRODUCTION GENERALE

Les inondations sont une cause importante des dommages causés aux personnes et aux biens. Une forte demande existe pour prévenir et prévoir ces catastrophes naturelles, des calculs de crues de projets pour l'aménagement hydraulique des vallées et des prévisions en temps réel.

Malgré tous les efforts, il apparaît bien aujourd'hui que pour les crues de grande période de retour, les inondations demeureront une fatalité, dans le cas des crues exceptionnelles. La seule chose à faire reste d'alerter avec le plus d'anticipation possible la population, afin de réduire les dégâts que causeront ces grandes inondations (Andréassian, 2005).

L'intervention des modèles hydrologique, utilisent les connaissances pluviométrie en tout point du réseau hydrographique, reste un outil permettant la prévision des crues en temps réel.

Dans cette étude, nous cherchons à tester un modèle hydrologique sur un bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène pour faire ultérieurement de la prévision des crues.

Le présent travail est composé de 5 chapitres :

Chapitre 1 : décrit les différents facteurs climatiques et les processus physiques associés aux crues méditerranéens, pour une observation du phénomène à l'échelle de petit bassin.

Chapitre 2 : études des caractéristiques et de la variabilité spatiale de bassin versant. C'est aussi dans ce chapitre nous s'interprétant les données disponibles du sol.

Chapitre 3 : on s'approche à un traitement des données pluviométriques avec une corrélation des mesures entre les stations.

Chapitre 4 : introduis des approches hydrauliques pour déterminer la courbe d'étalonnage des crues de la station hydrométrique à partir des mesures de vitesse de l'eau sur terrain et des simulations hydrauliques sous programme de simulation " HEC RAS", à travers des sections de référence. À partir de ces données et résultats on essaie de délimiter les épisodes crues-averses les plus marquants.

Chapitre 5 : Après avoir présenté les enjeux et l'objet de la modélisation des pluies-débits, nous essayons par la suite de définir le modèle spatialisé qu'il est utilisé sous une plate forme ATHYS, pour les procédures de calage/validation de modèle, et par la suite en essai d'évaluer la performance du modèle.

I. Introduction

Tous les pays du monde ont connu des catastrophes naturelles, qui ont eu des effets considérables sur l'humanité et sur l'environnement en général. L'inondation constitue parmi celles-ci le phénomène le plus néfaste et qui cause plus des dégâts et des dommages très considérables. En France, l'inondation est le premier des risques de catastrophe et concerne, selon l'Institut français de l'environnement, « deux communes sur trois » par un divers risque d'inondation, dont trois cents grandes agglomérations. L'intensité varie d'une région à une autre selon la situation géographique et les techniques de prévention de ce risque. Deux millions de personnes vivent à proximité d'un cours d'eau (Marchandise, 2007).

II. Les crues en sud de France et stratégies de prévention

II.1. Les crues en sud de France

Le sud de France est soumis à des inondations de forte ampleur qui ont marqué les mémoires de la région à cause de sa position géographique et les différentes conditions climatiques auxquelles sont soumises.

Les bassins versant du sud de France font partie du grand bassin méditerranéen, qui possède une géographie plus particulière au monde ; un bassin océanique quasi fermé, une orographie marquée sur son pourtour, un climat très contrasté et une forte urbanisation. Ces caractéristiques en font un système complexe où les processus couplés atmosphère /océan /surfaces continentaux sont prépondérants. Les interactions et rétroactions produites jouent un rôle essentiel sur le climat et l'environnement régionaux. Elles sont à l'origine d'événements extrêmes à la prévision délicate : pluies intenses et crues, vents violents et brassages océaniques importants, sécheresses (selon le rapport 2007 du projet HyMeX (Hydrological cycle in the Méditerranéen Experiment)).

Aussi, le sud de la France est soumis à des régimes pluviométriques très intenses au cours des saisons. Des pluies de violentes intensités de plusieurs à centaines mm/h sont à l'origine de crues typiques, dites « **crues éclaires** », dévastatrices et parfois meurtrières. Le climat méridional, en particulier **le régime Cévenol**, agit d'une façon directe à la formation des crues éclaires, du fait de :

- La proximité de la mer Méditerranée, une mer fermée, qui, tout au long de l'été accumule de l'énergie solaire et à partir de l'automne elle la restitue aux masses d'air proche de la surface qui remonte des îles Baléares les rendent humides et potentiellement instables.
- Le soulèvement des vents dominants de basses couches vient buter contre une "barrière". Si le contournement ne peut se faire aisément, tout ou partie du flux s'échappe vers le haut.

La région sud a connue ces dernières 20 années des inondations catastrophiques dues à des crues éclairées, on peut citer

- ✓ les inondations de Nîmes en 3 octobre 1988, des dégâts très importants : l'hôpital et le centre de communication furent détruits, avec 10 morts.
- ✓ Vaison-la-Romaine le 22 septembre 1992, 6heures de montée de l'eau à raison d'un mètre toutes les dix minutes, La catastrophe fit 46 morts.
- ✓ Aude, Tarn, Pyrénées-Orientales en Novembre 1999 : crue d'une ampleur géographique immense (4 départements) : 36 morts dont 3 dans les Pyrénées-Orientales. des conséquences humaines et matérielles.
- ✓ Le Gard, le Vaucluse et l'Hérault en 8 et 9 septembre 2002, avec un bilan de 24 morts, 12 disparus, environ 300 communes touchées et plus de 10 milliards d'euros de dégâts.

II.2. Stratégies de prévention

La volonté d'éradiquer de ce risque en contrôlant l'aléa vers une gestion plus globale du risque pour la maîtrise de la vulnérabilité dans les zones exposées, ce fait par une politique développée de protection contre les inondations, et des outils et des méthodes de plus en plus multidisciplinaires.

Dans la multitude des mesures de lutte contre les inondations, par le gouvernement français et européen, l'accent est mis prioritairement sur les mesures non structurelles de prévention pour réduire durablement les dommages aux personnes et aux biens dans le respect des exigences environnementales (Figure1)

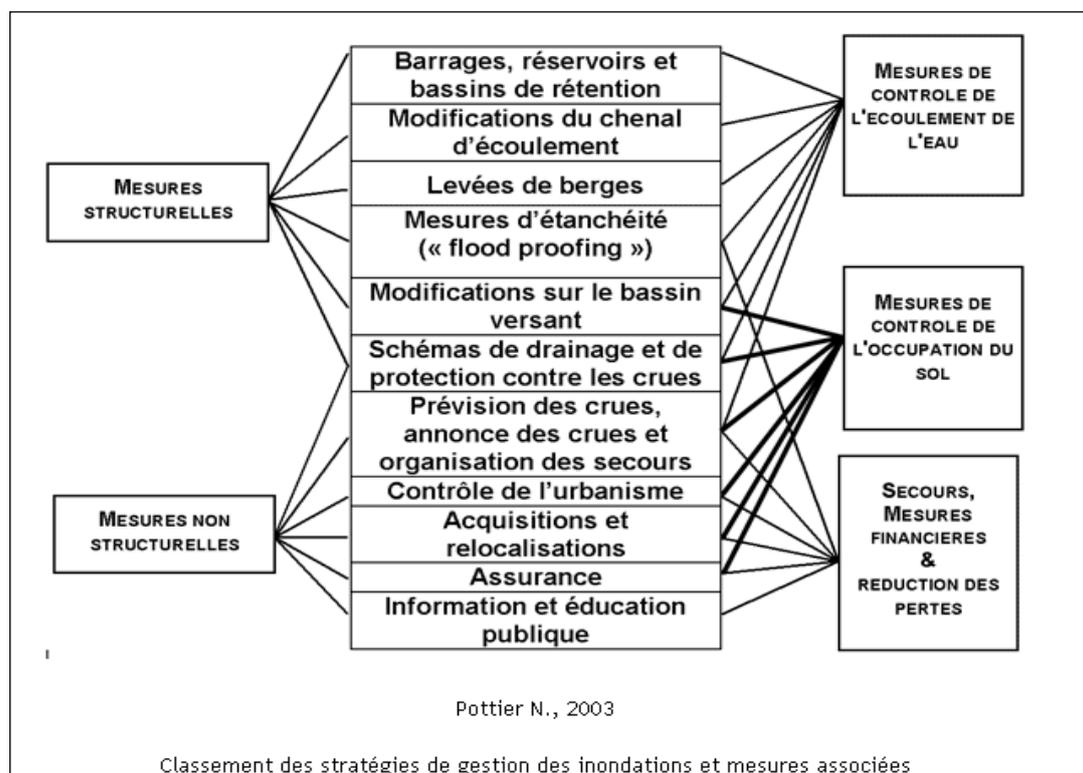


Figure 1: classement des stratégies de gestion des inondations

La France, depuis 12 ans, a mis un Plan Prévention du Risque Inondation (PPRI) à l'échelle d'un bassin versant ou d'un tronçon de vallée important pour une vision globale du phénomène. Cette approche intercommunale est créée en 1995 par une loi « Barnier »; il résulte de la confrontation de l'aléa hydrologique, établi à partir de données historiques et/ou de modélisations, avec les enjeux du territoire (humains et matériels).

Le plan de prévention des risques inondation est un document prescrit et approuvé par l'Etat, Préfet de département. D'après Direction Régionale de l'Environnement, le PPRI a pour but de :

- Etablir une cartographie aussi précise que possible des zones de risque.
- Interdire les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses, les limiter dans les autres zones inondables.
- Prescrire des mesures pour réduire la vulnérabilité des installations et constructions existantes.
- Prescrire les mesures de protection et de prévention collectives.

Le **PPRI** a des conséquences sur :

-La constructibilité : l'extension des constructions peut être interdites ou soumis prescriptions comme des contraintes de maintien de la libre circulation des eaux.

-La réduction de la vulnérabilité sur le bâti existant, la réalisation de diagnostics du bâti, la pose de batardeau, la création d'espaces refuges, la protection de certains équipements. Les travaux impossibles dans la limite de 10% de la valeur vénale du bien peuvent être financés par le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs.

-l'information de population au risque des acquéreurs et locataires :

Repères de crues : les communes doivent procéder à la pose de repères de crues, visibles de la voie publique.

Réunions communales d'information : les communes dotées d'un PPR prescrit ou approuvé organisent tous les 2 ans des réunions d'information du public.

Plan communal de sauvegarde : les communes dotées d'un PPR approuvé doivent rédiger et le cas échéant mettre en œuvre un plan communal de sauvegarde.

➤ **Vigilance météorologique :**

Météo-France travaille en collaboration avec ses partenaires (ministère de l'Intérieur, ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer, et ministère de l'Ecologie et du développement durable) pour informer la population française en cas des phénomènes météorologiques dangereuses en métropole.

Depuis 2001, il établit des cartes de vigilance météorologique à 24 heures (Figure 2), à l'échelle départementale. Cette carte est réactualisée 2 fois par jour à 6h et 16h. Si un changement notable intervient, elle peut être réactualisée à tout moment.

La Vigilance météorologique est destinée à informer toute la population, particulière ou professionnelle, sous une forme simple et claire. Elle est aussi destinée aux pouvoirs publics en charge de la sécurité civile, qui alertent et mobilisent les équipes d'intervention de la protection civile et aux autorités sanitaires qui alertent et mobilisent les professionnels et structures de santé.

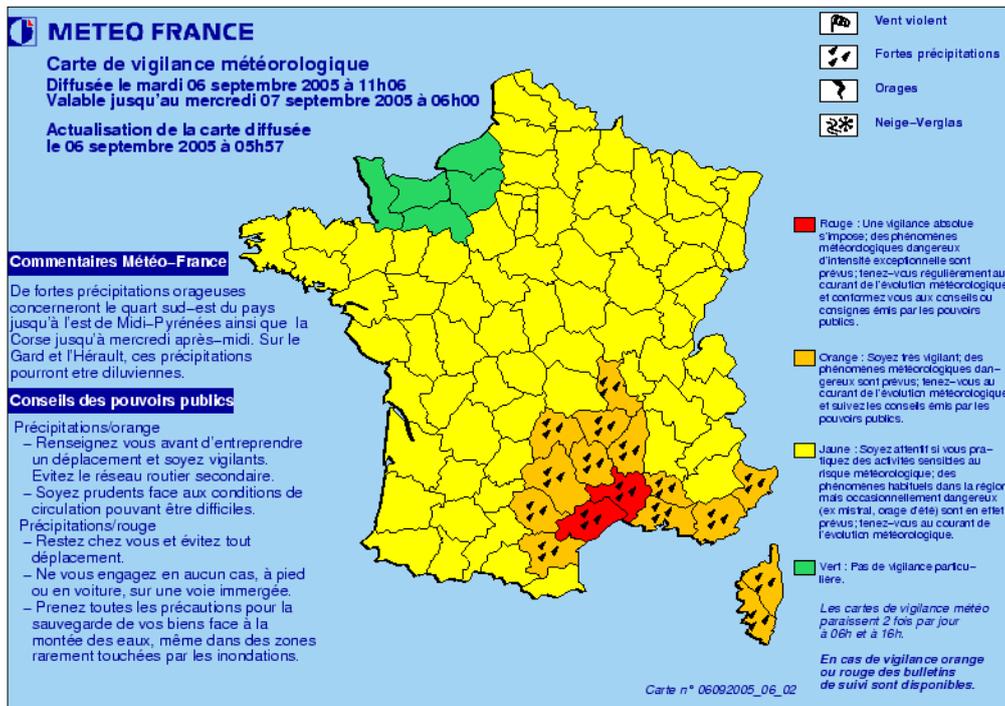


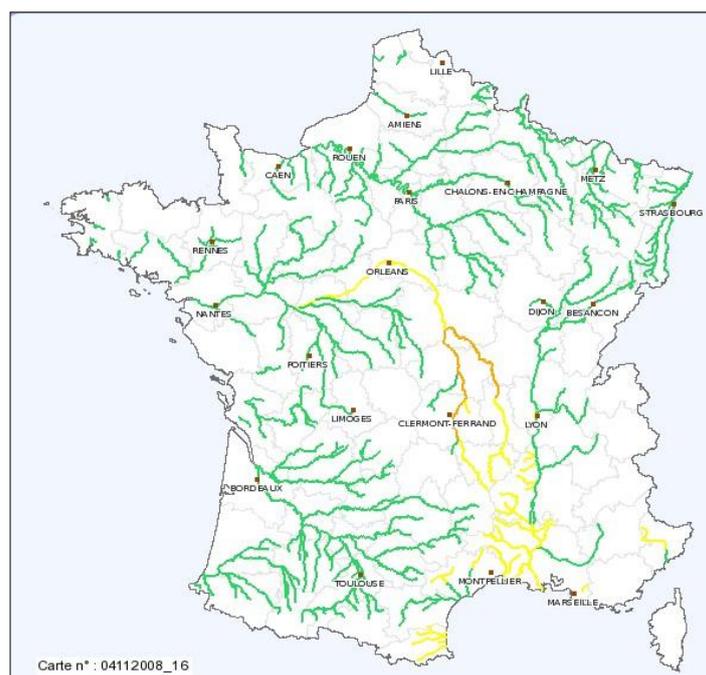
Figure 2: Exemple de Carte de vigilance émise de 06 septembre 2005 par Météo France

➤ **Vigilance hydrologique :**

La vigilance hydrologique des crues est veillée sous une attitude par un grand nombre d'acteurs possibles ; services de l'État, maires, présidents de conseils généraux, médias, public.

En 1^{ère} juillet 2006, les services de prévision des crues (SPC) et Service Central d'Hydrométéorologie et d'Aide à la Prévision des Inondations (SCHAPI) (Annexe 1) élaborent et publient (cartes de vigilance et bulletins d'information) accessible directement ou simultanément par le public et par les acteurs intéressés.

Autrement la vigilance exige une simplification et recentrait de l'alerte « crues » sur des phénomènes hydrologiques vraiment intenses (couleurs orange et rouge) qui, par leurs conséquences, peuvent justifier la mise en œuvre d'un dispositif de gestion de crise.



CHAPITRE I : Les processus de formation des crues méditerranéennes cévenoles

I. Observation générale sur les crues :

La notion de la crue est définie par la réponse d'un bassin versant à une averse ou à un épisode pluvieux (Roche, 1986). D'une manière classique, un cours d'eau est considéré en crue si son débit est de 3 à 5 fois supérieures à son débit moyen (Salomon, 1997).

Plusieurs causes à l'augmentation du débit d'un cours d'eau sont possibles (AYRAL, 2005):

- Les crues d'embâcle
- Les crues de fonte des neiges
- Les crues averses

Les crues d'embâcles sont celles qui entraînent des catastrophes les plus importantes, dans la mesure d'un barrage naturel.

Les crues de fonte des neiges sont induites par l'augmentation de la température qui fait fondre, de manière plus ou moins brutale, la neige.

Les averses à l'origine des crues peuvent être de 3 types : orographique et/ou cyclonique, durable et enfin brutale :

- Les averses générées par les précipitations de type orographique ou cyclonique sont celle qui provoque les cumuls de pluie les plus importants. Ce phénomène est caractéristique des zones de mousson en piedmont des massifs montagneux, ainsi, c'est l'Inde qui détient tous les records (Salomon, 1997) : à Tcherapoundji (*Nord-est de l'Inde sur les contreforts de l'Himalaya*) par exemple, il est tombé 23 000 mm en une année.
- Les averses durables se caractérisent par des précipitations moins intenses, ils affectent des zones plus importantes sur un temps plus long. Les crues engendrées sont caractéristiques des grands bassins versant.
- Enfin les averses brutales sont liées au déplacement d'un front orageux qui produit des lames d'eau très importantes dans les délais très brefs. La façade méditerranéenne est particulièrement soumise à ce type d'averse.

Les averses brutales sont à l'origine des crues qui seront ici qualifiées de **crues éclair** et qui constituent l'objet d'étude de travail de recherche.

Tous d'abord, on aborde le phénomène climatique principal qu'il est la cause essentielle à des paroxysmes pluvieux (pluie intense) générant des crues de type éclair.

II. Mécanismes de la genèse des crues « éclair »

II.1. Facteur climatique

Les crues sont conçues par leur grave intensité surtout sur des petits bassins, les crues éclair ont une étendue sur des petits bassins inférieurs à 1000 km², c'est que ce traduit par une réaction rapide des bassins, des débits spécifiques très élevés avec des écoulements en surface liée à la saturation des sols par un dépassement de la capacité d'infiltration du sol ou bien des écoulements qui génèrent sur des zones contributives saturées. En outre des ruissellements sur des sols non saturés qui dépendent de l'état de surface du sol (Ruissellement *hortonien*)

Les crues sont résulté par plusieurs facteurs climatique, hydrologique et géographique particulière, il est important de tenir compte les différentes de ces facteurs pour mieux comprendre les formations de ces typiques crues « éclair ».

Les crues « éclair »

Les crues éclair, par définition, selon l'association internationale des sciences hydrologiques, c'est des crues de courte durée, difficilement prévisible, avec un débit maximal instantané relativement élevé qu'ils sont liés à des épisodes pluvieux intenses qui se produisent sur des bassins.

Les crues éclair « Flash flood » sont générés par des pluies très fortes quantité avec des cumuls d'ordre de 100mm en 24 heures sur des régions montagneuses et de 50 mm en 24 heures dans les régions plaines.

D'une façon climatique la genèse des crues éclair est lié à une combinaison atmosphère sol particulière d'origine souvent des nuages de type convectif. Ces nuages sont capables des orages convectifs et des précipitations de forte intensité.

Les nuages convectifs qui se produisent du passage d'air froid et humide sur une surface plus chaude ou par ascendance orographique, et son déplacement sont lié au vent en altitude. Ceci agit par un échauffement du sol par l'énergie solaire ce qui varie la densité de l'air, l'air chaud s'élève et l'air froid a tendance à tomber, puisque l'air chaud continu a monté jusqu'à ce que sa température est supérieure à la température de l'air ambiante (il cesse donc de s'élever), l'ascension des ses masses d'air en dessus de l'atmosphère instable (qui cesse les mouvements d'ascendance et rétablit l'équilibre des masses d'air) sur les flans des reliefs, au cours de l'ascension les parcelles d'air commencent à se refroidir, il arrive un moment où ces parcelles atteignent le point de rosée pour passer par la suite à la condensation, cela constitue une source d'énergie d'auto-alimentation du nuage, plus que l'air est humide plus l'orage se développera.

Les précipitations sont formées par la condensation des gouttelettes avec un surplus lors de la descente des masses d'air froid qu'il refroidie les parcelles d'air en aval entraînant un surplus de précipitation, des cellules dites « Cellule convectives » ou des **un cumulonimbus** sont été formé lors de l'affaiblissement de courant d'air ascendant, déclenche la croissance de nuage, par le courant descendant, un orage de multicellulaire, plusieurs cellule convective, est formé par le développement des jeunes cellules qui se trouvent à l'avant par rapport au déplacement, leur développement augmente vers l'intérieur des masses nuageux. Ces orages multicellulaires s'organisent en des systèmes encore plus vastes nommés systèmes convectifs méso-échelle. Ce sont eux, principalement, qui sont à l'origine des crues «éclair». Ils peuvent atteindre 10000 à 12000 m de hauteur. (Todorovik, 2007).

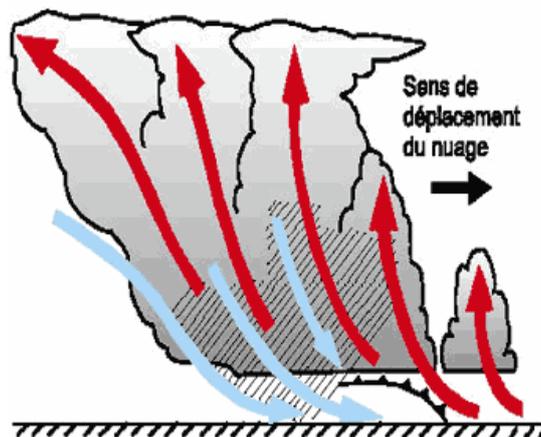


Figure 3: Courant ascendant et descendant dans un cumulonimbus (Météo France)

Des études préliminaires ont été appliquées pour définir les origines des crues sur un domaine méditerranéen et surtout en sud de la France, ce qui montre l'existence de plusieurs régimes de temps sur une période propice aux crues « éclair » on trouve :

Pluie intense :

Ce sont des pluies de courte durée, espacement limité et avec une importante quantité d'eau, engendrent des cumuls de pluie d'ordre de 100mm en 24 heures sur des régions montagneuses et de 50 mm en 24 heures dans les régions plaines. Leur dépassement peut provoquer, lorsque la nature du terrain s'y prête, de graves inondations et des dégâts plus catastrophiques.

En sud de France, les cumuls de pluie peuvent dépasser les 500mm en 24 heures.

Ces genres de pluies sont à l'origine, selon Météo France, d'un ensemble de phénomènes météorologiques. Perturbation associée à des pluies abondantes à caractères persistants, une succession d'orages localisés ou des orages violents et stationnaires.

Le territoire Sud de la France est exposé à de fortes précipitations dans les régions méditerranéennes et les régions montagneuses, ces dernières sont les plus touchées par des orages à cause de : le relief tend à bloquer le déplacement des nuages, l'air se soulève et provoque un renforcement de l'activité orageuse. Ceci a pour conséquence une augmentation des précipitations sur le versant des reliefs exposé au vent. (*Météo France*)

Périodiquement les pluies intenses sont observées en toutes saisons, mais sont très manifestées en Mai à septembre et en automne (cause des fortes pluies dans la région méditerranéenne, à la raison du refroidissement de l'air en altitude plus vite que l'air en méditerranée encore chaude).

Météo France a des moyens de mesure de l'intensité en temps réel et de localiser les précipitations, par des radars météorologiques couvrant la méditerranée pour la détection et une prévision des phénomènes climatiques dangereux.

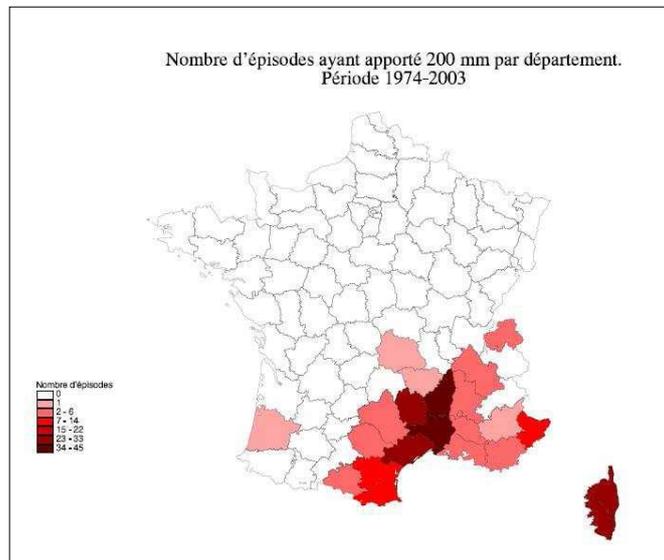


Figure 4: nombre des épisodes ayant apporté 200 mm par département (1974-2003) (Météo France)

Les épisodes cévenols :

La formation des orages de types convectifs nécessite certaines conditions particulières, produisant des pluies intenses, on trouve :

- Un environnement instable.
- Un taux d'humidité suffisant permettant la formation de nuages importants.
- Un ou des processus conduisant à l'élévation de parcelles d'air.

Ce qu'il est le cas de la région des Cévennes en sud de la France, qu'elle se caractérise par une accumulation des masses nuageuses en provenance du golfe du Lion¹, provoquant des pluies orographiques sur les massifs qui finissent par s'étaler en général jusqu'en plein, ce qui produit des épisodes dit « épisode cévenol » ou « orages cévenols ».

Les orages sont déroulés d'une manière que l'apport des masses d'air chaud et humide de la méditerranée (golf du Lion) par les vents vers le continent, rencontre des masses d'air froid des montagnes cévenoles.

Normalement les épisodes cévenols se déroulent sur des plusieurs jours, ils sont liés à des pluies intenses qu'il donne en moyenne des quantités d'eau comprises entre 200 à 400mm, jusqu'au 600mm lors d'un événement exceptionnel. En général le terme d'épisode cévenol est utilisé de nos jours pour désigner les orages qui touchent notamment les bassins versant situé entre la Catalogne et le Piedmont Italie.

