

Cette étude est cofinancée par l'Union européenne, la région Languedoc-Roussillon et le conseil général du Gard. L'Europe s'engage en Languedoc-Roussillon avec le Fonds européen de développement régional



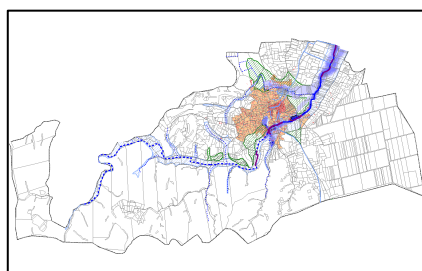
MAIRIE DE LIRAC

30126 