¹*une petite partie de la mer Méditerranée qui baigne le littoral sableux es régions françaises du Languedoc-Roussillon et de la Provence, depuis les Pyrénées jusqu'à Toulon, selon certaines cartes.)*

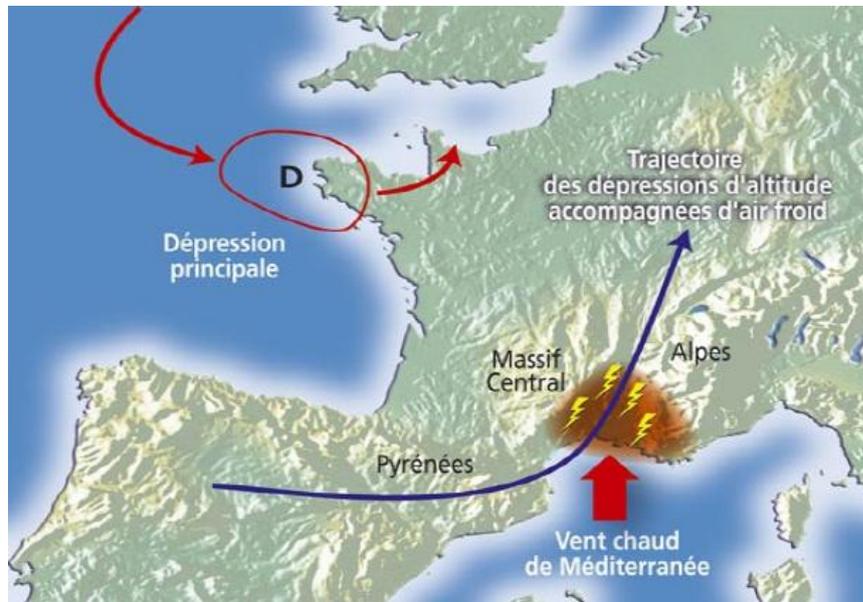


Figure 5 : L'épisode cévenol (Source : www.prim.net)

II.2. Facteur physique

Des pluies efficaces, qui participent à l'écoulement de la crue, des flux hydrique sont été mises en jeu pour caractériser le degré de la réponse du bassin versant et les coefficients de ruissellement.

Pour expliquer les écoulements des crues, des études ont été faites sur le mode transfert ou le flux hydrique de l'eau qui tombe sur un point de chute jusqu'à son arrivée dans le cours d'eau.

a. Ruissellement de surface :

Le ruissellement passe après un certain cumul de pluies, il arrive pourtant que l'eau précipitée ne pénètre pas immédiatement dans le sol et se met à circuler à la surface de même sol, provoquant un ruissellement.

Une grande diversité explique le ruissellement (figure 6) :

- Ruissellement par saturation du sol, cela est expliqué par la théorie de Horton, le ruissellement hortonien se produit lorsque l'intensité des pluies dépasse la vitesse d'infiltration des sols. Ce type de ruissellement est dépend de l'état de surface du sol et la saturation de l'horizon superficiel du sol par des précipitations.
- Interception de niveau de la nappe phréatique par la surface du sol, ruissellement par exfiltration
- Des écoulements de subsurface (hypodermique) qui dépend de la conductivité hydraulique latérale qui doit être supérieure à celle verticale, l'écoulement se fait latéralement en zone non saturé.
- Ecoulement par des macropores, dans les horizons superficiels, des macropores (Conduite que les animaux, la dégradation de racines, les fissures naturelles du sol) constituent des drains naturels ou des lieux préférentiels d'infiltration.

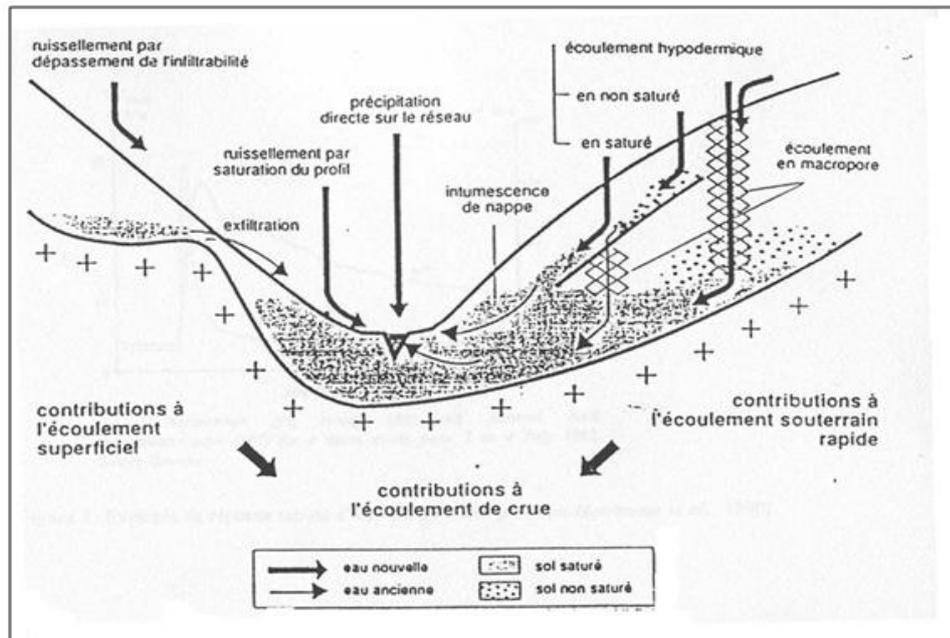


Figure 6: Principaux processus de ruissellement (Tiré de Ambroise, 1991)

b. Détection superficielle :

C'est le stockage des excès de l'eau précipités dans les dépressions formées par le macro relief du sol, ce flux est limité par la rugosité et la pente du sol et il est un facteur déterminant dans la genèse des ruissellements.

c. Infiltrabilité :

La pénétration de l'eau dans le sol à partir de surface ou un transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque le sol reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion.

Le flux de l'eau pénétrant dans le sol en surface dépend de du régime d'alimentation (irrigation, pluie), de l'état d'humidité et des propriétés du sol. C'est le taux de l'infiltration. Le taux d'infiltration suit une variabilité spatiale et temporelle au cours d'une averse, cette variation est décrite sous profil hydrique, montrant la distribution verticale de l'eau dans le sol. L'étude dans un sol homogène et sa surface est submergée, le profil présent :

« Zone de saturation » : Une surface du sol saturé d'une profondeur de plusieurs millimètres ou centimètres.

« Zone de transmission » : Présente une teneur en eau proche de la saturation et en apparence uniforme.

« Zone d'humidification » : Dans laquelle l'humidité du sol diminue avec la profondeur suivant un gradient prononcé jusqu'au front d'humectation

« Front d'humectation » : Le gradient d'humidité est si brusque qu'il apparaît comme une limite nette entre le sol humidifié et le sol sec sous jacent. (Figure 7)

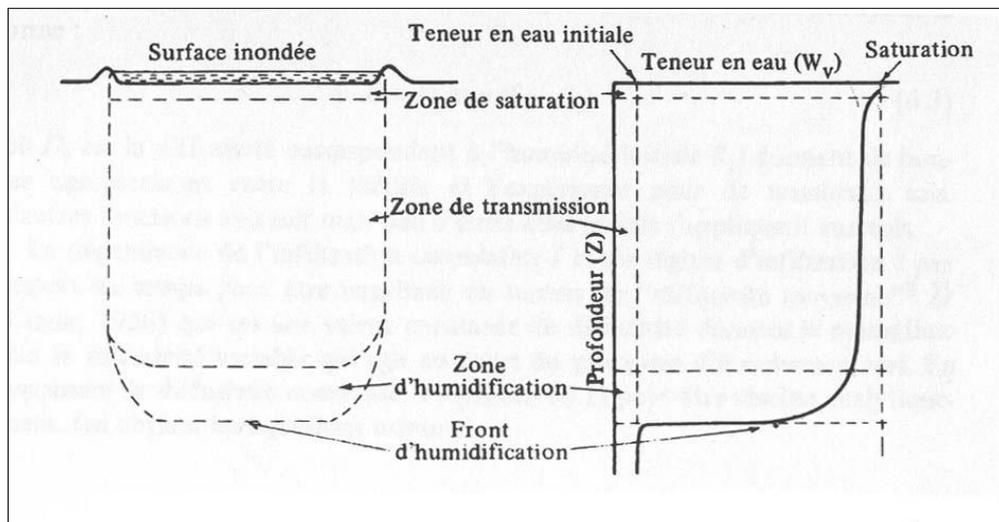


Figure 7: Profil d'humidité au cours de l'infiltration (tiré de Hillel, 1974)

L'étude de profil d'humidité au cours d'une infiltration, la zone de transmission s'allonge progressivement tandis que la zone et le front d'humidification se déplacent en profondeur, la pente de ce dernier augmentant avec le temps. (cf Figure 7)

La capacité d'infiltration (vitesse maximale à laquelle un sol donné peut absorber de l'eau par unité de surface) ou "infiltrabilité" d'un sol diminue avec le temps, lors d'un épisode pluvieux, alors que la conductivité hydraulique (ou perméabilité : capacité d'un sol à laisser circuler un liquide) augmente (Figure 8)

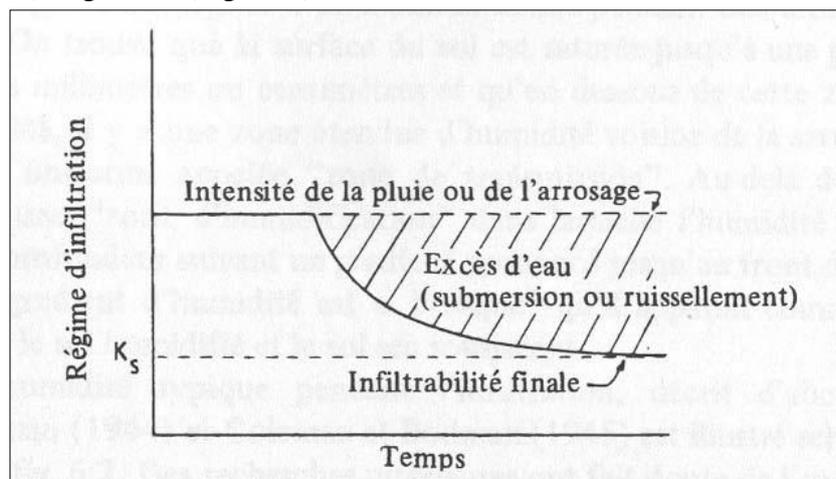


Figure 8: Régime d'infiltration en fonction du temps (tiré de Hillel, 1974)

Cette capacité d'infiltration est conditionnée par des facteurs, le type du sol (structure, texture, porosité) ce qui influence sur les forces capillarité et l'absorption dont résultent les forces de succion réagissent en partie l'infiltration, la compacité de la surface du sol du à la battance par les goutte de pluie ou des effets (thermique et anthropique), la couverture du sol, la topographie et la morphologie exemple de la pente une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration, et la teneur en eau initiale du sol ou l'humidité du sol agit sur le régime d'infiltration au cours du temps.

CHAPITRE II : Caractéristique générale de bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène

I. Introduction

L'étude de l'hétérogénéité et variabilité spatiale de bassin versant, permet de savoir le degré de réaction de bassin envers les phénomènes climatique et hydrologique les plus marquantes et d'analyser de l'échelle des phénomènes

Il est nécessaire de distinguer les grandes familles de paramètre pour savoir les facteurs influencent sur la formation des crues dans le bassin et l'interprétation des données disponible pour s'approcher à la :

- Études des données de pluviométrie disponible ;
- Corrélation des pluies journalières entre les stations pluviométrique.

II. Cadre géographique général

Le bassin du Rieutord à Sumène (37,5 km²) est situé dans le Sud de la France, au Nord-Ouest de département de Gard (2014 km²) dans la circonscription hydrologique Rhône méditerrané (Figure 9).

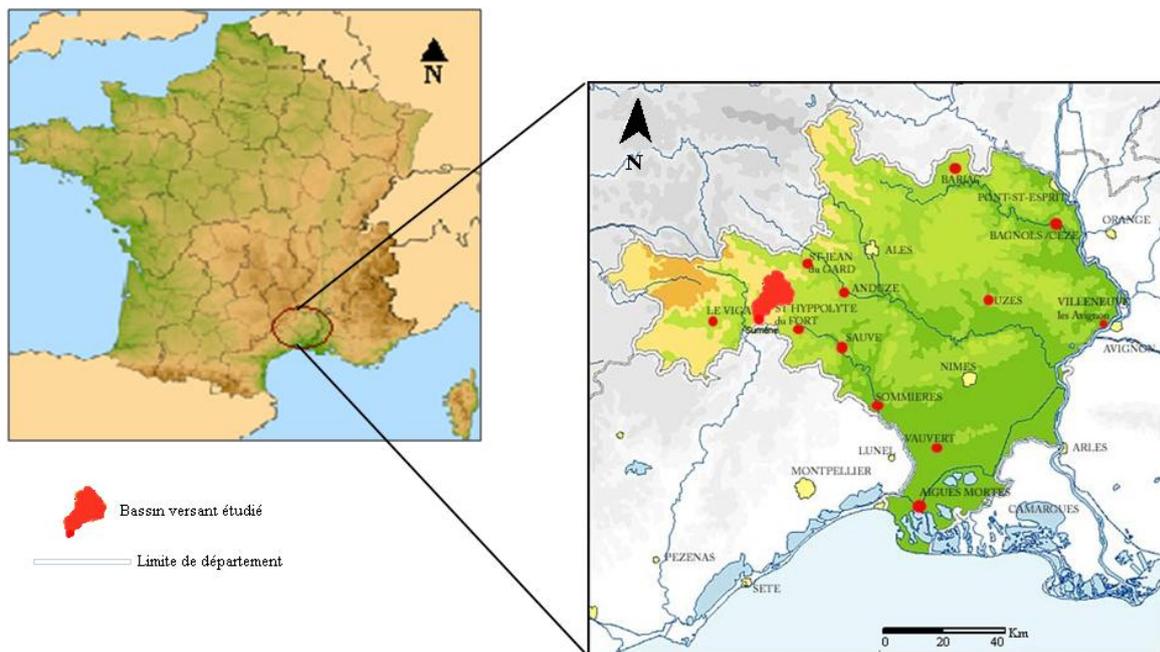


Figure 7 : Situation géographique de bassin de cévenol de Rieutord à Sumène

La région d'étude est délimitée à la rive droite par la crête de bassin du Gard à l'amont et par la ville de Sumène à l'aval. Le bassin alimente la vallée de Rieutord qui s'écoule de Nord-Est vers le Sud-Ouest. À la limite de bassin, le Rieutord est en confluences avec le Recordier à la ville de Sumène (X=710887 ; Y=1887660), (Figure 10).

Le Rieutord (26,3 Km de longueur et en forme dendritique) prend sa source à Saint-Martial et d'autres ruisseaux, traversant les départements du Gard (30) et de l'Hérault (34). Il est connu par sa dynamique permanente.

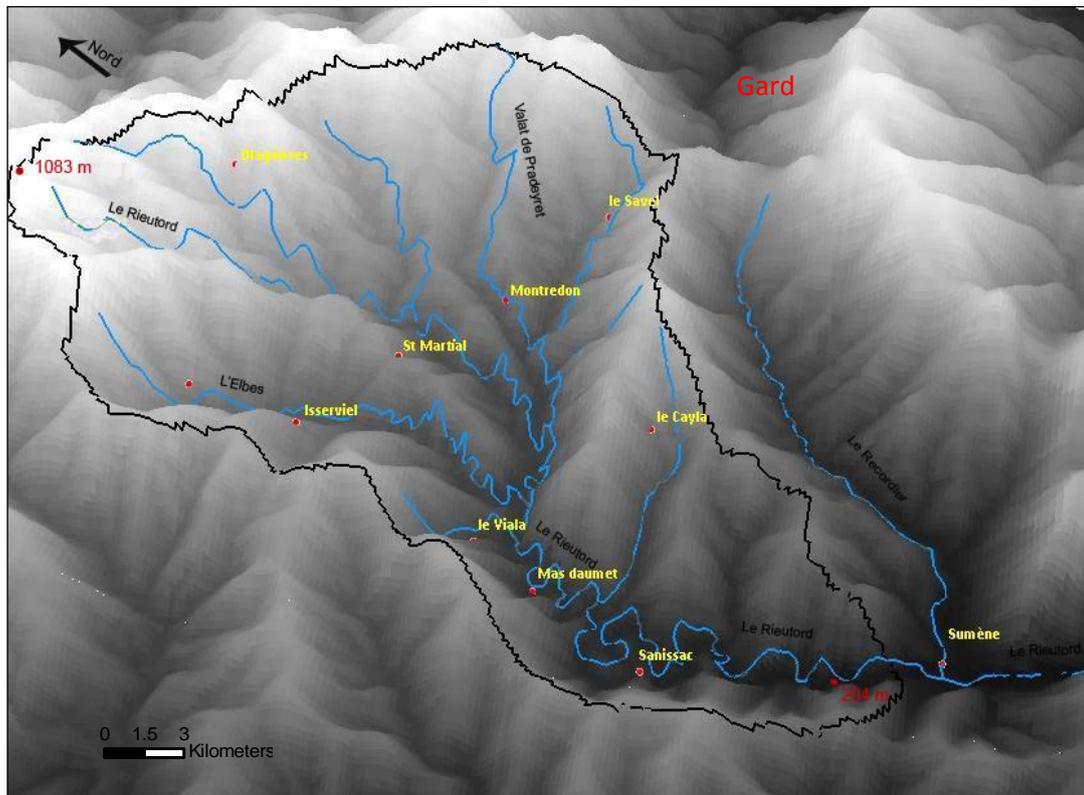


Figure 8: Vue en 3D du MNT de la Vallée de Rieutord

II.1. Climat

Le bassin du Rieutord à Sumène est sous un climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs, et des hivers frais et humides. En effet, il tombe 6 fois plus de précipitations en automne qu'à l'été. Cette intensité de pluie en automne est due à une rencontre de masses d'air chaud et humide méditerranéen réchauffé en été avec des masses d'air froid et sec d'origine continental, associé à l'effet des reliefs cévenols.

II.2. Le contexte physique de bassin versant

a. Aperçu géologique

La région est constituée de terrains anciens d'âge primaire, principalement des schistes métamorphiques et des granites (Figure 11).

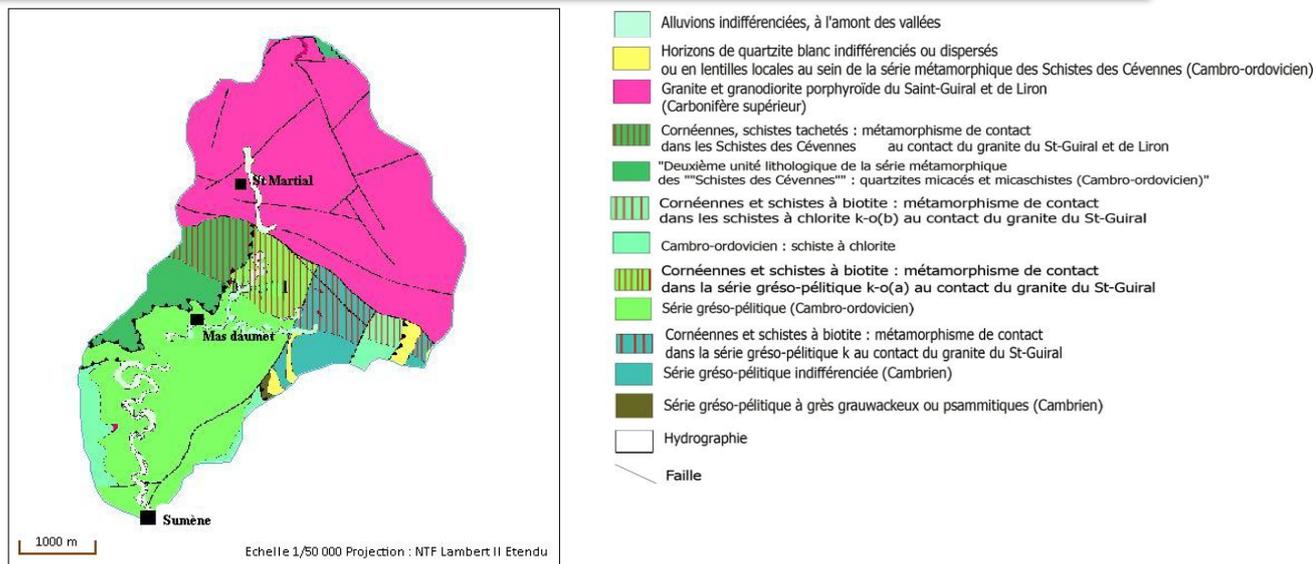
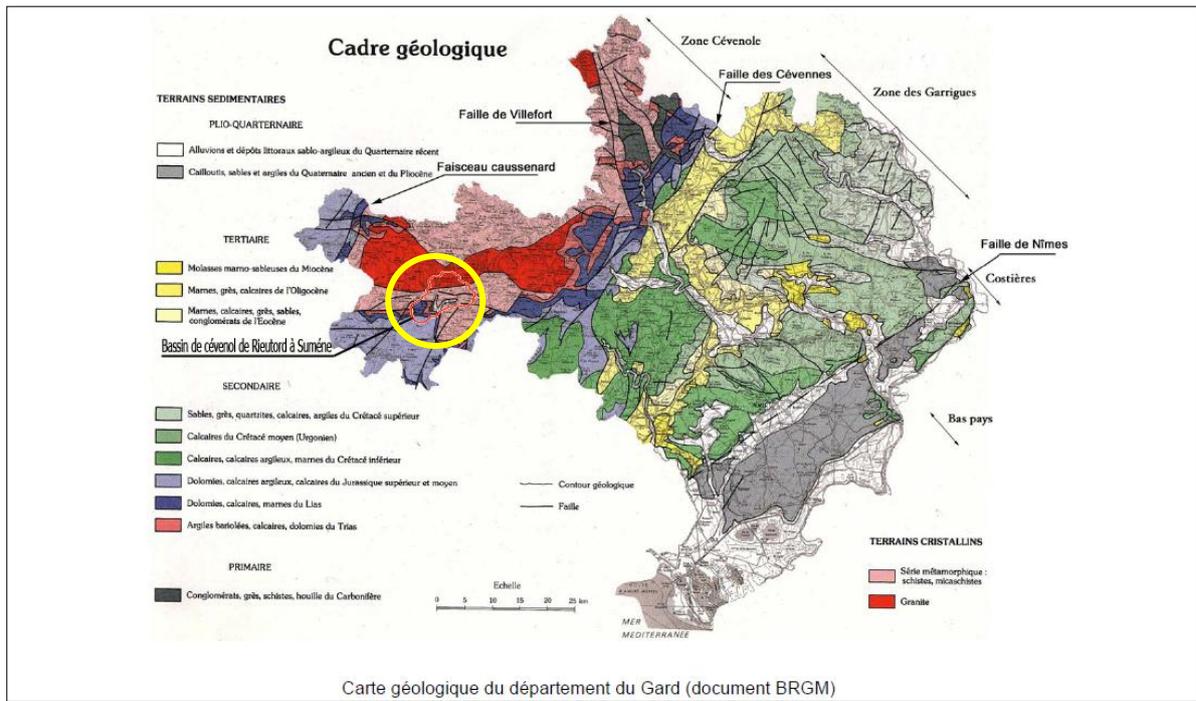


Figure 9: Carte géologique harmonisée de BV cévenol Rieutord à Sumène de (BRGM)

Les roches magmatiques est caractérisé par du granite et granitoïde porphyrique du Saint-Guiral-Liron d'âge carbonifère supérieur au Nord de bassin, il n'a pas subi les effets de schistosité régionale, car il est postérieur à la tectonique tangentielle majeure, de type des intrusifs dit post-tectonique. Par ailleurs, on note un net gradient de déformation allant jusqu'à l'apparition d'une schistosité verticale qui montre que le granité s'est mis en place en force dans un contexte de compression à l'échelle régionale (ALABOUVETTE, 1988)

Les roches sédimentaires grésopélitiques au contact de l'intrusion granitique sont affecté par une degré variable de métamorphisme ce qui recristallise la lithologie originelle mettant en place des massifs cornéens et des schistes avec ou sans biotite, on trouve :

- ✓ Cornéenne, schiste tacheté : métamorphose de contact dans la série de schisto-gréseux « Schiste des Cévennes » au granite du St Guiral(cambro-ordovicien)

- ✓ Cornéenne et schiste à biotite : métamorphisme de contact dans les schistes à chlorite k-o(b) au granite du St Guiral

K-o(b) c'est une formation comprend essentiellement un matériel schisto-gréseux plus ou moins fin allant de micaschistes francs riches en phyllites et plus ou moins siliceux à des schistes très quartzeux passant à des quartzites plus ou moins purs.

Cornéenne et schiste à biotite : métamorphisme de contact dans la série grésopélitique k-o(a) au granite du St Guiral

K-o(a) c'est une formation grésopélitique mieux conservée, elle est caractérisée principalement par :

- ✓ des niveaux de quartzites purs, parfois feldspathiques, dont l'épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres ;
- ✓ des niveaux grossièrement détritiques, d'allure flyschoides où la proportion de matériel gréseux peut atteindre 50 %.
- ✓ Cornéenne et schiste à biotite : métamorphisme de contact dans la série grésopélitique k au granite du St Guiral.

Les terrains sédimentaires cambriens à Cambro-ordovicien sont présentés par des séries schisto-gréseux ou du grésopélitique, avec des horizons de quartzite blanc. Selon une étude géologique faite par *B.ALABOUVETTE* sur la région, on se base sur la série de Sumène comme une série exemplaire de la sédimentologie de la région. (Figure 12)

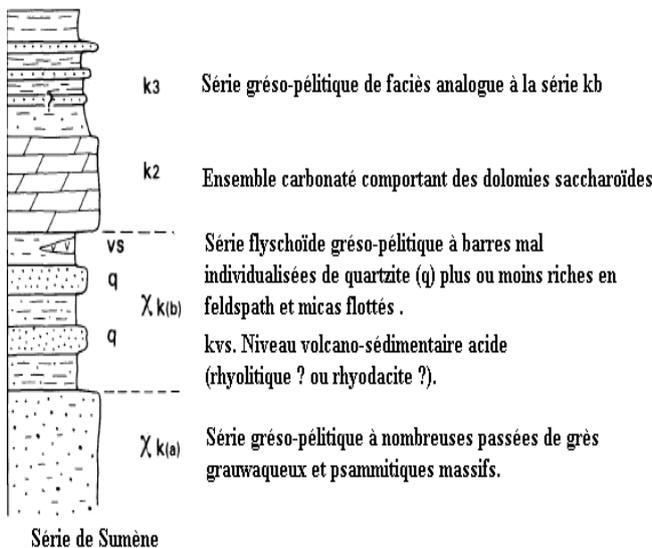


Figure 10: Log stratigraphie de la série de Sumène (ALABOUVETTE, 1988)

b. Hypsométrie.

Le bassin présente des altitudes qui varient entre 240 m à 1083 m de Sud vers le Nord. Les altitudes les plus élevées situées à la partie nord de bassin versant, en forme allongée de bassin, permettent un drainage parfait en surface des eaux vers l'exécutoire (Figure 13).

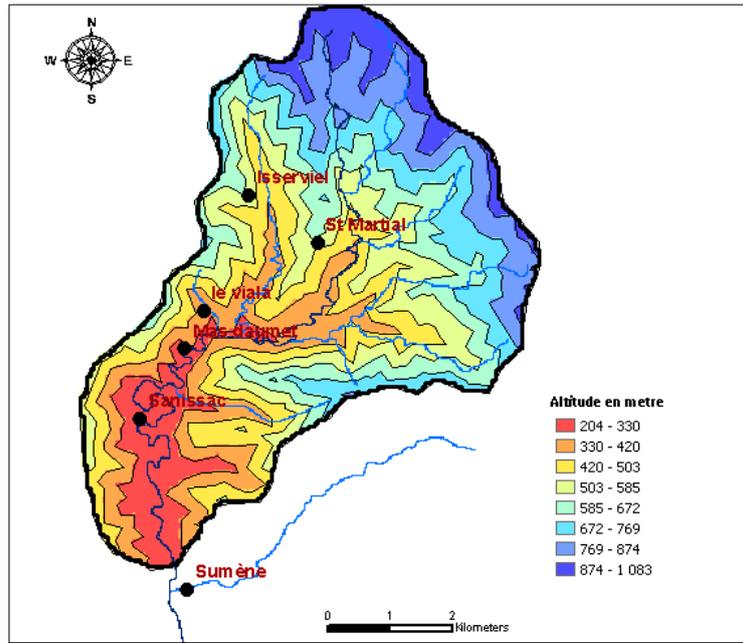


Figure 11: Carte hypsométrique du bassin versants cévenols de Rieutord à Sumène

La courbe hypsométrique du bassin versant, cévenole de Rieutord à Sumène permet d’obtenir la répartition suivante des altitudes (Figure 14):

- § Les altitudes supérieures à 1000 m occupent 6.84% de la surface du bassin versant.
- § Les altitudes supérieures à 800m occupent 10.4% de la surface du bassin versant.
- § Les altitudes supérieures à 600m occupent 25.72% de la surface du bassin versant.
- § Les altitudes supérieures à 400m occupent 47.65% de la surface du bassin versant.
- § Les altitudes supérieures à 240m occupent 9.39% de la superficie du bassin versant.

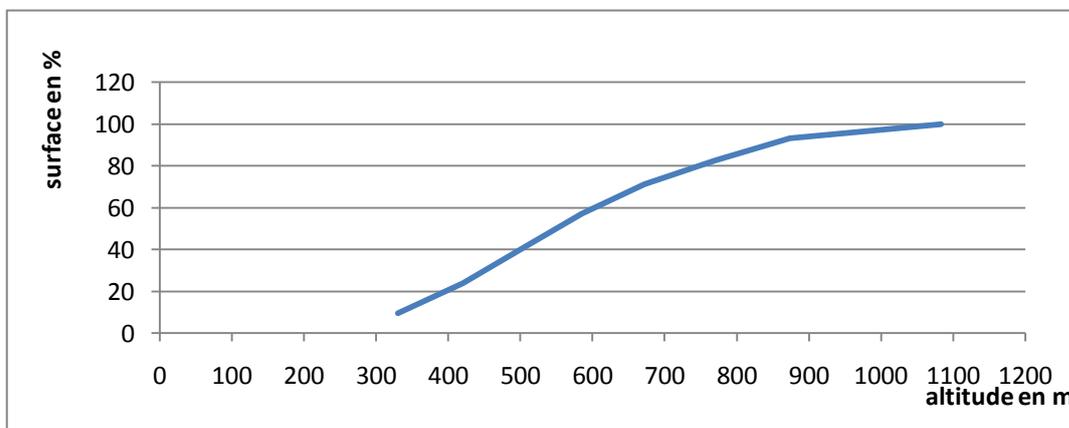


Figure 12: Courbe hypsométrique de bassin cévenol de Rieutord

c. Pente

La pente détermine l’énergie nécessaire pour les écoulements en surface et les vitesses de l’écoulement. Plus les pentes sont fortes plus le pouvoir érosif des écoulements est important, ce qui influe sur la vitesse d’écoulement en surface.

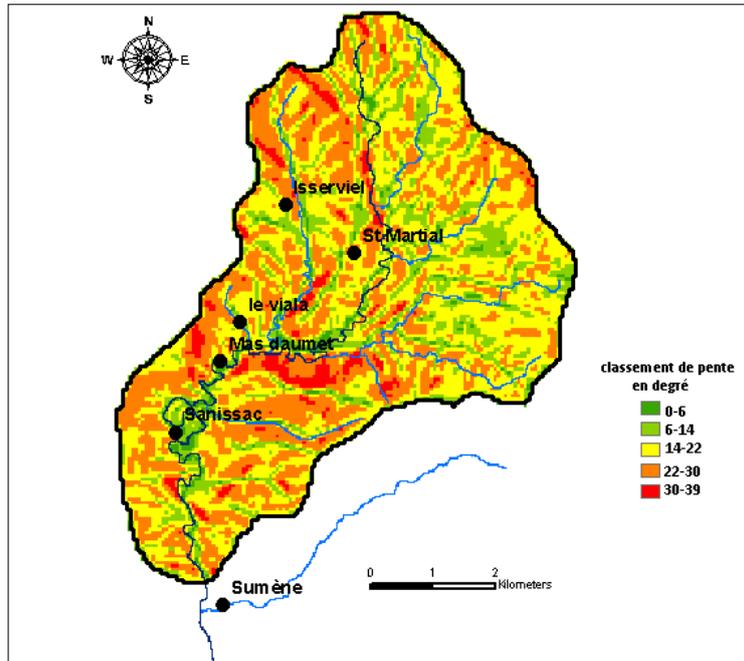


Figure 13: carte des pentes en degré de bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène

Classe de pentes	Pentes (p) en degré
I : pentes faibles	$P < 6^\circ$
II : pentes modérées	$6^\circ < P < 14^\circ$
III : pentes fortes	$14^\circ < P < 22^\circ$
IV : pentes très fortes	$22^\circ < P < 30^\circ$
V : escarpement	$P > 30^\circ$

Tableau 1 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant cévenole Rieutord à Sumène

Les pentes les plus fortes (supérieur à 14°) occupent la majeure partie de bassin versant, presque 63% de la superficie sont sous une forte érosion hydrique ce qui engendre des écoulements en surface de forte vitesse lors des averses.

Le bassin est connu par une variation des pentes de moins de moins de 6° jusqu'au plus de 39° . La pente moyenne de bassin versant est définie par la relation suivante :

$$i_m = \frac{D \cdot L}{A}$$

i_m : pente moyenne [m/km ou 0/00],

L : longueur totale de courbes de niveau [km], la longueur totale est calculée sous un programme SIG, il est de L : 1394,23 km

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m], D : 10m

A : surface du bassin versant [km²]. A : 37,5 km²

$$i_m : 37,17 \%$$

II.3. Etude de la variabilité spatiale du sol :

Les paramètres abordés dans cette étude sont :

- *L'occupation du sol* indique la présence ou non de la végétation, le type de végétation, et la surface couverte par la végétation.

La couverture végétale et sa densité en surface donnent une idée sur l'interception des pluies dans le sol, ce qui contrôle même l'écoulement en surface de l'eau, par la densité de végétation, et l'infiltration de l'eau dans le sol, par la formation d'une litière humus au niveau du sol. Ce qui contrôle la saturation du sol.

- *Organisation du sol* renseigne sur la distribution des différentes caractéristiques du sol (Profondeur du sol, le substratum, texture du sol, abondances des éléments grossiers...) sous des unités cartographiques informant les différents éléments observés et analysés lors de la réalisation d'un inventaire des sols.

Cette organisation donne une idée sur la stabilité du sol et l'influence de la pédologie sur la capacité de ruissellement et d'infiltration du sol, cela est décrit sous structure informatique dite « DoneSol »

a. *Occupation du sol*

La carte de l'occupation du sol est extraite à partir d'une base de données **CORINE Land Cover (occupation du sol)** du service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable, cet inventaire biophysique de l'occupation des sols est produite dans le cadre du programme européen CORINE de coordination de l'information sur l'environnement. Il a été réalisé à partir d'images satellitaires de l'année 2006.

La classe de végétation la plus importante des surfaces les plus importantes (Tableau 2, Figure 16), la majorité de bassins couvre par des surfaces forestières représentant 78% de surface totale (forêts de feuillus, Forêt mélangée, Forêt et végétation arbustive), avec des surfaces agricoles de 3.48% et les espaces artificialisés (routes et bâtis) s'occupent juste de 2.8%.

	Surface en Km2	%
Forêt de feuillus	19.28	51.41
Forêt et végétation arbustive	7.695	20.52
Landes et broussailles	5.293	14.11
Forêt mélangée	2.871	8.04
Surface essentiellement agricole avec des espaces naturels	1.307	3.48
Tissu urbain discontinu	0.601	1.6
Système cultural et parcellaire complexe	0.453	1.2
TOTAL	37.5	100%

Tableau 2: Table des différents types de végétaux en pourcentage et la surface occupé

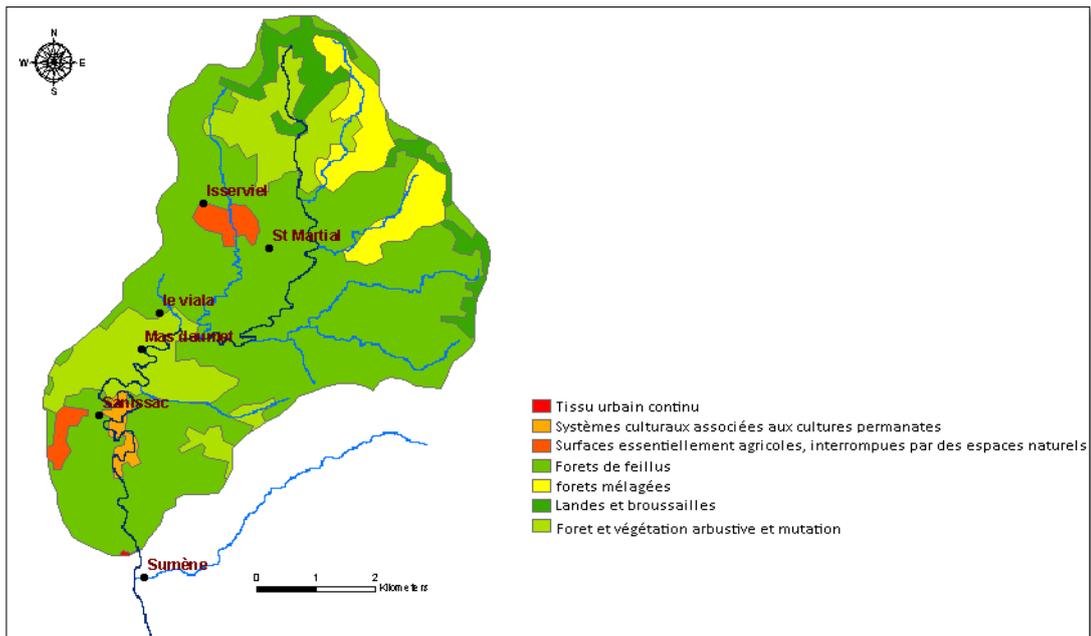


Figure 14: Carte d'occupation du sol de bassin cévenol Sumène à Rieutord de 2006

Source : le service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable (CGDD)

b. Organisation du sol :

L'information d'origine pour la couverture pédologique est la base des données du sol de l'INRA. La carte d'origine est la carte des pédo-paysages de la région Languedoc-Roussillon sous le nom de « BD SOL LR » (Annexe 2).

L'interprétation des données de chaque UTS nous a permis de comprendre le fonctionnement global du sol, la base de données est exploitable afin d'extraire les différents champs pour caractériser les différents processus hydrologiques :

➤ **Profondeur du sol, nom de substratum et étage géologique.**

La profondeur du sol par rapport au substratum, ou l'épaisseur de transformation du matériau parental par la pédogenèse, coïncide avec l'apparition d'un matériau parental non transformé, c'est avec des horizons qui sont soit des roches dures ou tendres, fragmentés ou non fragmentés.

Le substratum du bassin d'étude contient des granites au Nord, des colluvions de granites de grès et de dolomite à l'Est et à l'Ouest, la cornéenne de la masse granitique, et des schistes cévenols sur la majorité Sud d'âge cambro-ordovicien avec des alluvions (Figure 17)

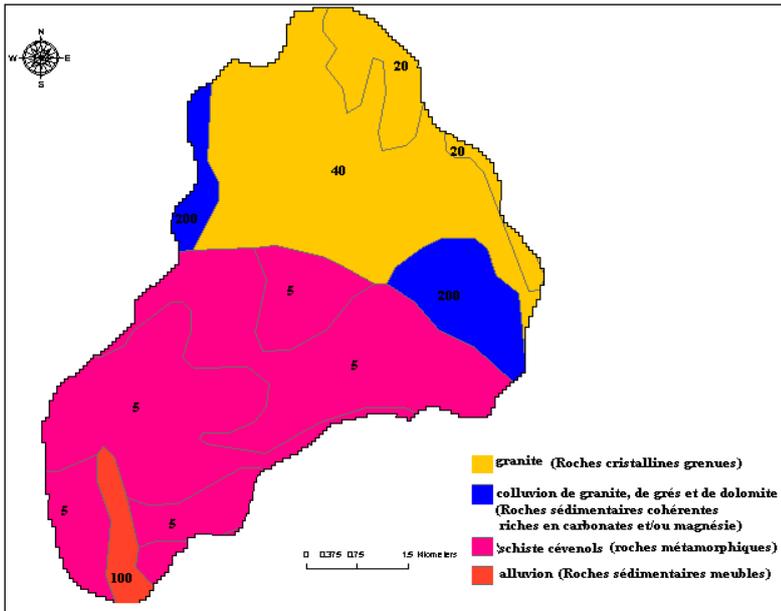


Figure 15 : Carte des substratums avec des profondeurs en cm des sols de bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène

La profondeur des sols reposants sur un substratum granitique et sur des schistes est faible, et ne dépasse pas le 40 cm, alors que les sols à substratum colluvial (roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et/ou magnésie) et alluvional (roches sédimentaires meubles) ont des profondeurs importantes de 100 à 200 cm de profondeur. Ces derniers couvrent cependant une surface réduite, souvent localisée hors du métamorphisme de contact (Figure 18).

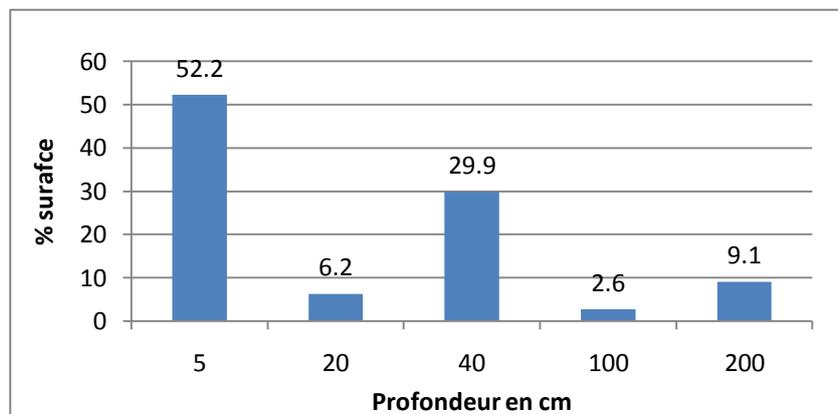


Figure 16: les pourcentages des surfaces occupées par les profondeurs du sol

L'étage géologique des substratums est indiqué en aperçu géologique de ce chapitre, les granites sont d'âge Carbinifères supérieur, les schistes sont d'âge cambrien avec les cornnènes au nord sont liés métamorphisme de contact. Les colluvions et les alluvions sont datées du quaternaire (dépôt des roches sédimentaires meuble).

➤ **Texture dominante de surface**

L'analyse de la base de données Donesol de IGCS a permis de déterminer la texture dominante de surface UTS (texture de la terre fine). On trouve une dominance de la fraction sableuse sur la majeure partie du bassin (81.8%, partie granitique, schisteuse et colluviale) et une dominance de la fraction limoneuse sur la partie alluviale de 18.2% (Figure 19).

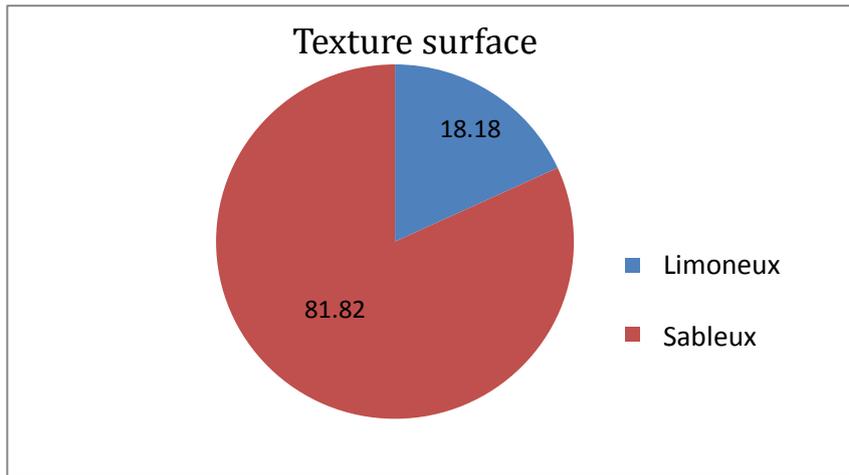


Figure 17 : Pourcentage des textures de la terre fine

➤ **Le régime hydrique**

Le régime hydrique (figure 20) général indique l'état de l'humidité du sol, en général le bassin est à l'état sec, une partie est continuellement sèche pendant toute l'année à cause de la schistosité, et l'autre partie est sèche de manière saisonnière en fonction du cycle saisonnier. En certaines occasions, il peut exister des sols humides, mais le sol est alors physiologiquement sec, cette variation saisonnière de l'état du sol est due à la présence des substratums d'origine sédimentaire.

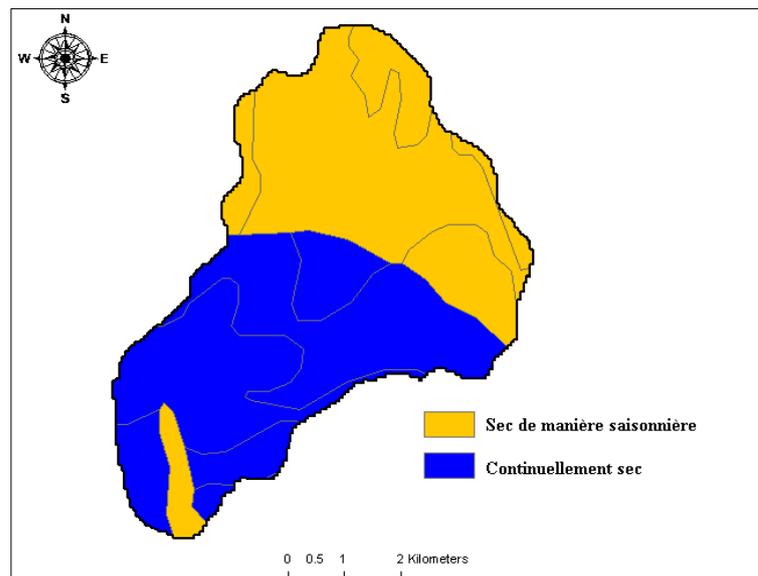


Figure 18: Régime hydrique de bassin versant

CHAPITRE III : Analyse des caractéristiques pluviométriques

I. Le réseau météorologique de bassin versant de Rieutord à Sumène :

Le réseau météorologique du bassin se compose actuellement de 3 stations pluviométriques (Sumène, Mas Daumet, St Martial) et une station hydrométrique sur le Rieutord au pont de Sumène, en amont de la confluence avec le Recodier. Ces stations ont été mises en place par HydroSciences Montpellier. Ils couvrent la totalité des bassins par des mesures continues des pluies. Les précipitations sont calculées directement à partir de la somme des basculements d'augets reliés à un centre d'acquisition des données. La station hydrométrique (X=710750 ; Y=1887564) au pont de Sumène, comporte une échelle limnimétrique et un centre d'acquisition des données associée à une sonde de mesure des cotes ou hauteur d'eau (figure 21).

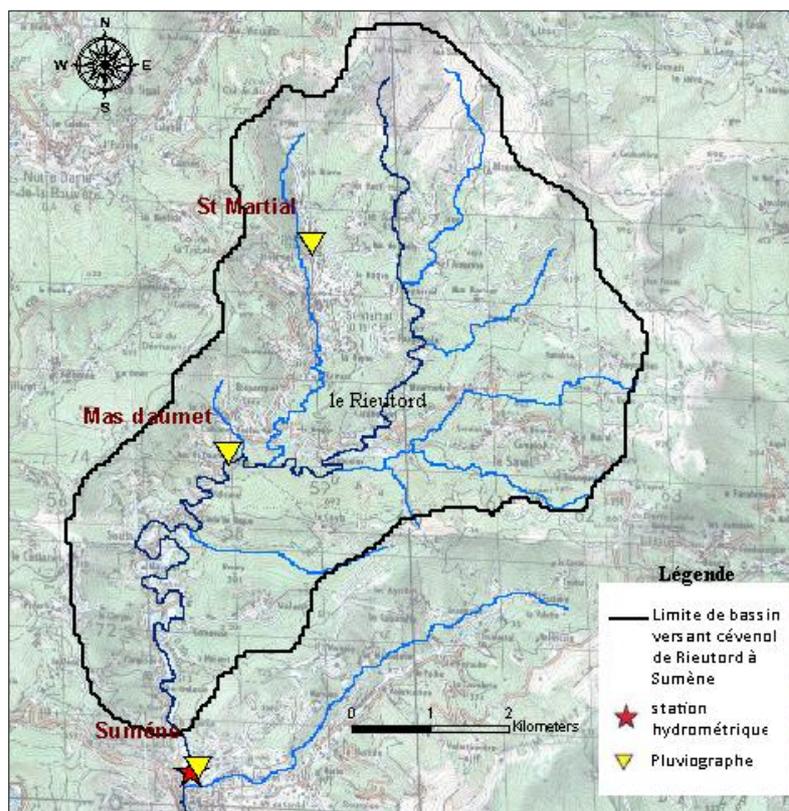


Figure 19: dispositifs de mesure de bassin versant cévenol de Sumène à Rieutord

En 2004 une station pluviométrique a été installée dans la ville de Sumène, des relevées instantanées des précipitations sont été prises par le basculement d'auget, ils sont traduits automatiquement ensuite en précipitation journalière et mensuelle, les données pluviométriques sont stockées et traité sous un logiciel de gestion et d'exploitation de Bases de Données nommées « Hydraccess ». Les deux stations (Mas Daumet et St martial) sont mises en place par HSM en 2008 et en 2009 sur les reliefs des Cévennes pour une couverture complète de bassin versant (tableau 3).

Les pluviomètres possèdent certaines lacunes dues à des petits défauts de fonctionnement, ce qui implique des lacunes de données mesurées. (Ex. : le pluviomètre Sumène a un taux de lacune de 42.7 % au niveau mensuel-M1).

Table des postes pluviométriques									
	NOM	LOCALISATION		ALTITUDE	capteur	Description	Nb Valeurs	PERIODE DE FONCTIONNEMENT	% de Lacune
		long	lat						
1	Sumène	43°59'07.51"N	3°43'04.51E	236m	II	pluvio parcelle 1000mm2 HSM	13659	11/09/2004 - 01/12/2010	30.1
					J1	pluvio parcelle 1000mm2 HSM	1592	11/09/2004 - 30/11/2010	29.9
					M1	pluvio parcelle 1000mm2 HSM	43	16/09/2004 - 16/11/2010	42.7
2	Mas daumet	44° 01' 06" N	3°43' 26"E	311m	II	pluvio 400mm2	6272	07/10/2008 - 10/12/2010	0
					J1	pluvio 400mm2	794	07/10/2008 - 09/12/2010	0
					M1	pluvio 400mm2	25	16/10/2008 - 16/12/2010	7.4
3	Saint Martial	44° 02' 25" N	3°44' 15"E	451m	II	pluvio 400mm2	4543	10/06/2009 - 27/01/2011	7.0
					J1	pluvio 400mm2	553	10/06/2009 - 26/01/2011	7.2
					M1	pluvio 400mm2	15	16/06/2009 - 16/01/2011	25.0

Tableau 3 : Table des postes pluviométrique

I.1. Les données de pluie

Les données sont issues de réseau pluviométrique, et ils sont été récupérés à partir de 2004 en Sumène et depuis 2008 et 2009 à partir de Mas Daumet et St Martial.

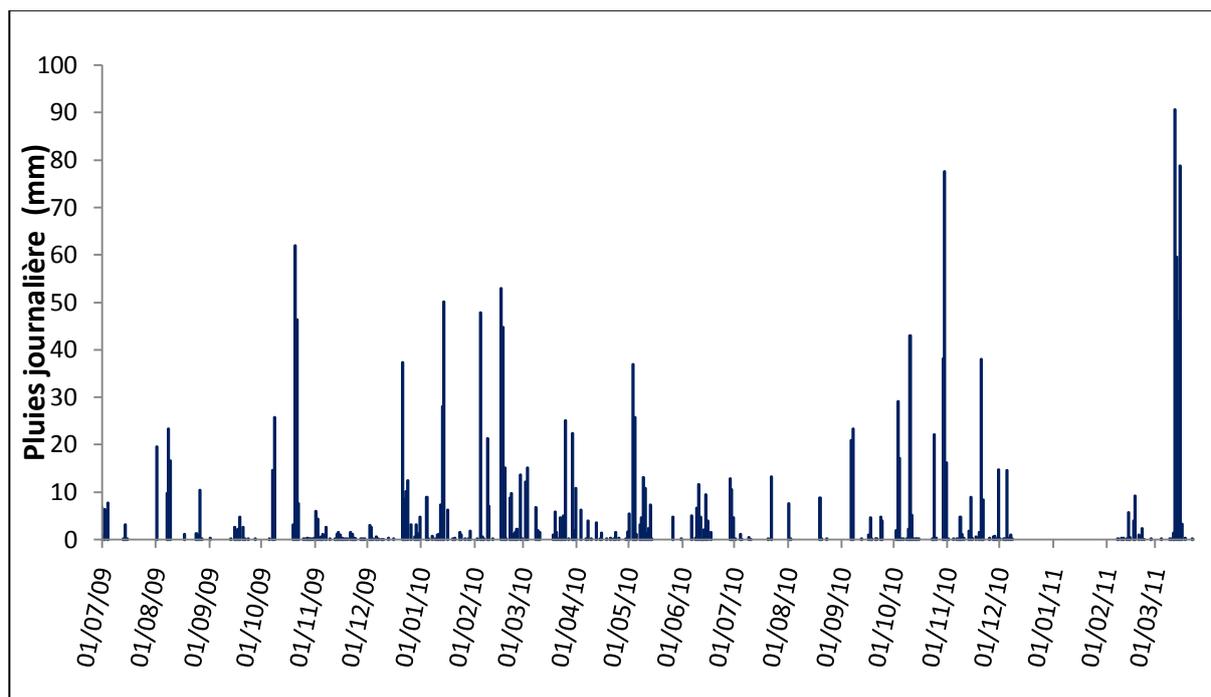


Figure 20 Précipitations journalières au poste de Mas Daumet de 01/07/2009 au 23/03/2011

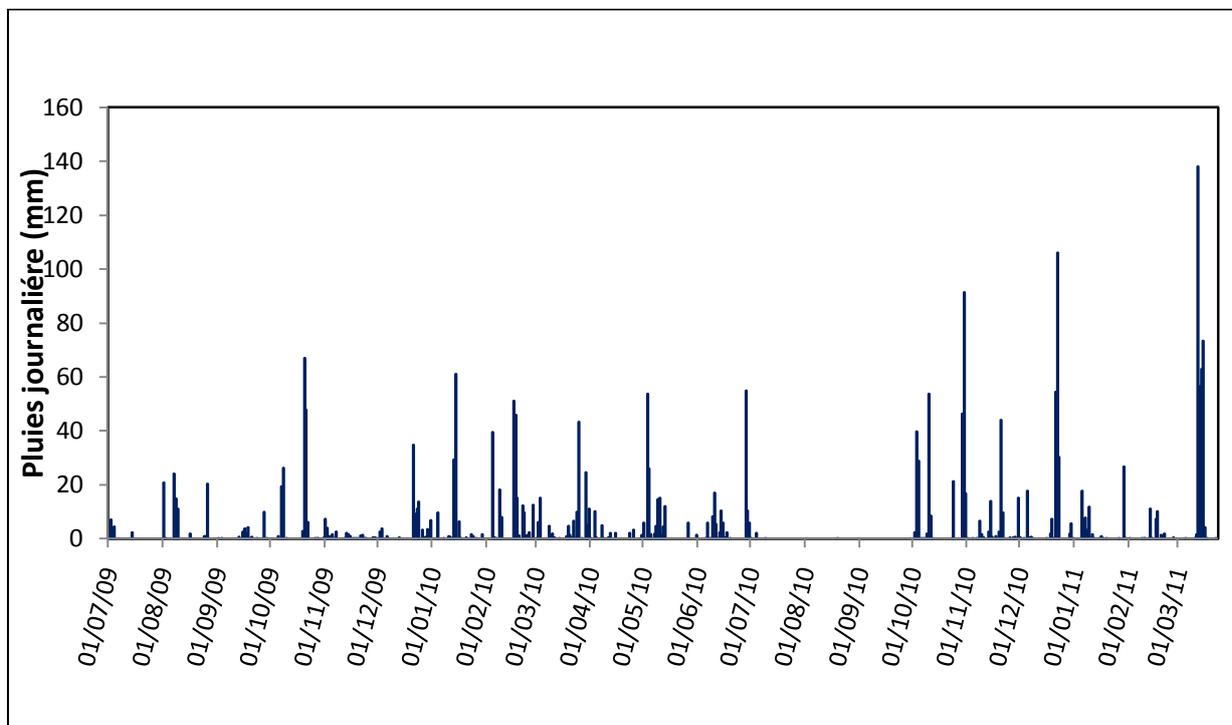


Figure 21: Précipitations journalières au poste de Saint Martial de 01/07/2009 au 23/03/2011

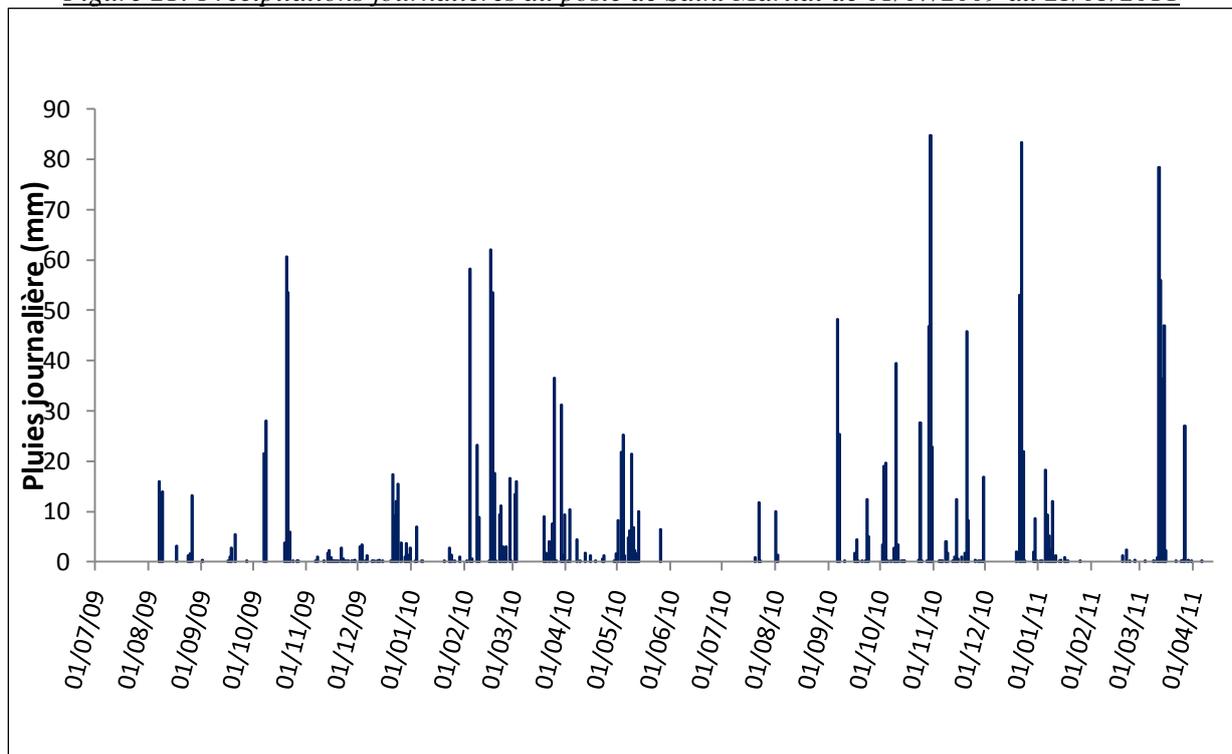


Figure 22 : Précipitations journalières au poste de Sumène de 01/07/2009 au 23/03/2011

Sur la période 2009-2011, les précipitations ont atteint 2388 mm au poste de Mas Daumet, 2296 mm à celui de Saint Martial et 2454 mm à celui de Sumène. Les différences entre les pluviographes sont très faibles sur cette période, ce qui indique l'uniformité des mesures des précipitations entre les stations pluviométrique.

I.2. Corrélation interpostes :

D'après ces différents diagrammes on constate une forte relation entre les groupes des stations, avec des coefficients compris entre 0.70 – 0.89, les écarts peuvent atteindre des valeurs assez négligeables, surtout entre Mas Daumet et St martial (Figure 25 , 26, 27)

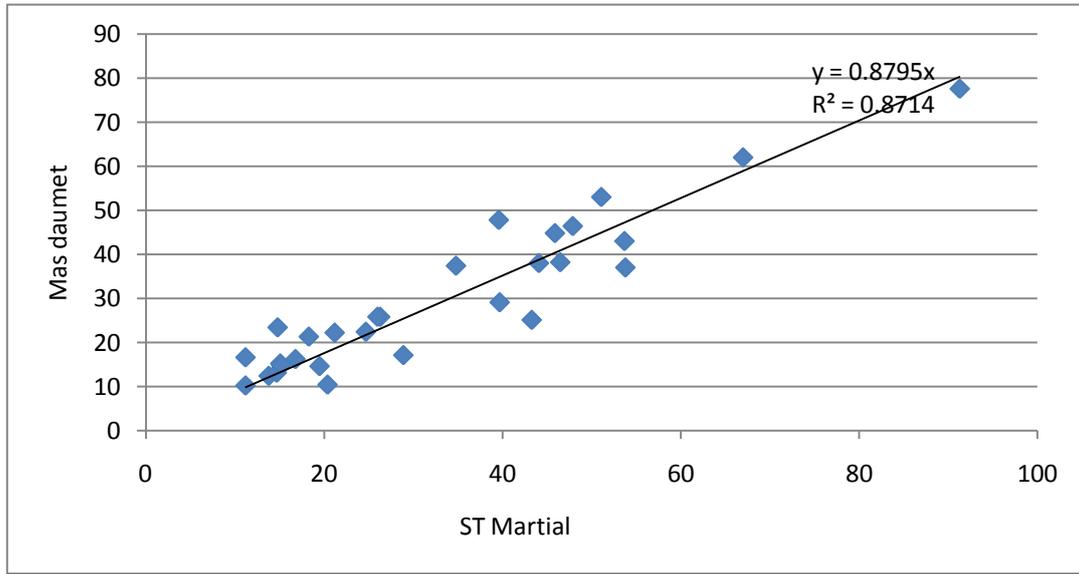


Figure 23: Relation entre les pluies journalières aux postes de Mas daumet et ST Martial sur la période de 2009 au 2010

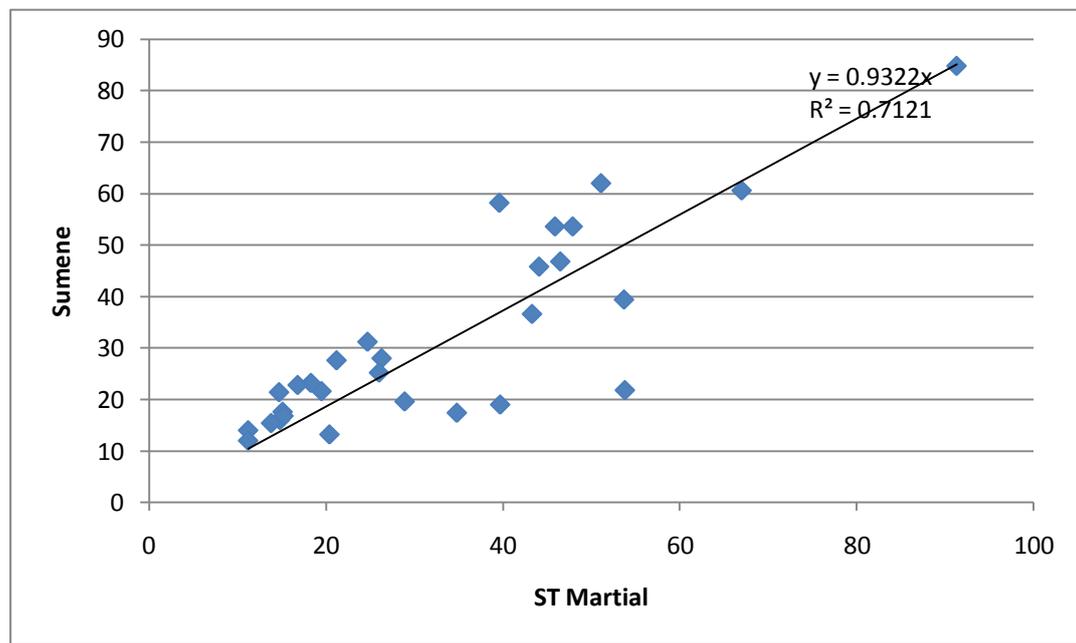


Figure 24: Relation entre les pluies journalières aux postes de Mas daumet et ST Martial sur la période de 2009 au 2010

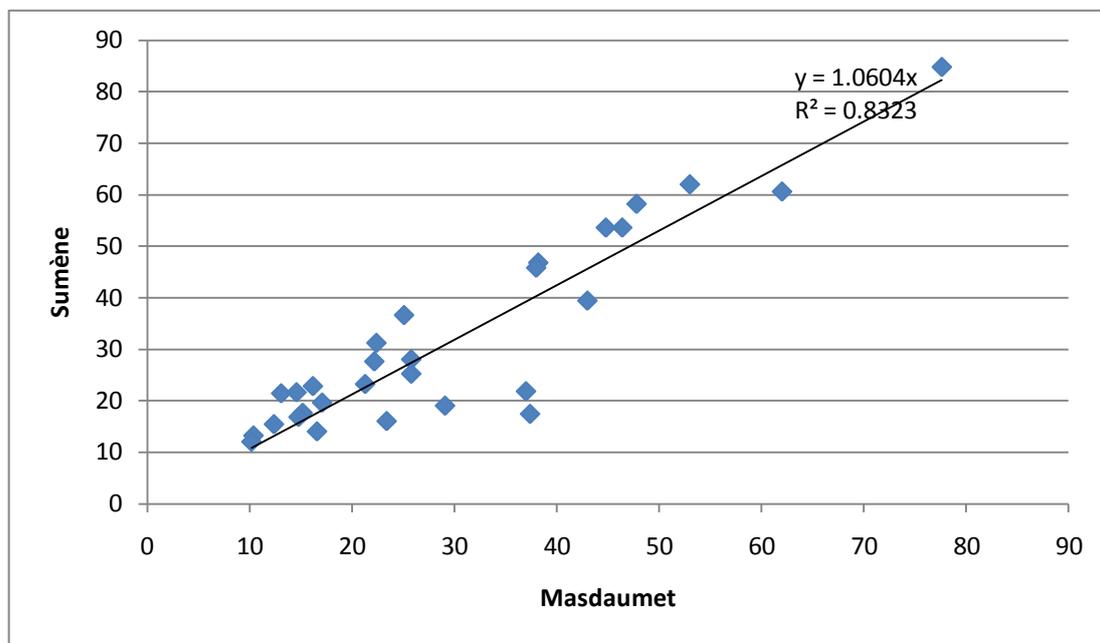


Figure 25: Relation entre les pluies journalières aux postes de Mas Daumet et Sumène sur la période de 2009 au 2010

CHAPITRE IV : Etalonnage des débits des crues

On intéresse dans cette partie, aux simulations hydrauliques pour établir les courbes d'étalonnage de la station hydrométrique à Sumène de juillet 2008, juin 2009, février 2011, sur la vallée de Rieutord. On commence par un aperçu sur le modèle hydraulique HEC-RAS utilisé pour les simulations.

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) est un logiciel destiné à modéliser les écoulements en régime permanent ou non permanent en rivière. Il a été développé par la cellule hydrologique de l'US Army Corps of Engineers (USA). Composé une interface pour éditer, modifier et visualiser les données de l'entrée, avec une observation des résultats obtenue. La dernière version nomme HEC-4. (Figure 28)

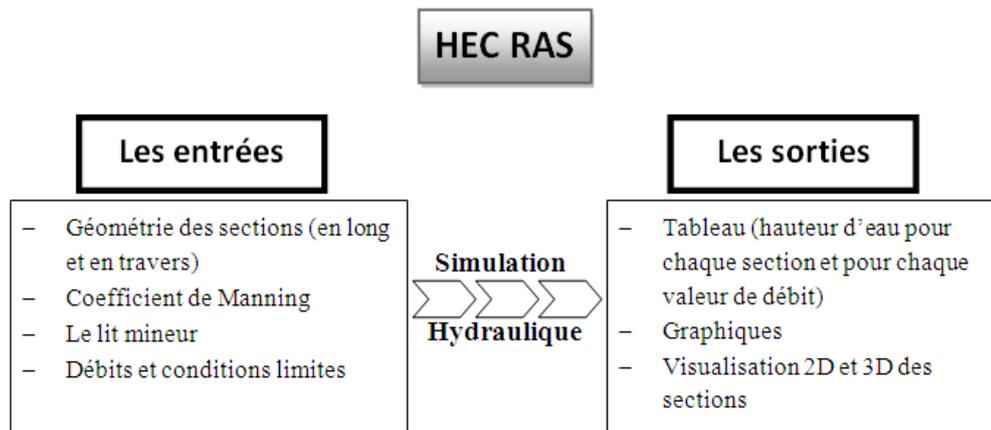


Figure 26: Schéma montrant les principes de la simulation hydraulique par la méthode de HEC-RAS

I. Exploitation des données.

Toutes les données disponibles sont exploitées d'une manière raisonnable, on se basant sur des données géométriques datées de juillet 2008, juin 2009, février 2011 d'un bief choisi sur la vallée de Rieutord et les mesures hydrologiques des débits mêmes années.

Les résultats de l'étude hydraulique obtenue sont consultés sous forme des graphes, sections, courbe débits, et sous forme des tableaux exploitables.

I.1. Caractéristiques du bief étudié

Le secteur étudié est un bief de 140m de long centré sur la station de Sumène (Figure 29). La géométrie du bief est définie par un ensemble de 6 profils en travers (Annexe 3), définissant les formes des différentes sections. Ces sections ont fait l'objet de différents levés topographiques en 2008, 2009 et 2011. J'ai participé aux derniers relevés.

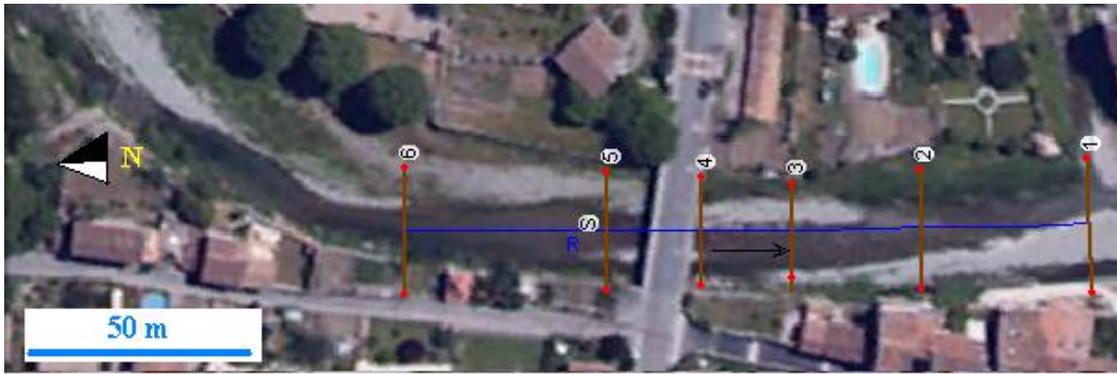


Figure 27: Situation des profils en travers modélisé de Juin 2009

(Source: Fond = Google Earth; HEC-RAS)

Chaque profil en travers est défini par des relevés de points effectués en lit mineur, moyen et majeur du cours d'eau ainsi que par les distances inter-profil.

Les profils sont localisés en amont (S1, S2 et S3), au niveau (S4) et en aval (S5 et S6) du pont. Figures (30, 31, 32)

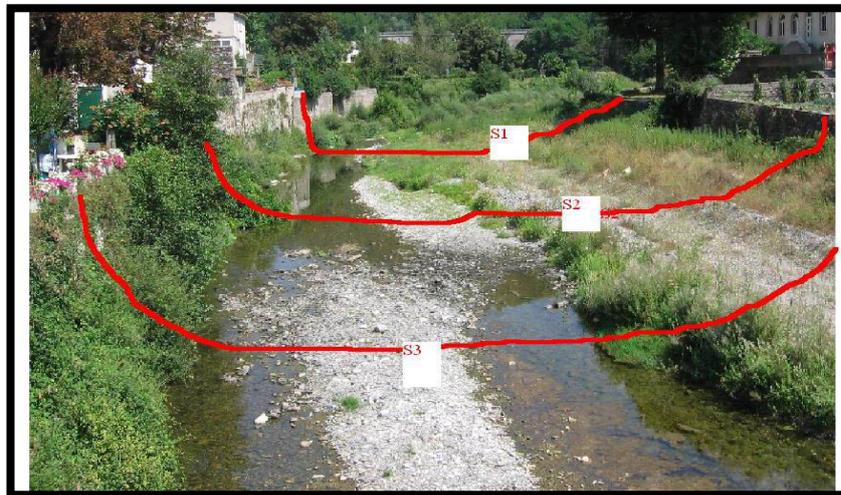


Figure 28: les sections (1, 2, 3) choisie en juillet 2008

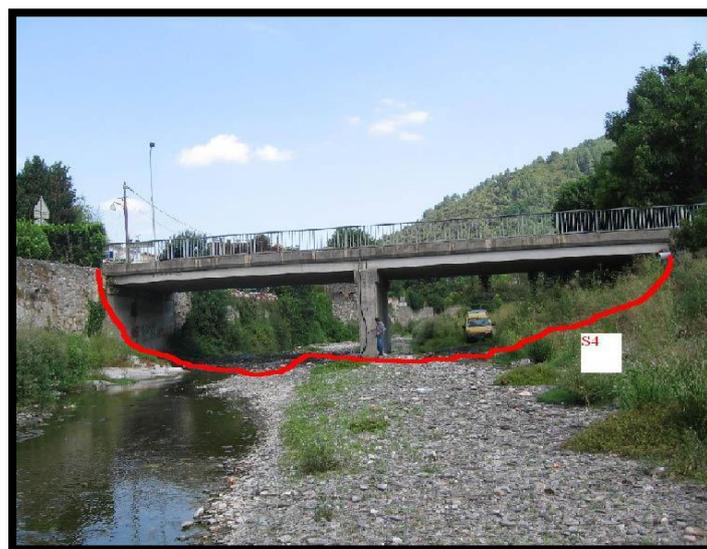
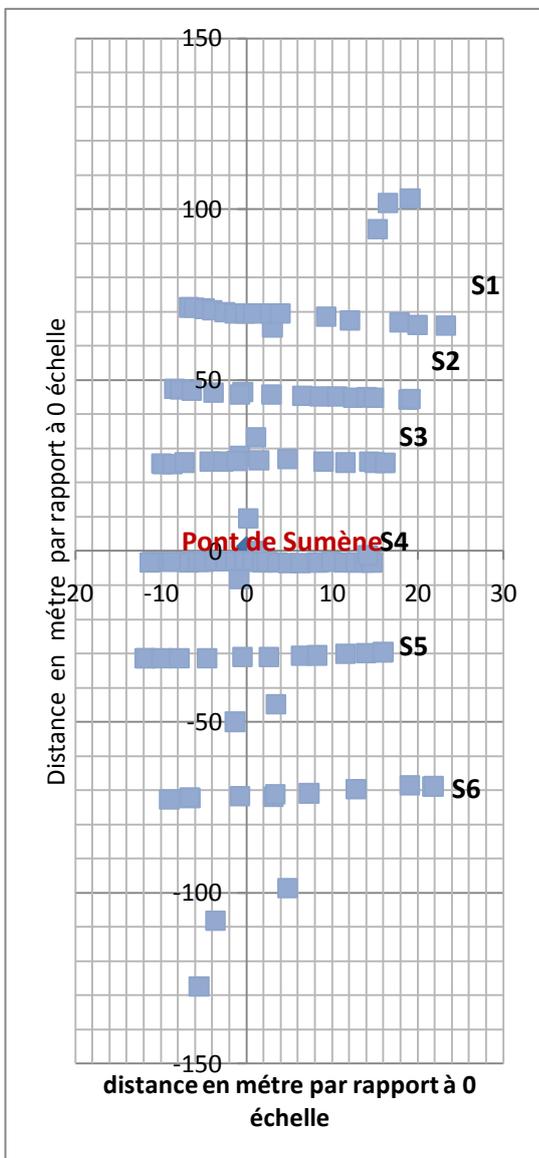


Figure 29: La section N°4 situé près du pont de Sumène (station hydrométrique) de juillet 2008



Figure 30: Les sections N° (5 et 6) de juillet 2008

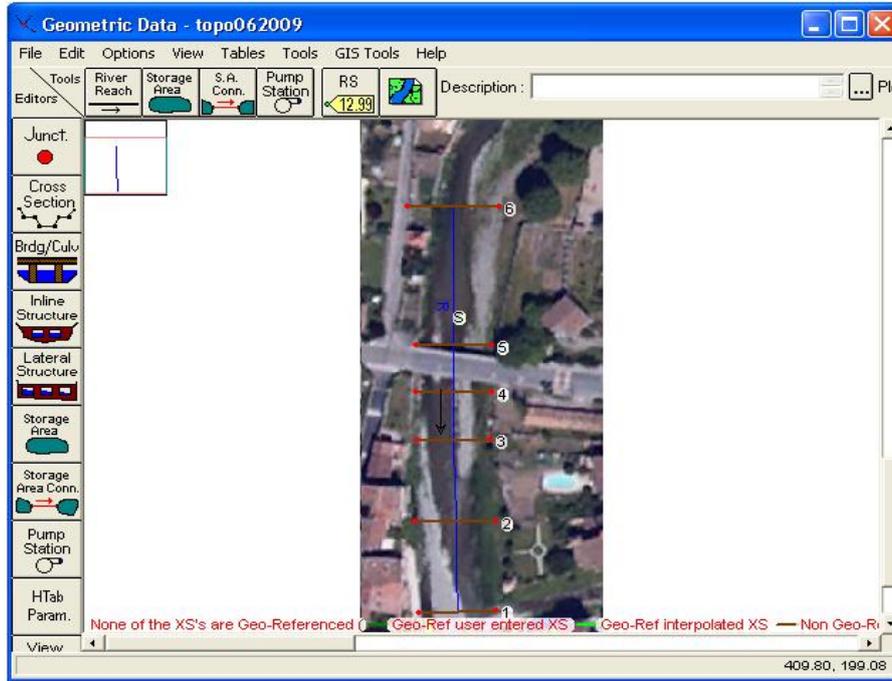


Des lèves topographiques réalisées sur terrain pour opérer les différences des altitudes de chaque section « le nivellement », ils sont repérés par rapport un niveau, pour mesurer des hauteurs sur une règle graduée (la mire). De notre objectif on a calé les différents levés topographiques mesurés juillet 2008, juin 2009, février 2011 par rapport à 0 échelle limnimétrique de la station hydrométrique, pour objectifs de dresser les sections topographiques traduisant les hauteurs de l'eau par rapport échelle limnimétrique.

Figure 31 : Situation des profils en travers et les distances interpostes de juillet 2008

I.2. Interface sur le Modèle utilisé :

L'intégration de la géométrie du cours d'eau se fait directement à l'intérieur du logiciel HEC-RAS. Il est nécessaire dans un premier temps de créer un « bief » pour pouvoir créer une rivière.



La création de la géométrie du cours d'eau s'effectue ensuite par la définition de profils en travers le long du cours d'eau. Pour chaque profil en travers, il est nécessaire de créer un nouveau « cross section » dans laquelle on peut définir la géométrie de la section avec les couples de valeurs « Station-Elevation » issus des relevés topographiques, ainsi que la distance par rapport à la section située à l'aval de celle-ci (« Downstream Reach Length »).

Après avoir rentré les profils en travers du cours d'eau, il est nécessaire de définir les abscisses de la limite du lit mineur (« Main channels Bank Stations ») ainsi que les valeurs du coefficient de rugosité de Manning associés à chaque berge (rive gauche, rive droite, lit mineur). (User's manual version 4)

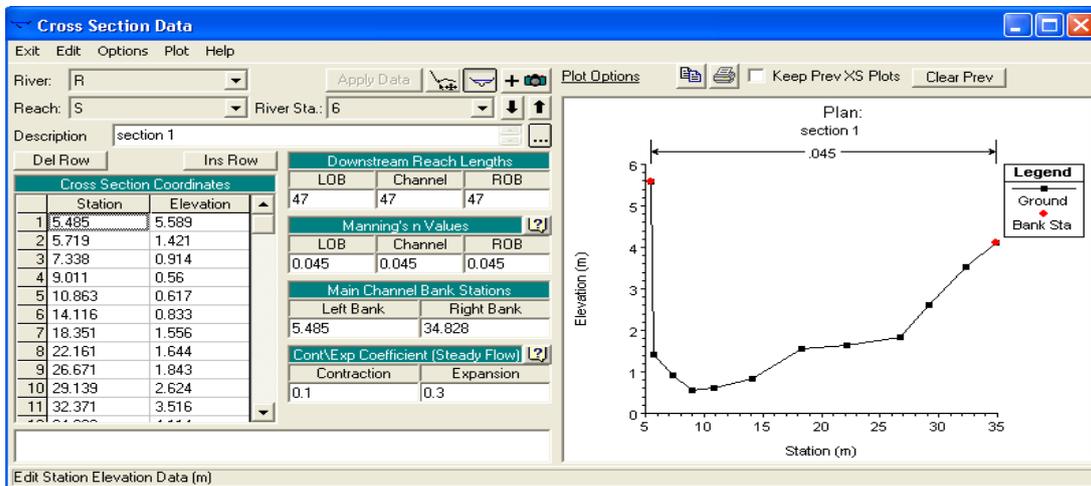


Figure 32 : Paramétrage d'un profil en travers

I.3. Coefficients de Manning (rugosité)

On définit le coefficient de Manning par la rugosité des terrains, en se basant sur l'état de la vallée et des plaines inondables environnantes dressées à l'issue de l'enquête terrain. Le coefficient de Manning peut également être déterminé à partir des jaugeages réalisés au voisinage de la station hydrométrique (Annexe 5).

La section est une zone naturelle d'expansion des crues et ces milieux occupent les espaces relativement plats et riches en alluvions à la limite entre les lits majeurs et mineurs.

I.4. Simulation des lignes d'eau pour différents débits

On se basant sur le logiciel de simulation hydraulique (HEC RAS) pour obtenir la courbe de tarage pour des niveaux de hauteurs d'eau arrivant jusqu'au 4m de hauteur, ce niveau d'élévation de l'eau a marqué dans l'histoire des crues de la ville de Sumène, dans ce travail ce niveau est considéré le débit de la crue de référence, ce débit correspond au débit de la plus grande crue connue, dans les années 80. Il s'agit donc de la plus haute hauteur d'eau connue ce qui permet d'utiliser ce cas comme étant le cas extrême dans notre simulation.

Les simulations ont été réalisées dans les conditions suivantes :

- L'écoulement simulé est fluvial.
- Conditions à la limite à hauteur normale, avec une pente à l'amont de 0.0095 m/m et en aval de 0.002 m/m avec une pente moyenne de 0.0038m/m
- Une rugosité de $n=0.04$

Sous HECRAS les résultats sont automatiquement enregistrés et consultable, la visualisation des données peut être sous forme des graphes sous l'option View Cross Section déterminant les profils en travers et sous l'option de View profils les profils de la surface libre (figure 35) et des tableaux des variables sous l'option Cross Section Output (figure 36).

À partir des résultats récupérés, on extrait plusieurs variables sur les sections transversales en plus les niveaux de l'eau (Figure 37)

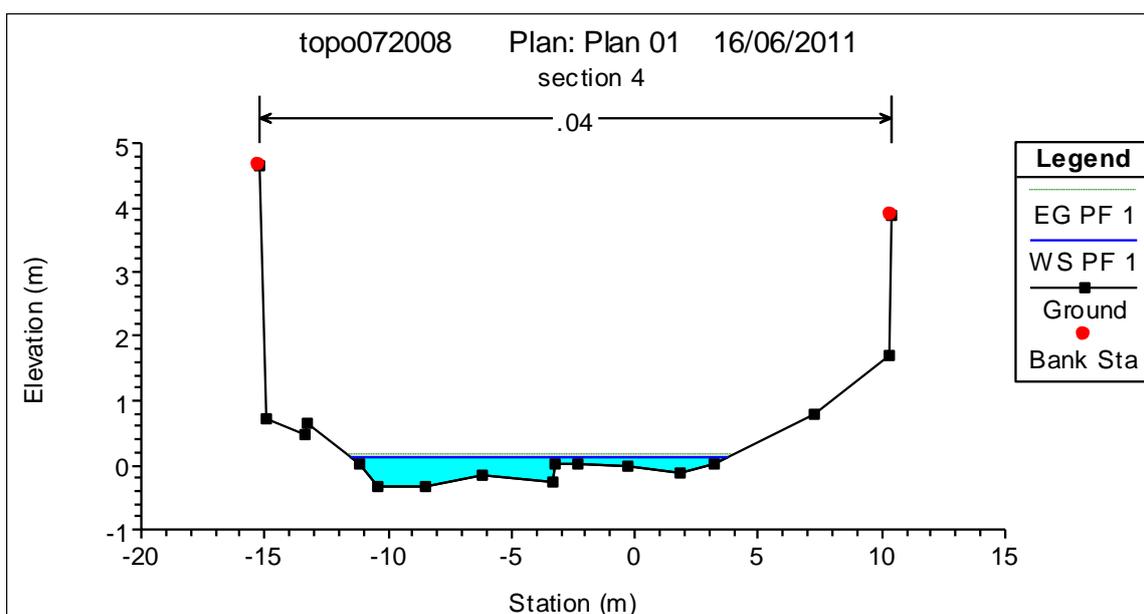


Figure 33 : la forme de la section N°4 et la profondeur de l'eau pour un débit de 2,84m³/s

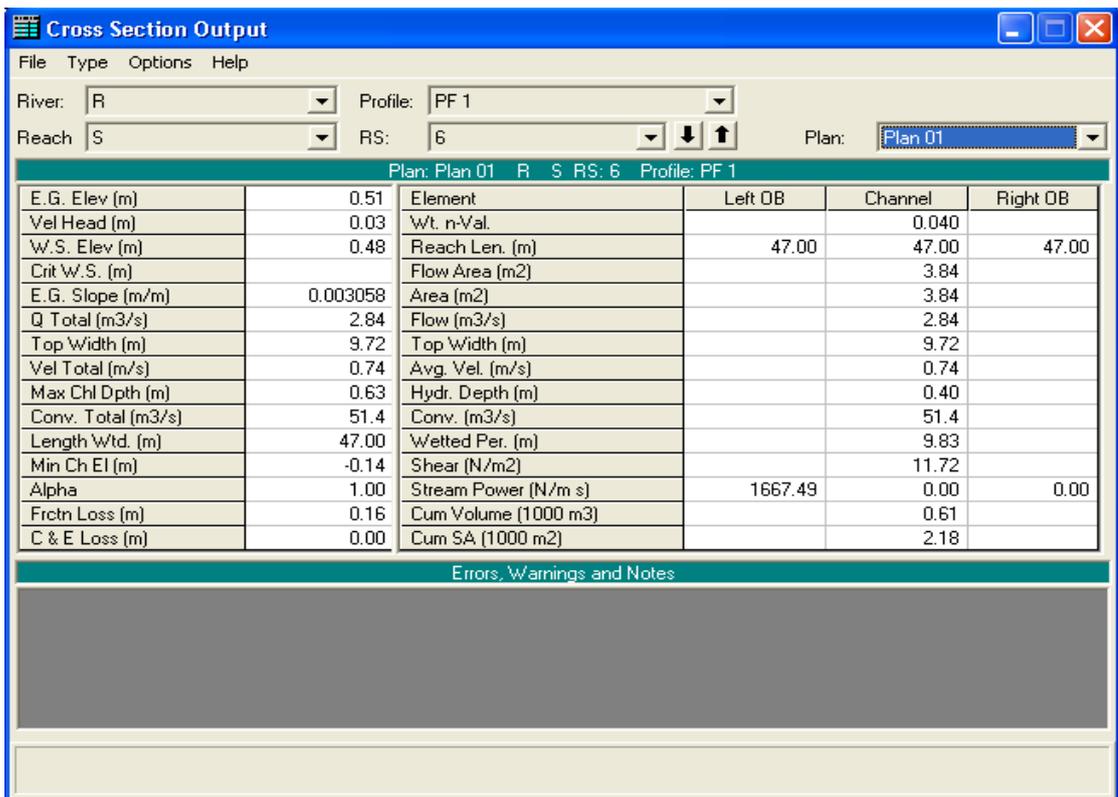


Figure 34 : Les variables sorties du profil en travers section N° 6 de juillet 2008

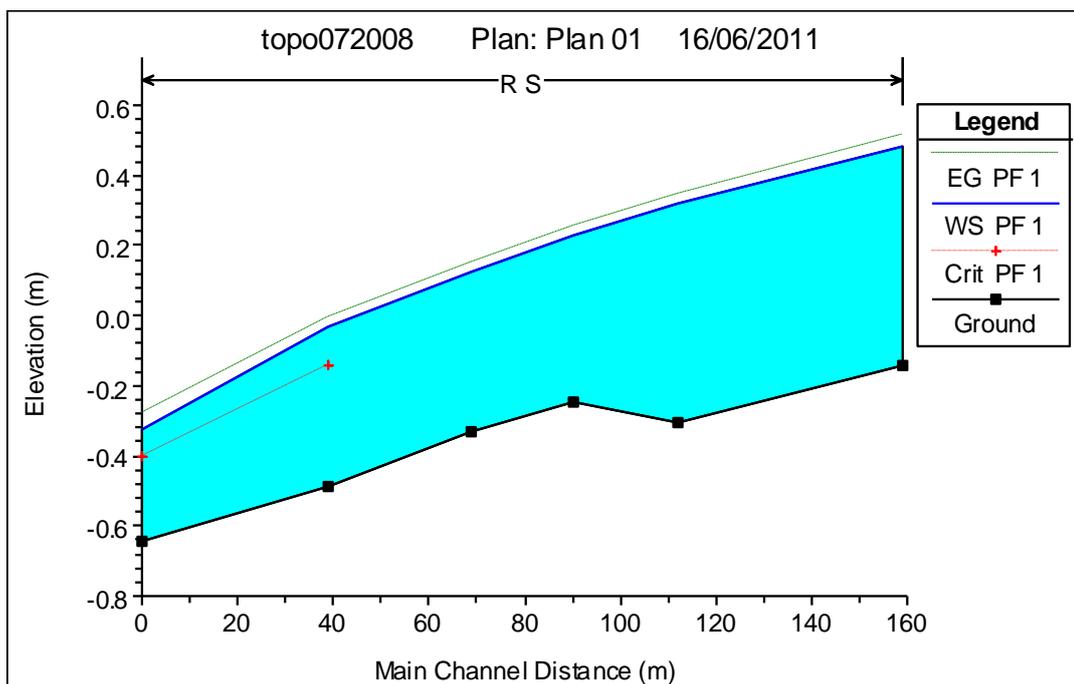


Figure 35 : Le profil de la surface libre le long de secteur mesuré en juillet 2008

Les débits adaptés pour cette simulation pour tous les levés topographiques (Juillet 2008, Juin 2009, Février 2011) sont les suivants :

Hauteur (m) à l'échelle limnimétrique	Débit (m ³ /s)
0.29	2.84
0.37	4
0.62	8.5
0.69	10
0.97	17.18
1.05	20
1.15	24
1.29	30
1.48	40
2.12	80
2.39	100
2.83	140
3.23	180
3.6	220

Tableau 4 : les débits adaptés pour la simulation hydraulique

I.5. Résultats :

La courbe de tarage (figure 38) obtenue à partir d'un rassemblement des mesures de jaugeage sur terrain (annexe 3) et des débits assimilés sur HECRAS sur la section de pont de Sumène.

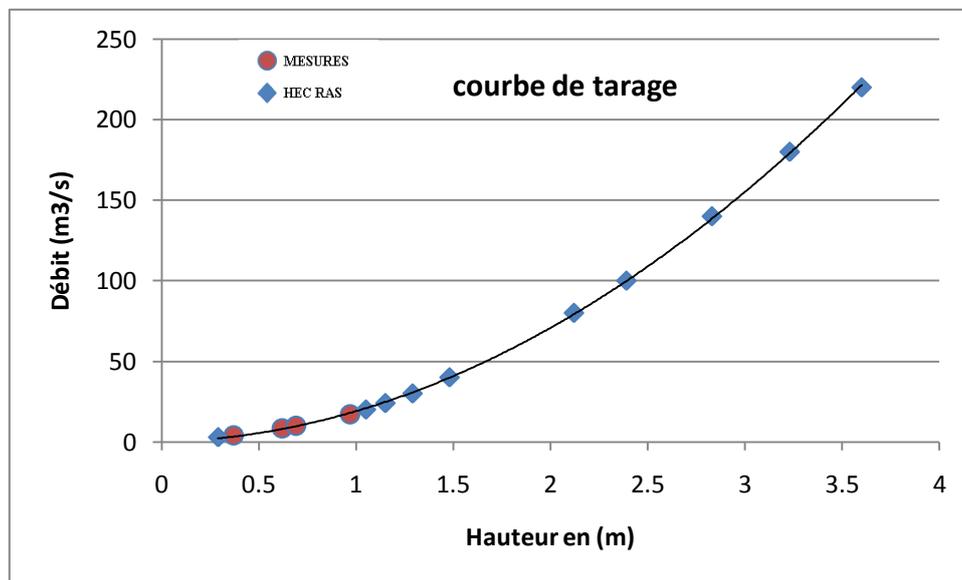


Figure 36 : Comparaison de la courbe de tarage

La figure suivante illustre les différentes sections de la station hydrométrique de pont de Sumène de (juillet 2008, juin 2009, février 2011) (Figure 39).

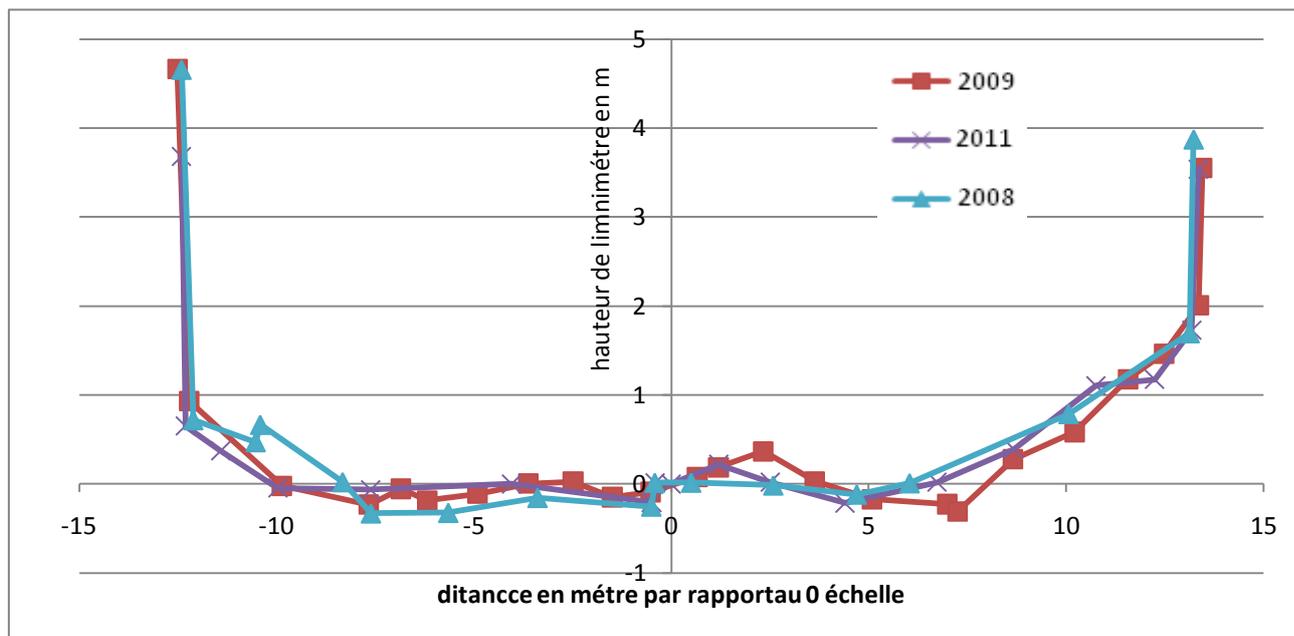


Figure 37 ; Les sections les plus proches de l'échelle limnimétrique

Cette figure montre les différents résultats des débits simulés des sections pont Sumène de (juillet 2008, juin 2009, février 2011), ce qui montre une variation des débits entre les dates liées à la variation de l'endroit mesuré ou la section choisie dans le secteur étudié en chaque date.

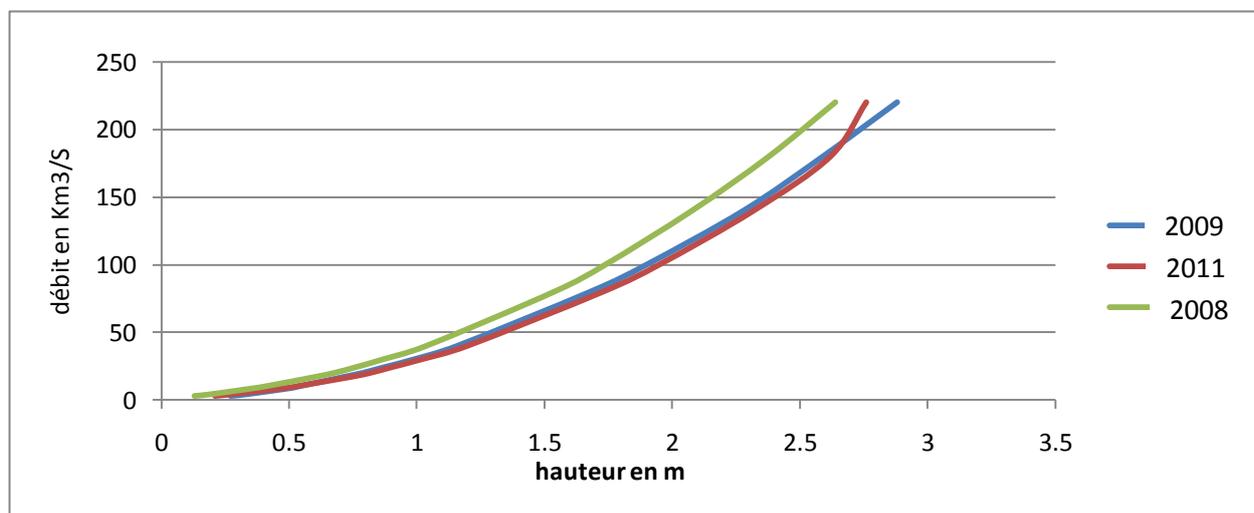


Figure 38: Les courbes de tarages obtenues à partir des simulations hydrauliques des levés topo de 2008, 2009, 2011.

A partir des fonctions polynomiales, les niveaux mesurés sont transformés quotidiennement en hydrogramme, en se basant sur les cotes mesurées par le capteur de niveau de l'eau de la station hydrométrique, situé à 0.25m en dessous de zéro de l'échelle limnimétrique, toutes les valeurs sont calées par rapport au capteur.

Courbe de tarage	Equation polynomiale
Juillet 2008	$y = 28.646x^2 + 6.7197x + 2.0825$
Juin 2009	$y = 23.975x^2 + 7.6459x - 1.0326$
Février 2011	$y = 29.858x^2 - 8.8601x + 5.873$

Tableau 5 : tableau des fonctions polynomiales

Les courbes des étalonnages (Figure 41) obtenues présentent les variations des débits en fonction des hauteurs d'eau prise par le capteur de niveau de l'eau sur un pas de temps de 5 min pour l'année de 2008, 2009, 20011.

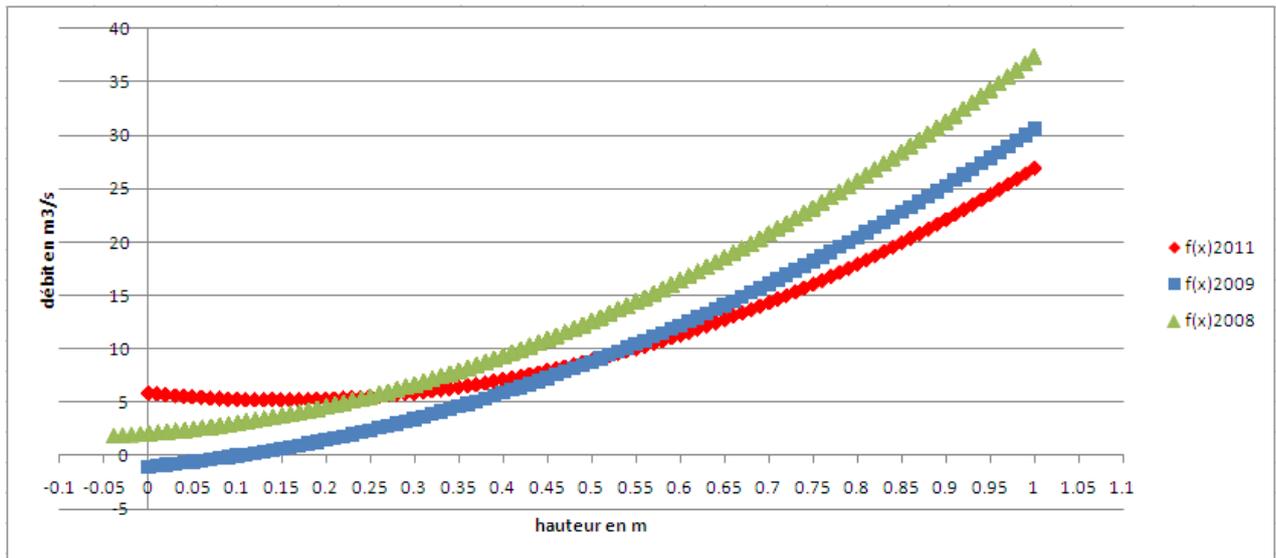


Figure 39 : les courbes des étalonnages obtenus en lit mineur

A partir des courbes tarages obtenus, il est constaté que la géométrie de bassin et le fond sont influencés durant cette période, par une évolution de lit mineur de 2008 jusqu'au début de 2011, cette évolution liée aux événements de crue qu'à connue la rivière et aux matériaux transportés de l'amont vers l'aval.

En conclusion, l'étude des caractéristiques hydrauliques, capables d'établir les courbes d'étalonnages pour de la station hydrométrique, cette caractéristique évolutive est liée au différent épisode de crues qu'ils sont marquée la région durant cette période.

II. Délimitation et caractéristiques des épisodes averse-crue

Le bassin a fait l'objet de plusieurs épisodes de crues importants dans ces derniers 3 ans, entre octobre et décembre 2008, en hiver de 2009 et en avril de même année, après on note une longue période sans crue jusqu'à la fin septembre et une crue en fin de 2009, puis en 2010 des cures en hivers et en début de l'automne et un épisode est survenu en mi-octobre 2010.

Le bassin a fait l'objet de plusieurs épisodes de crues importants dans ces derniers 3 ans, entre octobre et décembre 2008, en hiver de 2009 et en avril de même année, après on note une longue période sans crue jusqu'à la fin septembre et une crue en fin de 2009, puis en 2010 des cures en hivers et en début de l'automne et un épisode est survenu en mi-octobre 2010. L'épisode de crue le plus marquant dans cette chronique est le 02 novembre 2008 à 05 :30 avec un débit de pointe de 114m³/s (cette crue a généré des dommages très importants, entre autres,

sur les berges de la ville de Sumène, avec une déstabilisation des enrochements dans les traversées urbaines de la ville surtout la traversée urbaine de Blavozy (du centre culturel à pont de Sumène) ; un autre épisode important est survenu le 31 décembre 2008 avec un débit de pointe de 43 m³/s. Plusieurs autres épisodes assez importants ont été observés en 2009 (le 02 février, un débit instantané de pointe de crue de 34m³/s, en avril 2 épisodes ont été observés une d'un débit de pointe de 14m³/s en 11/04 et l'autre de 6.9m³/s le 26/04, et à l'automne de 2009 une seule crue en octobre avec un débit de pointe de crue du Sumène de 17.75m³/s. la période de 2010 présente des faibles crues : en hiver 2 cru une de 17m³/s en 14/01 et une autre de 18.6m³/s en 17/02 et en 30/10/2010 le débit de pointe de crue du Sumène était de 30,6 m³/s. en début de l'année 2011 une seule crue a été remarqué en 13 de mois de mai avec un débit de pointe de 31m³/s. D'un débit de pointe de 14m³/s en 11/04 et l'autre de 6.9m³/s en 26/04, et à l'automne de 2009 une seule crue en octobre avec un débit de pointe de crue du Sumène de 17.75m³/s. La période de 2010 présente des faibles crues : en hivers 2 crus une de 17m³/s en 14/01 et une autre de 18.6m³/s en 17/02 et en 30/10/2010 le débit de pointe de crue du Sumène était de 30,6 m³/s. en début de l'année 2011 une seule crue a été remarqué en 13 de mois de mai avec un débit de pointe de 31m³/s.

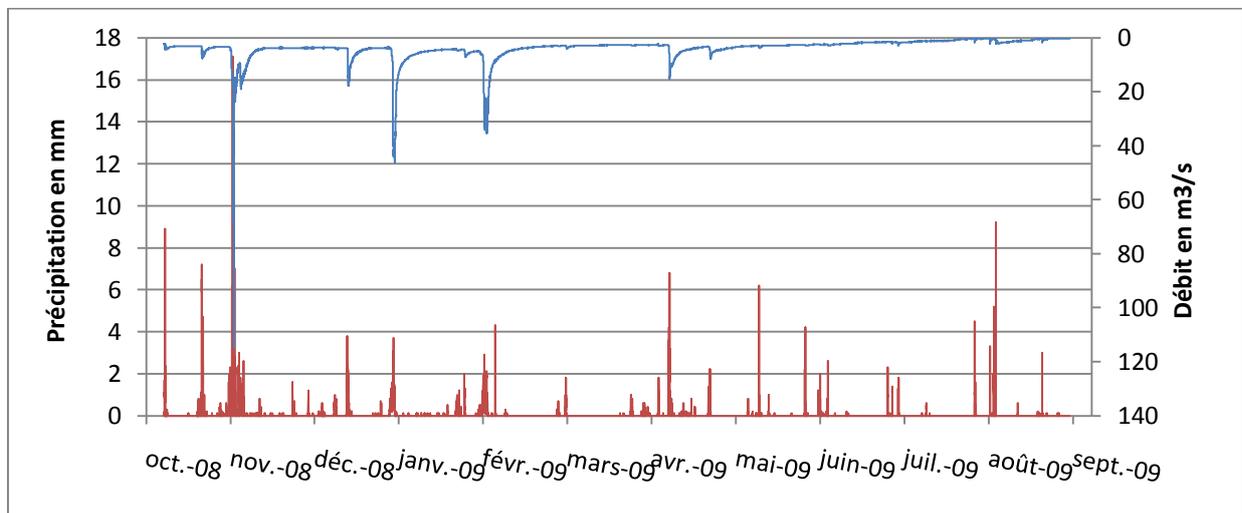


Figure 41 : Débits instantanés (Qi) de la station hydrométrique et précipitation journalière (Station Mas Daumet) de l'année hydrologique 2008/2009

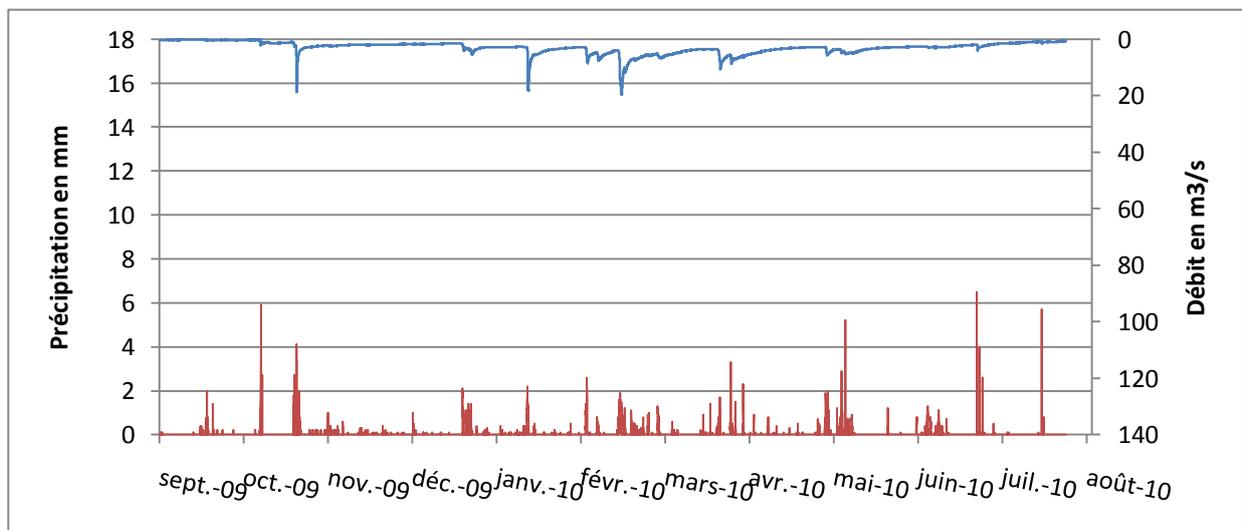


Figure 40 : Débits instantanés (Qi) de la station hydrométrique et précipitation journalière (Station Mas Daumet) de l'année hydrologique 2009/2010

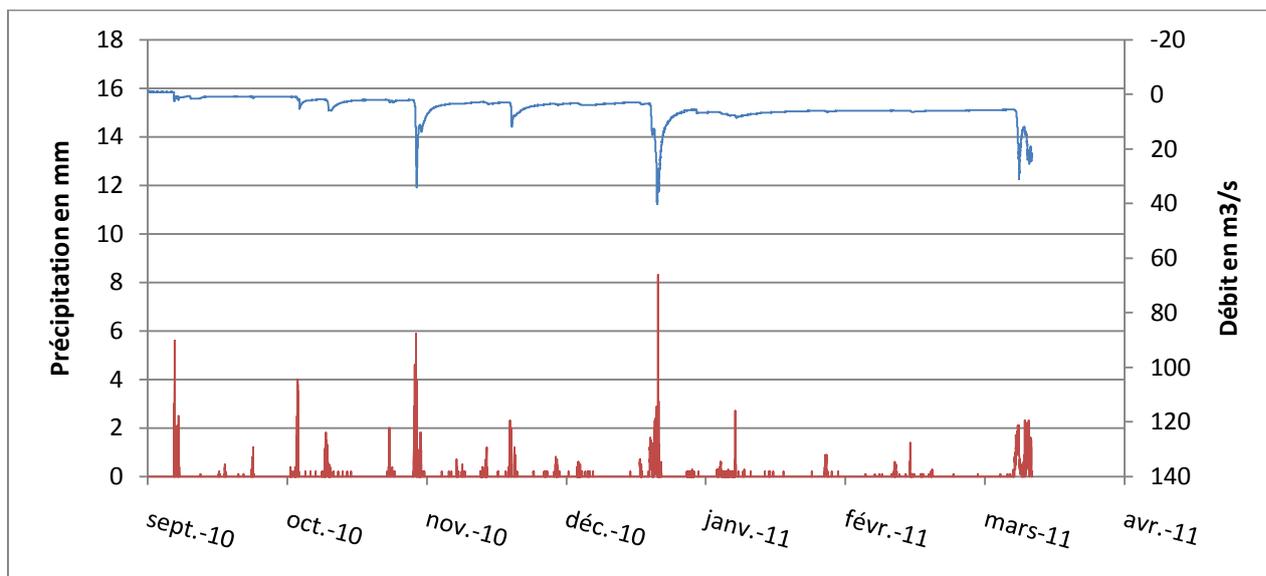


Figure 42 : Débits instantanés (Q_i) de la station hydrométrique et précipitation journalière (Station Mas Daumet) de l'année hydrologique 2010/2011

On a délimité au total 21 épisodes remarquables pendant la période observée 2008-2011, sur un pas de temps fixe, ils servent par la suite à les exploiter dans la modélisation pluie-débits distribuée.

CHAPITRE VI : Modélisation pluie-débit

Dans ce chapitre, on étudie la faisabilité et la performance d'un modèle dérivé de SCS sur le bassin cévenol du Rieutord à Sumène. Après avoir déterminé les enjeux liés à la simulation des crues et la plate forme de travail, on essaie de caler les paramètres du modèle par une détermination des paramètres les plus acceptables.

I. Objet et enjeux de la modélisation pluie-débit

L'étude des phénomènes hydrologique est liée à savoir le lien entre les débits et les événements qui en sont la cause directe, les pluies intenses.

L'objet déterminé pour l'étude de modèle pluie-débit est le bassin versant de cévenol de Rieutord à Sumène connue par son contexte climatique, météorologique et géomorphologique particulière. L'analyse globale de ces caractéristiques (voir chapitre 1) permet d'en tirer des traits tout à fait pertinents pour en comprendre le fonctionnement d'ensemble. Il s'agit de comprendre le fonctionnement du bassin, la nature et le rôle des processus mis ou l'environnement et le fonctionnement du comportement du bassin versant pour que la modélisation pluie-débit puisse répondre à nombreuses questions liées à l'évaluation des risques et la gestion des ressources hydrologiques.

Quelque problématique peut être définie sont :

- Simulation et la reconstitution de débit pour un traitement statistique ;
- Prédétermination des débits de crue ou d'étiages, savoir avec quelle fréquence des débits de crue ou des faibles débits risquent de se produire, et sur quelle durée.
- Prévision des crues et des étiages,
- Influences d'aménagement hydrologique, pouvoir prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications des caractéristiques du bassin d'origine humaine ou à des changements environnementaux.

La modélisation pluie-débit propose des réponses à certaines de ces problématiques (analyse fréquentielle statistique sur les débits pour la prédétermination).

I.1. Classification des modèles pluie débits:

Plusieurs modèles ont été proposées, la difficulté est de retrouver une classification unifiée les caractéristiques des modèles, Clarke (1973) et Ambroise (1998) ont proposé quelques clés de différenciation des modèles:

- déterministes ou stochastiques, suivant la nature des variables, des paramètres et/ou des relations entre eux,
- globaux, semi-distribués ou spatialisés, suivant que le bassin versant est considéré dans l'espace comme une entité homogène, qu'il est divisé en sous-unités supposées homogènes (éventuellement des sous-bassins) ou qu'il est finement discrétisé en mailles,
- cinématiques (descriptifs) ou dynamiques (explicatifs), suivant que l'évolution temporelle du système soit simplement décrite ou mise en relation avec les forces qui en sont la cause,

- empiriques, conceptuels ou théoriques (fondés sur la physique), suivant les relations utilisées pour modéliser la transformation de la pluie en débit et suivant la représentation du système modélisé.

I.2. Présentation de modèle ATHYS

Le modèle pluie-débit utilisé possède certain classe :

- Modèle conceptuel : ils décomposent la transformation de la pluie en débits en sous-processus qui seront traités de façon globale.
- Modèle distribué : permet de tirer profit de l'information disponible sur l'organisation spatiale des pluies et du relief notamment.

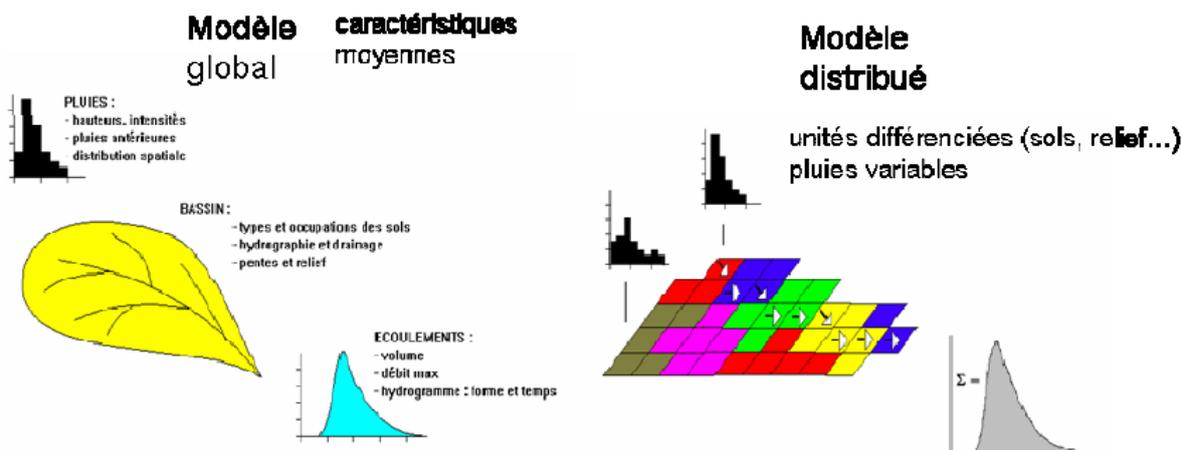


Figure 43 : Schème de modèle global et modèle distribué

- Modèle global : les variables sont exprimées par des valeurs moyennes sur le bassin : pluie moyenne, pente moyenne etc...)
- Modèle événementiel : il est lancé lorsqu'il se produit un événement pluvieux. Ce modèle est utilisé pour la description les épisodes de crue et il est utilisé pour une simulation des crues éclair et décroes.
- Le modèle contenu : simulera en complément les processus qui s'étalent sur une temporalité plus longue : redistribution de l'eau dans les sols, évapotranspiration... Il décrit les variables d'état du système à tout moment, notamment au début des épisodes pluvieux intenses.

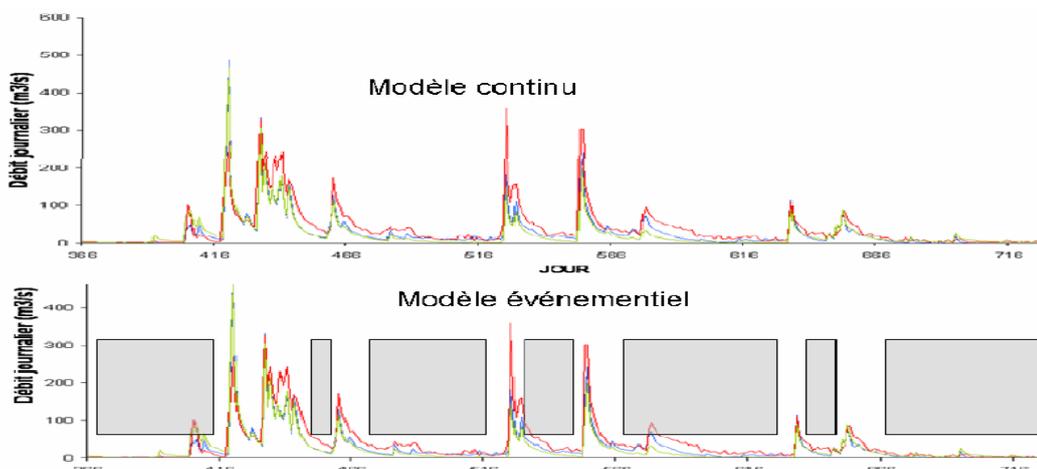


Figure 44: Schème de modèle continu et modèle événementiel

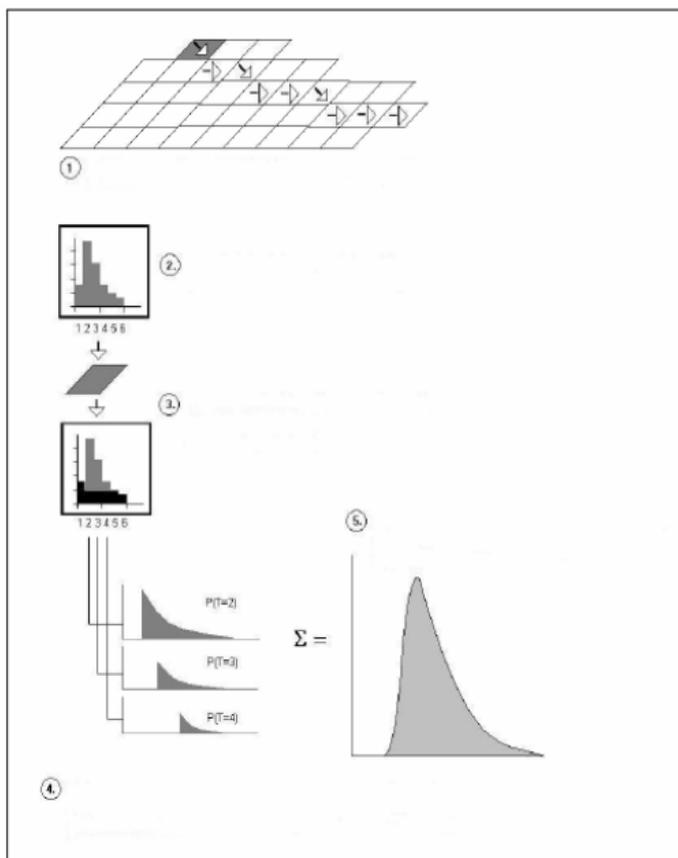
Les performances de ce type de modèle sont étudiées à travers un modèle distribué dérivé du SCS. Ce modèle est réputé être souple, susceptible de s'adapter à tout type de bassin sans préjuger de la nature des processus de formation de crues, et enfin, ce modèle a déjà été utilisé sur des bassins comparables (Gaume, 2002 ; Marchandise, 2003 ; Lequien, 2003).

ATHYS (ATelier HYdrologique Spatialisé) est né du besoin de définir et de concevoir un outil opérationnel pour la mise en œuvre des modèles hydrologiques spatialisés. Ce type de modèle nécessite en effet la manipulation d'un grand nombre de données, aussi bien hydro-pluviométriques que géographiques, et requiert l'utilisation de logiciels fonctionnant jusque là indépendamment les uns des autres, avec des structures parfois très différentes. (Bouvier, 1995)

Il permet de manipuler un ensemble de données pour la transformation pluie-débit à l'aide de trois modules. Le module géographique VICAIR permet de réaliser un traitement complet du Modèle Numérique de Terrain et de produire des fichiers dérivés géomorphologiques du bassin versant considéré. Le module hydro-pluviométrique VISHYR réalise la fusion de données hydro-pluviométriques, étape nécessaire à l'utilisation du module hydrologique MERCEDES (Bouvier, 1994).

II. Le modèle hydrologique spatialisé MERCEDES

MERCEDES (Maillage Élémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels) est une plate-forme de modélisation spatialisée pour l'étude de la transformation pluie-débit. MERCEDES propose ainsi un grand nombre de fonctions de production et de transfert, applicables dans un environnement homogène et convivial. Il est basé sur la discrétisation spatiale du bassin en mailles carrées régulières, qui permet de prendre en compte aisément la variabilité spatiale des principaux facteurs qui déterminent les écoulements (pluies, sols, relief...) (www.athyssoft.org).



La transformation pluie-débits spatialisée par MERCEDES est faite selon 5 étapes :

Etape 1 : Détermination du bassin versant à l'aide du Modèle Numérique de Terrain (MNT).

Etape 2 : Calcul de la pluie pour chaque maille.

Etape 3 : Calcul de la pluie efficace, la fonction de production choisie est un schéma dérivé du SCS

Etape 4 : Transfert à l'exutoire des pluies efficaces, par un schéma de type translation stockage.

Etape 5 : Sommation des hydrogrammes élémentaires à l'exutoire du bassin, qui fournit l'hydrogramme complet de la crue.

II.1. Les étapes La transformation pluie-débits spatialisée par MERCEDES

Etape 1 : Discrétisation du bassin versant à l'aide du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

A partir de fichier de MNT (constitue les altitudes numérisées au pas de 50 mètres sur une grille de régulière de 23 km de large sur 26 km de long incluant le bassin Cévenol de Rieutord à Sumène) (Figure 47) , un algorithme a été intégré dans ATHYS permet de déterminer de manière automatique les directions de drainage sur le bassin versants, chaque maille drainant vers la maille voisine avec laquelle il a la plus grande différence d'altitude, il s'agit d'un drainage monodirectionnel L'ensemble des directions de drainage forme le chemin d'écoulement. La longueur de ce chemin intervient dans le calcul de la distance hydrologique de la maille à l'exutoire, grandeur qui entre dans le calcul des paramètres de transfert de la maille. Les bassins versant sont donc uniquement définis par les données de leur maille à exutoire.

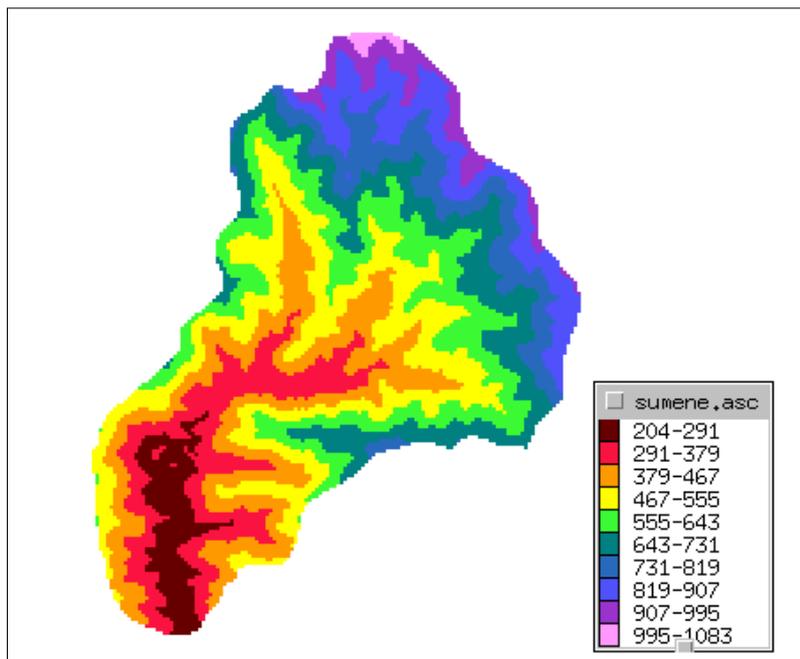


Figure 45: le MNT de bassin versant sous le module VICAIRES

Etape 2 : Calcul de pluie

La pluie est déterminée automatiquement sur chaque maille du bassin versant (maille carrée de côté 50 m) avec une méthode d'interpolation des distances à partir du réseau de trois postes pluviométriques.

Etape 3 : La fonction de production SCS

Le modèle empirique non linéaire SCS (Soil Conservation Service) relie le cumul de la pluie efficace P_e au cumul de la pluie brute P_b :

$$P_e = \frac{(P_b - I_a)^2}{(P_b - I_a) + S}$$

I_a : les pertes intervenant en débit d'événement et S la capacité de rétention en eau du sol.

Les paramètres I_a et S sont liés par une relation : $I_a = 0.2 * S$

Le paramètre S (mm) est en relation avec le coefficient d'aptitude au ruissellement CN Curve Number (Annexe 6) selon la formule suivante:

$$S = 25.4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Ce modèle de production appliqué en chaque maille élémentaire de MERCEDES permet ainsi d'estimer le stock hydrique potentiel de chaque maille et d'en déduire un coefficient d'écoulement instantané $C(t)$, dérivé de la fonction de production précédente:

$$C(t) = \frac{P(t) - 0.2.S}{P(t) + 0.8.S} \left(2 \frac{P(t) - 0.2.S}{P(t) + 0.8.S} \right)$$

Selon Marchandise, cette expression amène à des commentaires :

- Pour un cumul de pluie P inférieur à $0.2S$, le coefficient C n'est pas défini. En réalité, il est pris égal à 0. Cela correspond à une imbibition « forfaitaire » des premières pluies par le bassin versant
- Le coefficient évolue asymptotiquement de 0 vers 1. Notons une évolution rapide du coefficient de ruissellement passé un certain cumul de pluie : on passe d'un coefficient de ruissellement instantané de 9% à 41 % pour un cumul de pluie variant de $S/4$ à $S/2$. Pour un cumul de pluie égal à S , il vaut 69 %.
- Le coefficient de ruissellement est toujours croissant dans le temps, et reste stable pendant les interruptions de la pluie.

La fonction de production SCS est paramétrée par trois paramètres par deux autres coefficients que le coefficient de ruissellement, sont l'intensité de vidange du stock ds et la fraction w de la vidange qui rejoint l'exutoire du bassin. Cette vidange permet de simuler le ressuyage des sols entre deux averses (Figure 48).

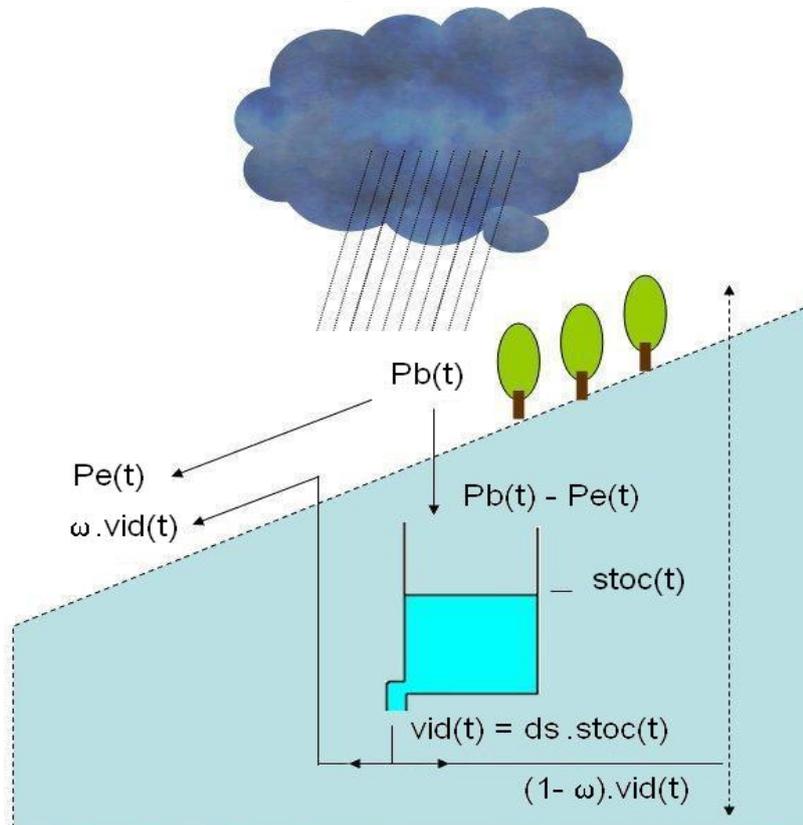


Figure 46: Schéma récapitulatif du modèle SCS avec vidange

Les équations du schème :

Ruissellement

Écoulement direct $R(t) = i(t) \cdot C(t)$

Coefficient écoulement $C(t) = \frac{(P(t)-0.2S)}{(P(t)+0.8S)} * (2 - \frac{P(t)-0.2S}{P(t)+0.8S})$

P(t) : cumul de la pluie, diminué en fonction de la vidange du réservoir sol

Alimentation du réservoir $f(t) = i(t)(1 - C(t))$

Vidange du réservoir sol $vid(t) = ds \cdot stoc(t)$

Stoc(t) : le niveau du réservoir sol à l'instant t

- Si le flux d'infiltration est nul, la variation du niveau du réservoir entre t_0 et t obéit à l'équation :

$$S(t) = S(t_0) \exp(-ds(t - t_0))$$

- Si le flux d'infiltration n'est pas nul, le schéma est résolu de façon explicite, entre 2 pas de temps t et $t+\Delta t$:

$$S' = S(t) + f(t)\Delta t$$

$$Vid' = \frac{S' + S(t)}{2} (1 - \exp(-DS * \Delta t))$$

$$S(t + \Delta t) = S' - Vid'$$

Vid' désigne le volume vidangé entre les instants t et $t+\Delta t$.

Enfin, on considère qu'une quantité exfiltrée, Exf' , qui correspond à une fraction du volume vidangé, est remise en écoulement gravitaire :

$$Exf' = \omega * Vid'$$

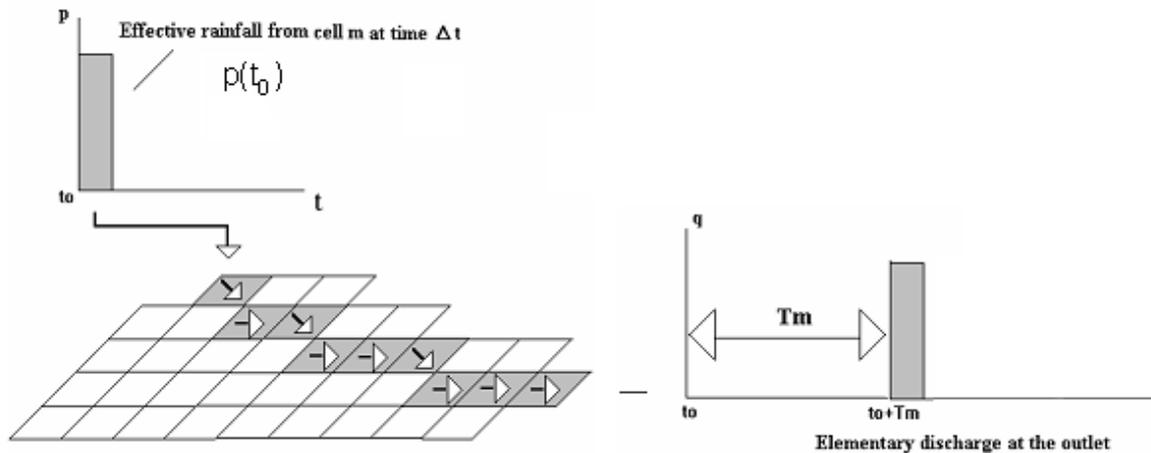
Le ruissellement total produit par une maille entre les instants t et $t+\Delta t$ est donc égal à :

$$R' = (i(t) - f(t)) * \Delta t + Exf'$$

Etape 4 : Fonction de transfert Lag and Route

Le modèle Lag&Route est un modèle de transfert conceptuel, spatialisé, c'est-à-dire que chaque maille du MNT est caractérisée par ses paramètres de transfert. L'opérateur de transfert combine un processus de translation et un processus de stockage. Il permet de transférer la contribution nette de chaque maille à l'exutoire pour un pas de temps considéré t_i . Chaque maille est considérée sans connexion avec les mailles voisines. Cette hypothèse était proposée pour simplifier la modélisation, sur tous les pas de temps de calcul. L'autre avantage de cette hypothèse, les mailles non connectées les unes aux autres, est que le résultat de la modélisation est indépendant de la taille de la maille. (todorovik et al)

Chaque maille est définie à priori par ses deux paramètres de transfert : le temps de propagation T_m et le paramètre de stockage K .



Le temps de propagation T_m de la maille m jusqu'à l'exutoire, en multiples du pas de temps, est:

$$T_m = \sum \frac{l_k}{V_k}$$

l_k longueur et V_k vitesse d'écoulement des mailles k de la trajectoire ($V_k=V_0$ en m/s)

Le temps de propagation est proportionnel à la distance hydrologique de la maille à l'exutoire qui vaut : Le paramètre de stockage ou de diffusion, K_0 , est proportionnel à la distance hydrologique de la maille à l'exutoire et donc au temps de propagation. Il augmente donc avec l'éloignement à l'exutoire ce qui traduit physiquement un stockage plus important par le bassin versant. D'où un facteur de proportionnalité ou facteur d'amortissement K_m : $K_m=K_0.T_m$.

On résume par l'application cette fonction de transfert dans MERCEDES nécessite 2 paramètres V_0 et K_0

Etape 5 : Calcul de l'hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue est la somme sur la maille exutoire, dans le temps et dans l'espace, des hydrogrammes élémentaires des mailles appartenant au bassin versant.

II.2. Calage des paramètres

Le calage porte sur les 5 paramètres S , w , ds , V_0 , K_0 . Des études ont été réalisées pour la calibration des modèles à l'échelle locale et régionale par donnée des estimations à chaque paramètre dans un l'intervalle défini. On est basé sur une étude faite par un groupe scientifique de la régionalisation des modèles pluie-débit sur plusieurs bassins français en cours de la réalisation. Un des bassins modélisés est similaire de notre bassin, c'est le bassin du Gardon Anduze, d'où on extrait les valeurs des paramètres calés.

Le paramètre S : capacité de rétention potentielle maximale des sols, joue sur le volume des eaux et la montée des eaux, équivalent au Curve Number. $S=250\text{mm}$, liée au substrat granitique (sol moins épais et très filtrant)

Le paramètre w : la fraction de la vidange qui participe au ruissellement, sous forme d'exfiltration. $w = 0.7$ pour un bassin à substrats schisteux ou granitiques.

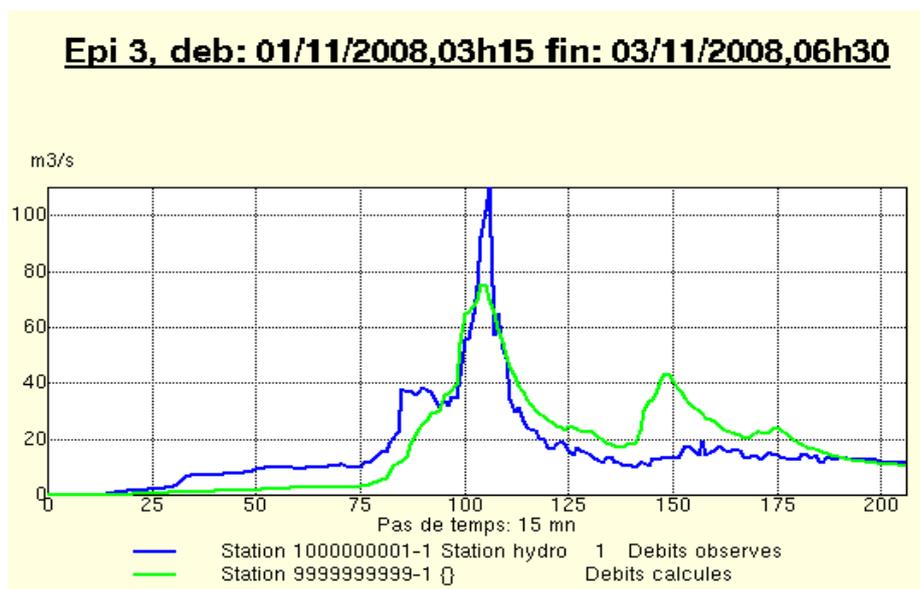
Le paramètre ds : coefficient de la vidange exponentielle de la lame infiltrée, simulant la vidange du réservoir sol (évaporation, percolation, ruissellement hypodermique). $ds = 0.4\text{j}^{-1}$

Le paramètre K_0 : coefficient de diffusion de l'onde de crue joue sur la position du maximum et ne modifie pas le volume, $K_0 = 2$ valeurs convenables pour tous les bassins.

Le paramètre V_0 : la vitesse d'écoulement maximale atteinte au cours de l'événement. $V_0 = 2$ m/s (considérera que la vitesse V_0 est spatialement uniforme sur l'ensemble des mailles du bassin)

16 événements avec débit de pointe supérieur à $1\text{m}^3/\text{s}$ sur les quels ces paramètres ont été calé, pour un objectif d'obtenir des valeurs, qui pourront par la suite interprétés physiquement.

On présente certain événements (Figure 49, 50, 51) soumis à une calibration automatique par ces paramètres, et on choisit, le critère de Nash et la calibration simultanée production et transfert.



*Figure 47 : Calage de l'épisode n°3 sur bassin cévenol de Sumène à Rieutord sous MERCEDES.
Indiquer les valeurs finales des paramètres : $S = 250$, $w = 0.7$, $ds = 0.4$, $V_0 = 2.5$, $K_0 = 2$*



Figure 48 : Calage de l'épisode n°4 sur bassin cévenol de Sumène à Rieutord sous MERCEDES
Indiquer les valeurs finales des paramètres : S =250, w =0.7, ds =0.4, Vo=2.5, Ko =2

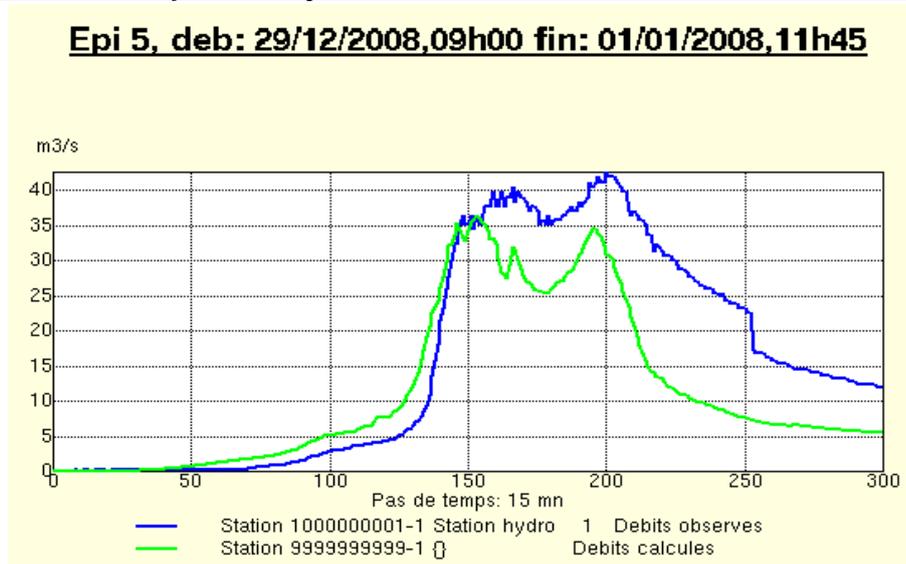


Figure 49: Calage de l'épisode n°5 sur bassin cévenol de Sumène à Rieutord sous MERCEDES
Indiquer les valeurs finales des paramètres : S =250, w =0.7, ds =0.4, Vo=2.5, Ko =2

Pour s'assurer du bon fonctionnement du modèle et l'obtention des paramètres de calage identiques, il est demandé de faire plusieurs simulations avec des valeurs différentes. Les valeurs prises sont après une série de calibrations des paramètres.

Le calage des paramètres est le critère de Nash. Pour un épisode, ce critère est calculé par

$$Nash = 1 - \frac{\sum (Q_{calc} - Q_{obs})^2}{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

On détermine ici les résultats obtenus pour ces 3 épisodes :

Valeur initiales	S= 250	CN=40	W=0.7	Ds=0.4	V0 = 2.5	K0 = 2	
N° des événements	Valeur des paramètres calés						
	S	CN	w	ds	V0	K0	Nash
3	250	52.75	0.7	0.4	2.5	2	0.62
4	232	62.38	0.7	0.4	2.5	2	0.9
5	240	65.50	0.7	0.4	2.5	2	0.67

III. Conclusion

Le calage des modèles est basé sur un teste d'un modèle dérivé du SCS à 4 paramètres de production sur le bassin. L'évaluation des performances de ce modèle fait par une procédure de calage/validation sur 21 événements (NASH) validant la légitimité d'un coefficient de ruissellement, fonction croissante du cumul de pluie, selon le modèle SCS associé à des pluies spatialisées.

Les paramètres sont estimés à partir des caractéristiques du milieu et en fonction des processus mis en évidence sur le type de bassin. Certains analyses de modèle permet de faire estimations voisines des différents paramètres, ce qui suggère une certaine homogénéité régionale des réponses des bassins versants, et une certaine capacité du modèle à appréhender cette homogénéité régionale.

CONCLUSION ET PRESPECTIVE

Le présent travail est fait l'objet d'étudier un modèle pluie-débit pour la prévision des crues en bassin et en particulier la ville de Sumène, par une exploitation des données récolté, en vue d'améliorer les connaissances et les capacités de prévision du risque hydro-météorologique associé aux pluies intenses et aux crue de type « éclair » sur le bassin.

La reconstitution des crues dans le bassin, après calage sur des événements de période de retour courante, est réalisée par un modèle dérivé du SCS. Ce principe est plus détaillé dans la thèse de de Marchandise (2007) qui a appliqué le même modèle pluie-débit distribué à l'échelle du Gardon à Anduze (525 km²).

La modélisation proposé dans ce travail, est basé sur des paramètres régionales, qu'ils sont été calé en respectant la variabilité spatiale des paramètres de ce modèle en fonction de contextes climatiques, géologiques ou autres.

Les paramètres de la fonction de production de type SCS sont lié aux caractéristiques des bassins, le paramètre principale est le coefficient de ruissellement, qu'il est lié à l'état d'humectation des sols en début de l'épisode, pour cela il est nécessaire d'étudier par la suite et mettre en perspective l'état de l'humidité de sol et réalisé un modèle associé à l'humidité initiales avec une étude approfondie des caractéristiques de sol.

BIBLIOGRAPHIE

Alabouvette A., (1988), « *notice explicative de la feuille le vigan a 1/50.000* », édition BRGM, ORLÉAN, France.

Ayral.PA (2005), « *Contribution à la spatialisation du modèle opérationnel de prévision des crues éclair ALHTAÏR Approches spatiale & expérimentale Application au bassin versant du Gardon d'Anduze* » ; thèse ; Université de Provence – Aix-Marseille I

Bouvier C., Fuentes Mariles G., Dominguez Mora R., (1994) ; « *MERCEDES : un modèle hydrologique d'analyse et de prévision de crues en milieu hétérogène* ». SHF, Nîmes.

Bouvier C., Brunet P., Crespy A., Marchandise A., (2006), « *Un modèle pluie-débit distribué événementiel parcimonieux pour la prédétermination et la prévision des crues éclair en zone méditerranéenne. Application au bassin du Gardon d'Anduze* ».

Conseil Général de l'Hérault., (2003), « *Note au Conseil Général de l'Hérault sur les activités de l'IFR ILEE dans le bassin versant de l'Hérault* »

Cosandey C., (2000), *Dictionnaire Français d'Hydrologie en ligne*

Cosandey C et Robinson M, « *hydrologie continentale* », transfert à l'échelle des versants et du bassin versant, P 203 à 228

Debiane.K (2008) « *Cours sur le logiciel HEC-RAS Cabinet Telesystems* », cours, Cabinet Telesystems.

Delreiu G, Anquetin S, Andrieu H, Creutin JD, et Gaume E., « *L'ORE Observatoire Hydro-météorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais* » présentation, OHM-CV

Direction départementale de l'Équipement service de l'urbanisme de l'aménagement et de l'environnement (mai 2005), « *Plan de prévention des risques inondation commune de Lamastre* » rapport de présentation.

Direction régional de l'environnement, Société Français d'Ingénierie., « *Cartographie des zones inondables par analyse hydro géomorphologique ATLAS DES ZONES INONDABLES SUR LE BASSIN VERSANT DE L'HERAULT.* », Rapport Définitif.

Elsa R.,(2003), « *Etude et modélisation hydrologique des crues éclairs, application a la région Cévennes-Vivarais* », Rapport de stage de fin d'études et de DEA

Gaume.E (2002), « *Eléments d'analyse sur les crues éclair* » ; thèse ; INRS Québec.

Guillot.P et Duband.D (1980), « *Une méthode de transfert pluie-débit par régression multiple* » *Hydrological forecasting - Prévisions hydrologiques* (Proceedings of the Oxford Symposium, April 1980; Actes du Colloque d'Oxford, avril 1980): IAHS-AISH Publ. no. 129.

Lequien.A.,(2002) « *analyse et évaluation des crues extrêmes par modélisation hydrologique spatialisée. Cas du bassin versant du Vidourle* » mémoire ; DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental.

Marchandise A., 2007. « *Caractérisation des processus de formation des crues éclair en région méditerranéenne. Application à la prévision de crues* ». Thèse de l'Université Montpellier 2.

Martin.C, Didon-Lescot, et Jolivet J (2010), « *les étiages dans le bassin versant du gardon de Saint-Jean (commune de Peyrolles, Gard)* », Rapport final pour le SMAGE des Gardons

Martin.C, Didon-Lescot, Jolivet J, Allignol F, Castex JM, et Ray D ;(2006),« *observations complémentaires sur les fonctionnements hydrologiques et hydro sédimentaires de la vallée obscure (commune de Peyrolles)* », Rapport final pour le SMAGE des Gardons

Rolley.JP (2007) ;, « *Géologie du département du GARD Essai de synthèse géologique* »

Sakout.S et Guilbot.A (1988) ;,« *Essais d'estimation des débits de pointe de crue à partir des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants en région méditerranéenne Le cas du Languedoc-Roussillon* » Hydrol. continent., col. .3, no 1, 1988 : 57-65

Smahi.D, (2008) .; « *Les inondations au Maroc : origines, typologies, évaluation de la vulnérabilité et moyens d'atténuation Délimitation du domaine public hydraulique d'Oued El Khemis (Province de Tétouan)* » Master, Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca (Maroc)

Société hydrotechnique de France, (2010), « *Risques Crues Inondations* » Revue des sommaires Extrait des travaux sur le thème.

Tramblay. Y, Bouvier.C, Martin.C, Didon-Lescot.JF, Todorovik.D, Domergue JM, 2010. « *Assessment of initial soil moisture conditions for event-based rainfall-runoff modelling* ». Journal of Hydrology, Volume 387, Issues 3-4, 15 June 2010, Pages 176-187

Université du Québec École de technologie supérieure Département de Génie de la construction, « *HEC-RAS River Analysis System Guide de laboratoire : Exemple pour la rivière du Loup HEC-RAS Version 3.1.3* », CTN-762 Ressources hydriques.

ANNEXES

Annexe 1 : SCHAPI

Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI):
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>

C'est un service rattaché à la Direction de l'eau du ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, le SCHAPI favorise les synergies avec Météo-France et les équipes scientifiques qui y sont rassemblées.

Il réunit des experts en météorologie et en hydrologie. Ses principales missions consistent en l'appui aux services de prévision des crues au niveau national ainsi qu'en une veille hydrométéorologique 24 heures sur 24, localisée sur les bassins rapides. Il publiera de l'information à destination du public sous la forme d'une carte de vigilance inondation

Le SCHAPI assure, sur l'ensemble du territoire national, une mission d'animation, d'assistance, de conseil et de formation auprès des services intervenant dans le domaine de la prévision des crues et de l'hydrologie..

Le SCHAPI contribue aux actions de communication sur les événements hydrologiques en cours, il publie en liaison avec les services de prévision des crues une carte de vigilance.

Il assure la coordination scientifique et technique du domaine de la prévision des crues en liaison avec les organismes scientifiques et techniques de l'Etat. Avec Météo-France, il définit la consistance des données, des outils, des produits, et des méthodes de natures météorologique aux services de prévision des crues et directions régional de l'environnement.

Annexe 2 : Description de la base de Données de l'organisation du sol:

BD Sol Languedoc-Roussillon (<http://www.gissol.fr/>)

La base de données sols du Languedoc-Roussillon (BDSol-LR) est issue du Référentiel Pédologique Régional (RPR). Elle met au service du public ou des services concernés une étude pédologique de l'ensemble des sols de la région. Les travaux de prospection et de cartographie pédologiques ont été menés par les spécialistes en Science du Sol d'une unité mixte de recherche Agro.M, Inra, IRD (UMR LISAH, Montpellier). Présentation, les données (origine, applications réalisées depuis 1991, diaporama...), consultation, contacts-prix, documents.

Les données du Sol sont extraites à partir de la BD Sols du Languedoc-Roussillon, dont l'exploitation sur le bassin du Rieutord a fait l'objet d'une convention entre le gestionnaire de la base de données et l'IRD.

Les données sont organisées sous une structure informatique unique « DoneSol », décrivant les différents éléments observés et analysés lors de la réalisation d'un inventaire des sols.

La base des données est structurée en :

- Unités cartographiques du Sol (UCS) : est la couverture pédologique étant constituée de types du sol distribués dans l'espace de manière organisée selon les facteurs de la pédogenèse, lorsque l'on ne peut délimiter d'unités typologiques du sol, on délimitera des portions de la couverture pédologique où les facteurs de la pédogenèse sont homogènes (morphologie, lithologie, climat et dans certains cas occupation du sol) et appelées pédopaysages. Ces pédopaysages ainsi délimités sont appelés Unités cartographiques du sol (U.C.S.). (Représenté par des polygones géoreferencés)
- Unités Typologiques du sol (U.T.S) : est la portion de la couverture pédologique qui présente les caractères diagnostiques d'une pédogenèse identique et qui présente en tous lieux de l'espace la même succession d'horizons (représentative en pourcentage d'UCS)
- Les strates représentent la variation dans l'espace d'un horizon ou d'une couche issue d'un horizon ou d'un regroupement de plusieurs horizons. (Strates scindant l'UTS en couche homogène).

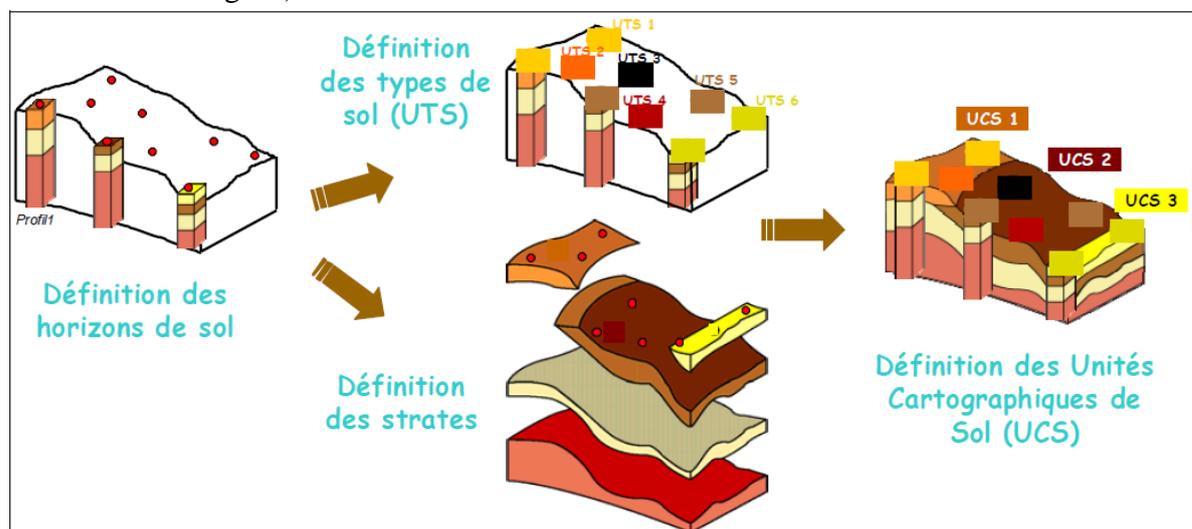


Figure 50: La structure de la base de données « DoneSol »

La base est organisée sous forme des relations entre les objets (UCS, UTS et les Strates), ex : les UCS sont définies par une ou plusieurs plages cartographiques et les UTS qui la constituent, les UTS définies par la succession de leurs strates et la liste des profils utilisés pour les caractériser, les profils définis par leur localisation et la succession de leur horizon.

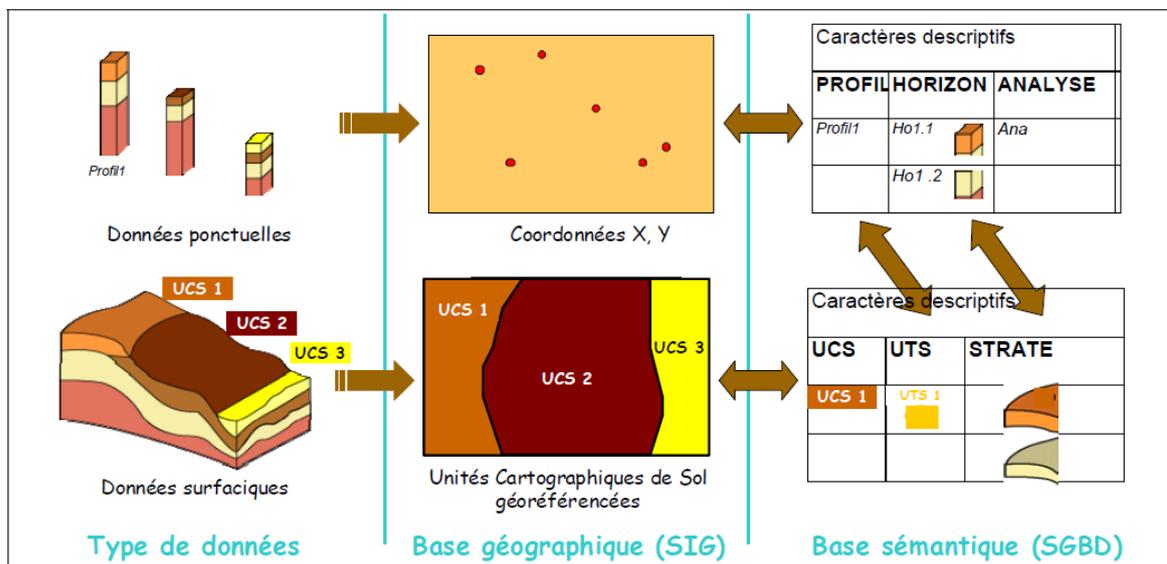


Figure 51 : Schéma des différents objets et des informations géographiques et sémantiques sur ces objets

La base de données est un modèle, sous forme numérique, de notre compréhension et de notre connaissance du paysage pédologique.

Les unités cartographiques du sol sont illustrées sous des codes pour différencier les différents types des unités cartographiques et identifier l'UCS dans la table de DoneSol correspondante (figure 54). Chaque numéro est décrit d'une manière de traduire l'organisation de la couverture pédologique dans un paysage donnée. Il décrit les caractéristiques géomorphologiques, lithologiques et le couvert végétal privilégiés (tableau 6)

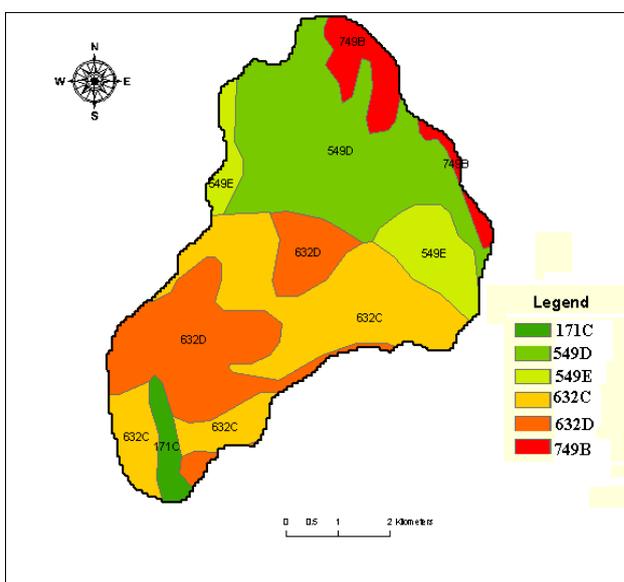


Figure 52: Carte de localisation des unités cartographiques du sol

Numéro UCS	Description des Unités cartographiques du sol
171C	Montagne noire et Cévennes. Vallées fortement recreusées, des petits ruisseaux drainant les formations schisteuses gneissiques audoises et cévenoles. Lits mineurs parfois démesurés. Prairie et Cultures annuelles.
549D	Pentes fortes sur granite. Lande genêts et fougères. Lithosol, ranker et sol brun.
549E	Pentes moyennes de la région de Valleraugue (Hérault) sur granite. Forêt de résineux et châtaigneraie. Sol brun irrégulièrement profond et ranker.
632C	Pentes moyennes sur schistes cévenols et micaschistes. Châtaigneraie, reboisement de pins sylvestres.
632D	Pentes fortes et abruptes sur schistes cévenols gardois. Exposition Sud-ouest dominante. Chênes verts, bruyères, quelques châtaigniers. Affleurements rocheux et lithosols.
749B	Versants en pentes moyennes sur granite du Mt-Lozère, de l'Aigoual et de l'Espinouse. Sol brun ocreux dominant sous résineux, ranker humifère, ranker peu humifère sous landes.

Tableau 6 : Traduction de l'organisation de la couverture pédologique dans un USC donnée

L'UCS numéro 171C défini géométriquement par 1 polygone d'une surface de 0.96 km² contient une seule UTS dans l'UCS, avec un pourcentage d'occupation de 100% de l'UTS, l'UCS 549D est d'une couverture pédologique identique de 30%, les UCS 549E de 2 polygones géométriquement composés de 3 UTS, les 3 polygones de 632C sont occupés de 3 UTS avec une couverture de 20%, le 632D est de 80% de UTS avec un nombre de 2 UTS, et pour le 749B avec un nombre de 5 UTS le pourcentage de la couverture pédologique est de 31% .

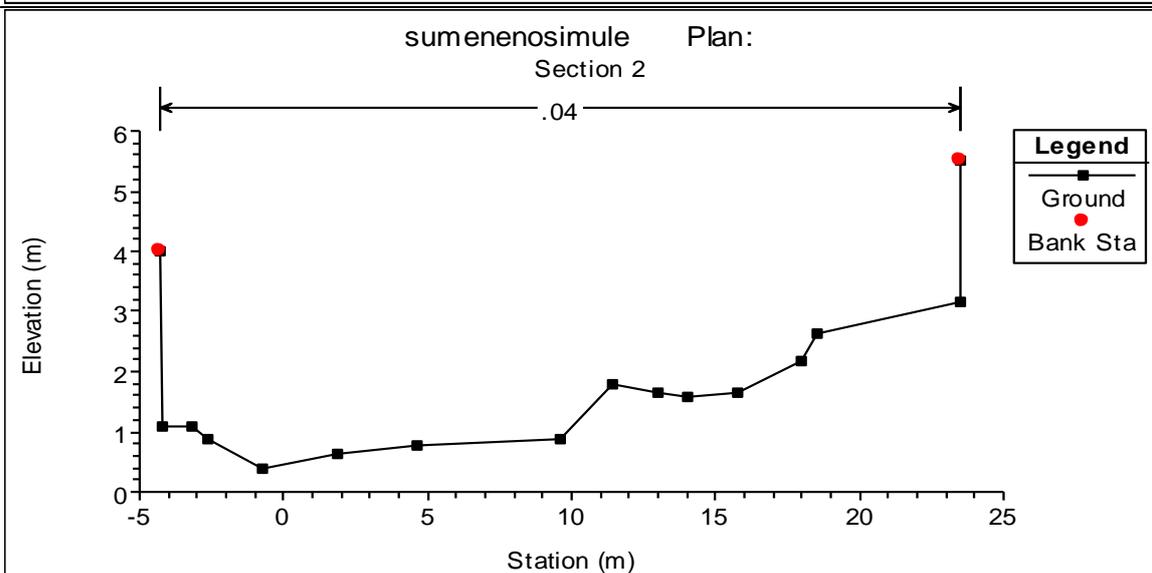
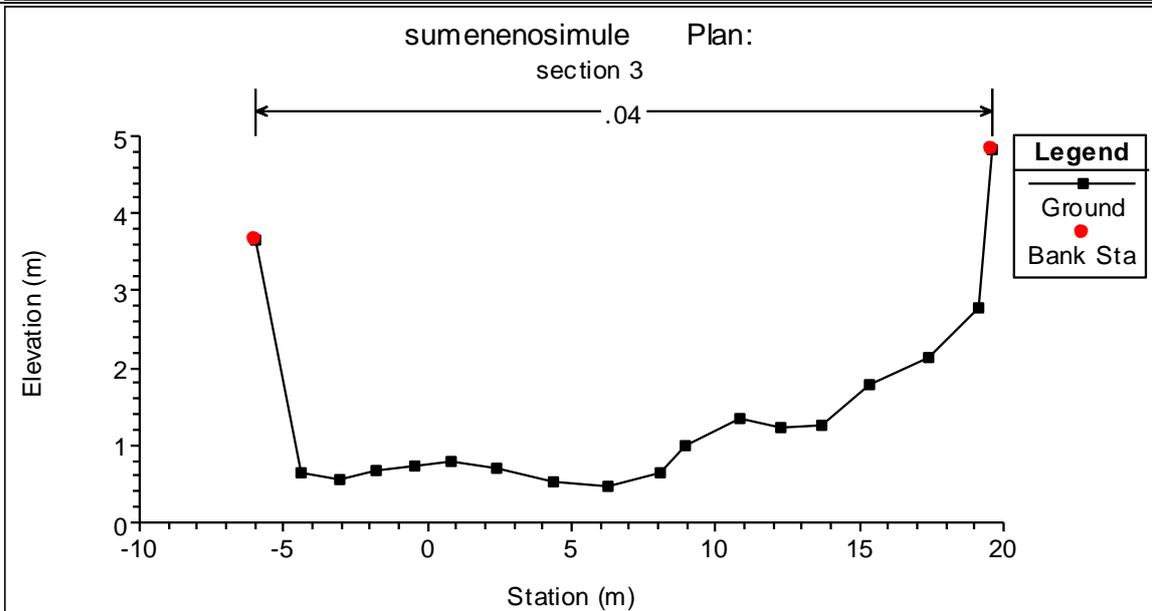
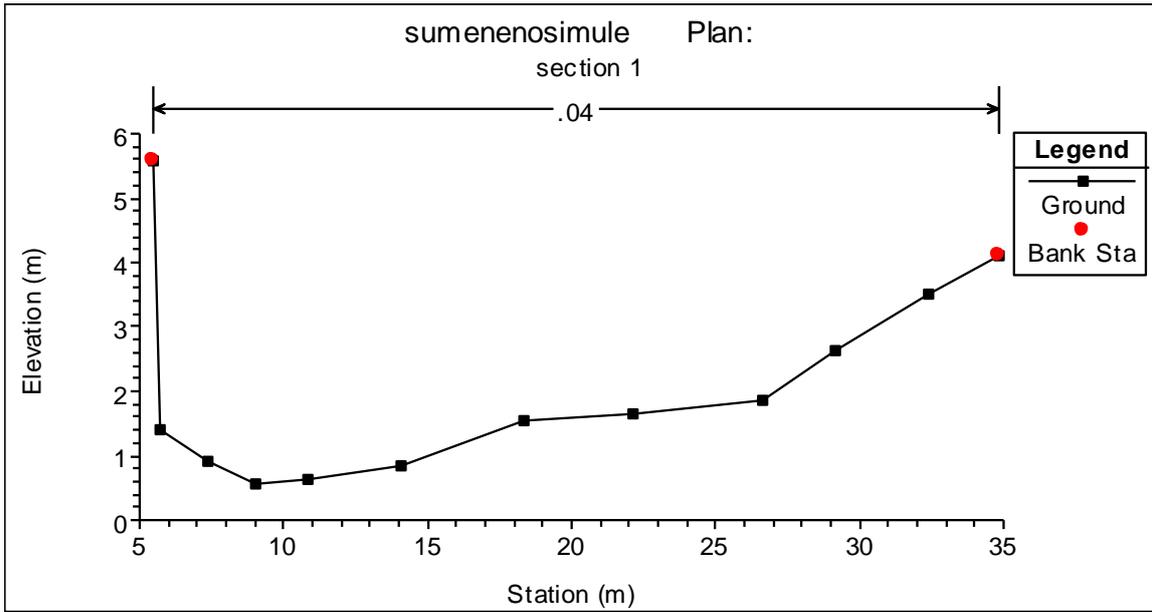
Numéro UCS	Surface en Km ²	Nombre d'UTS	% d'occupation des UTS
171C	0.96	1	100
549D	10.87	3	30
549E	0.87	3	2
549E	2.43	3	2
632C	1.25	3	20
632C	1.46	3	20
632C	7.80	3	20
632D	6.73	2	80
632D	1.77	2	80
749B	2.26	5	31

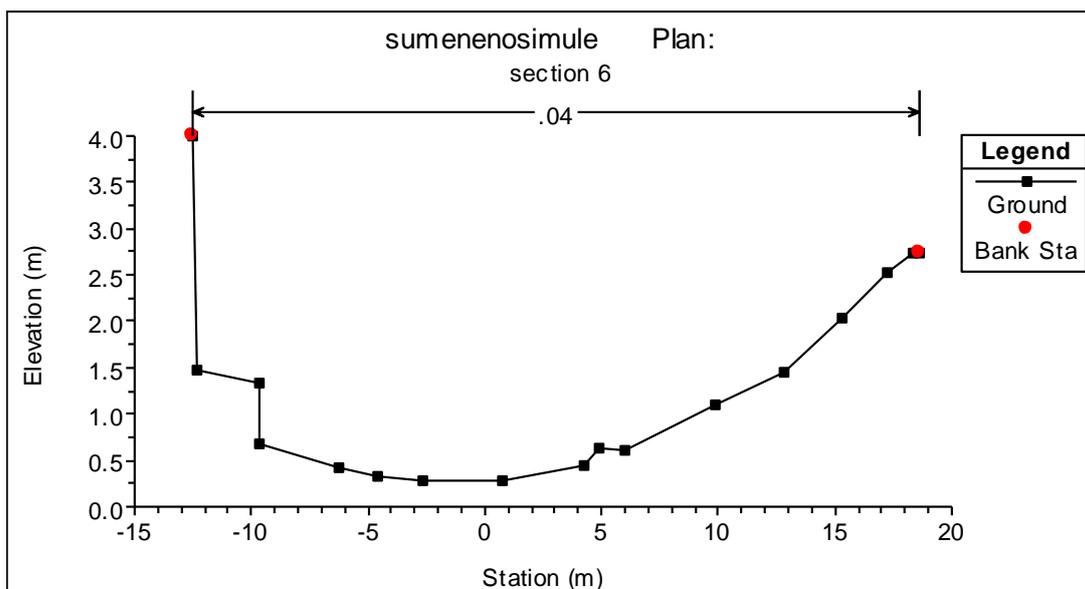
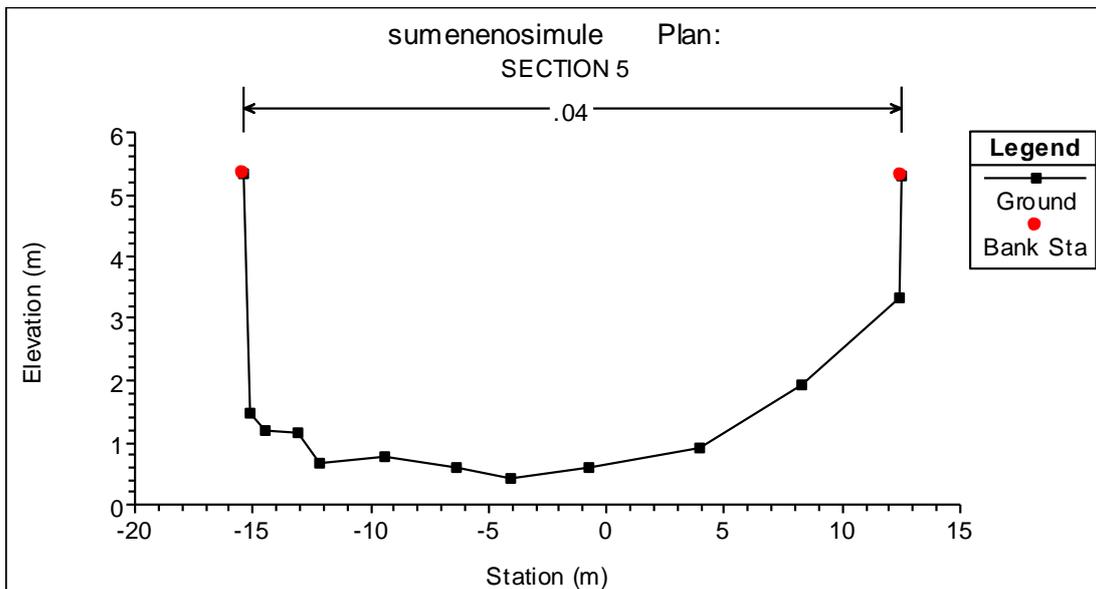
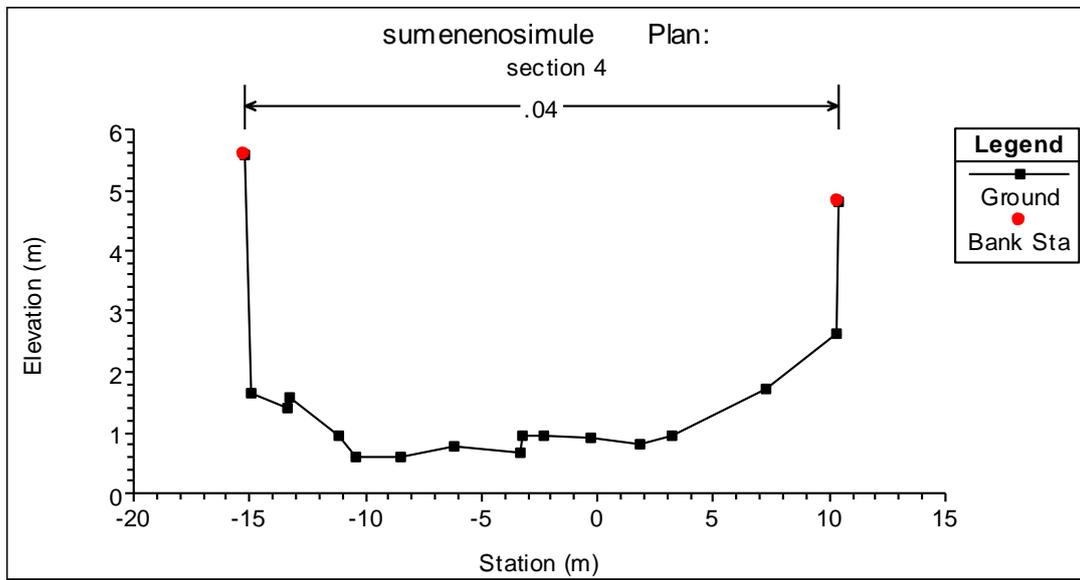
Tableau 7: Surface occupée de chaque polygone de Num UCS avec le nombre et le pourcentage d'occupation des UTS dans un UCS

Le pourcentage représentatif de chaque UTS indique le degré de l'homogénéisation et la complexité des sols, on parle d'une unité homogène pour un seul type du sol UTS=100%UCS et unité complexe pour 2types ou plus dans une seul UCS du sol et le % de surface de chaque UTS dans l'UCS.

Annexe 3: Exemple de section en travers

Les sections en travers de secteur étudié de l'événement topographique de 2008





Annexe 4: Coefficient de Manning

Tableau montrant les valeurs de coefficient de Manning pour chaque état de cours d'eau (source: HEC-RAS)

Designation & type du chenal	Minimum	Normal	Maximum
A. Cours d'eau naturels			
1. Chenal principal			
a. Propre, rectiligne, non sec, exempt de ruptures et de mares profondes	0.025	0.030	0.033
b. Idem que précédemment, mais avec quelques mares et enherbé	0.030	0.035	0.040
c. Propre, avec des méandres, quelques bans et mares	0.033	0.040	0.045
d. Idem que précédemment, mais contenant de la végétation et des pierres	0.035	0.045	0.050
e. Idem que précédemment, mais avec des palliers et une topographie monotone	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Ecoulements ralentis, cours d'eau enherbé et mares profondes	0.050	0.070	0.080
h. Cours d'eau abondamment enherbé, avec des mares profondes. Cours d'eau avec des peuplements denses de bois et de broussailles	0.070	0.100	0.150
2. Plaines inondables			
a. Pâturage sans broussailles			
1. Avec couvert végétal court	0.025	0.030	0.035
2. Avec couvert végétal épais	0.030	0.035	0.050
b. Terrains cultivés			
1. Terrain sans cultures	0.020	0.030	0.040
2. Terrain avec cultures en rangées en stade de maturité	0.025	0.035	0.045
3. Terrain avec cultures champêtres en stade de maturité	0.030	0.040	0.050
c. Broussailles			
1. Broussailles éparses, densément couvert de mauvaises herbes	0.035	0.050	0.070
2. Faible couverture en broussailles et en arbres, en hiver	0.035	0.050	0.060
3. Faible couverture en broussailles et en arbres, en été	0.040	0.060	0.080
4. Couverture moyenne à dense en broussaille, en hiver	0.045	0.070	0.110
5. Couverture moyenne à dense en broussaille, en été	0.070	0.100	0.160
d. Arbres			
1. Terre défrichée avec des souches d'arbres, sans pousses	0.030	0.040	0.050
2. Idem que précédemment, mais avec de fortes pousses	0.050	0.060	0.080
3. Peuplement de bois dense, peu de sous-bois, écoulements en dessous des branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Saules denses	0.110	0.150	0.200

3. Cours d'eaux montagneux, sans végétation dans leurs lits, berges escarpées, avec des arbres et de la broussaille submergées.			
a. Fond: graviers, agglos et peu de galets	0.030	0.040	0.050
b. Fond: pavés d'agglos et beaucoup de galets	0.040	0.050	0.070
B. Canaux artificiels ou revêtus			
1. Béton			
a. Parois finies à la truelle après le décoffrage	0.011	0.013	0.015
b. Parois brutes après le décoffrage	0.013	0.015	0.016
c. Fini, fond contenant du gravier	0.015	0.017	0.020
d. Parois non finies	0.014	0.017	0.020
e. Parois finies au mortier pulvérisé, sans ondulations	0.016	0.019	0.023
f. Parois finies au mortier pulvérisé, avec ondulations	0.018	0.022	0.025
g. Excavé uniformément dans la roche	0.017	0.020	
h. Excavé de manière irrégulière dans la roche	0.022	0.027	
2. Fond en béton brut, les parois latérales en:			
a. Pierres agencées dans le mortier	0.015	0.017	0.020
b. Pierres non agencées dans le mortier	0.017	0.020	0.024
c. Maçonnerie plâtrée	0.016	0.020	0.024
d. Maçonnerie	0.020	0.025	0.030
e. Enrochements	0.020	0.030	0.035
3. Fond en graviers, les parois latérales en:			
a. Béton	0.017	0.020	0.025
b. Pierres non agencées dans le mortier	0.020	0.023	0.026
c. Enrochements	0.023	0.033	0.036
4. Briques			
a. Vitrées	0.011	0.013	0.015
b. En mortier	0.012	0.015	0.018
5. Métal			
a. Parois lisses en acier	0.011	0.012	0.014
b. Tôle ondulée	0.021	0.025	0.030
6. Asphalte			
a. Lisse	0.013	0.013	
b. Rugueux	0.016	0.016	
7. Revêtement végétal	0.030		0.500
C. Chenaux excavés ou dragués			
1. Canal en terre, rectiligne et uniforme			
a. Propre, nouvellement aménagé	0.016	0.018	0.020
b. Propre, sous l'effet de l'érosion	0.018	0.022	0.025
c. Graviers, section uniforme, propre	0.022	0.025	0.030
d. Légèrement enherbé	0.022	0.027	0.033
2. Canal en terre, méandreux, écoulement ralenti			
a. Sans végétation	0.023	0.025	0.030
b. Enherbé	0.025	0.030	0.033
c. Mauvaise herbe dense ou végétation aquatiques dans les cours d'eau profonds	0.030	0.035	0.040

d. Fond en terre, parois latérales en décombres	0.028	0.030	0.035
e. Fond rocailleux, berges enherbées	0.025	0.035	0.040
f. Fond stable, formé de pavés d'agglos, parois propres	0.030	0.040	0.050
3. Canal excavé ou dragué			
a. Sans végétation	0.025	0.028	0.033
b. Légère broussailles sur les breges	0.035	0.050	0.060
4. Canaux taillés dans la roche			
a. Parois lisses et uniformes	0.025	0.035	0.040
b. Parois ébréchées et irrégulières	0.035	0.040	0.050
5. Chenaux non entretenus, envahis de mauvaises herbes ou de broussailles			
a. Fond propres, parois broussaillées	0.040	0.050	0.080
b. Idem que précédemment, contenant des palliers	0.045	0.070	0.110
c. Densément enhérbé à hauteur du tirant d'eau	0.050	0.080	0.120
d. Broussailles denses	0.080	0.100	0.140

Annexe 5: Tableau des jaugeages

Liste des jaugeages réalisés par HSM à la station de Sumène

station	date	hauteur	débit	mode opératoire	commentaires
Rieutord pont de Sumène	26/05/2008 15:30	0.15	2.86	ADCP	1 jaugeage avec la canne électromagnétique Nautilus Hydreka
	26/05/2008 16:00		2.81		
	6/11/08 11:15	0.3	8.5	ADCP	1 jaugeage avec la canne électromagnétique Nautilus Hydreka
	02/02/2009 14:30 15:30	0.84	32	ADCP streampro	tentative de passage de l'ADCP streampro MGT, tenu par une perche depuis le pont vitesse de l'eau trop rapide 3m/s, le bateau est instable, le capteur souvent hors de l'eau
	16-03-2011 15:06:14 -> 15:16:46	0.75	17.155	Système mobile de mesure Qliner-	la largeur = 18.00m La vitesse moyenne mesuré = 1.582m/s , profondeur moyenne = 0.602
	16/03/2011 15:23:12 -> 15:32:56	0.75	17.256	Système mobile de mesure - Qliner-	la largeur = 18.00m La vitesse moyenne mesuré = 1.643m/s, profondeur moyenne = 0.584m

Annexe 6 : tableaux des Curve Nombre (CN)

TABLE 3.4c. Runoff Curve Numbers for Other Agricultural Lands¹ (Soil Conservation Service 1986).

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group—			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ²	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
	Poor	48	67	77	83
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ³	Fair	35	56	70	77
	Good	⁴ 30	48	65	73
	Poor	57	73	82	86
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ⁵	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
	Poor	45	66	77	83
Woods. ⁶	Fair	36	60	73	79
	Good	⁴ 30	55	70	77
	—	59	74	82	86
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

¹Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

²Poor: < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

³Poor: < 50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: > 75% ground cover.

⁴Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

⁵CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

⁶Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Résumé

Les dommages dus aux inondations sont en constante augmentation malgré la réglementation de l'urbanisation. La politique traditionnelle de lutte contre les crues ne donne pas satisfaction, tant du point de vue de la sécurité que des impacts sur les milieux naturels.

Le bassin versant cévenol de Rieutord à Sumène, situé dans le Sud de la France, est soumis à des crues éclaircies particulièrement dangereuses. Face à la récurrence de ces événements catastrophiques, la compréhension et l'identification des processus hydrologiques mis en jeu lors du passage de la normale à l'extrême, constitue un axe stratégique de prévention contre les inondations.

Le présent bassin est fait l'objet de plusieurs études et recherches. Depuis 2007, il a connu un suivi par des dispositifs des mesures pluvio-hydrométrique, formant un réseau qui couvre la totalité des bassins, et même des stations des mesures de l'humidité pour une étude des écoulements subsurface.

La caractérisation de fonctionnement hydrologique du bassin est basé sur les données recueillies et la méthode de l'analyse suivie, mettent en évidence les mécanismes de formation des crues. Proposant par la suite une modélisation pluie-débit adaptée à ce contexte.

Les données pluvio hydrométrique mesuré sur terrain et simulé sous un programme de simulation, nous a permis de déterminer les différents événements et épisode de crues marquantes dans le bassin pour une préparation d'une base de données pour la modélisation.

La modélisation consiste à caler les différents paramètres d'un modèle pluie débits, pour une calibration des modèles à l'échelle locale et régionale, on est basé sur une étude d'estimation des paramètres à l'échelle régionale.

Mots clés: épisodes cévenols, crue éclaircie, étalonnages des débits, simulation hydraulique, HES RAS, modélisation hydrologique, ATHYS.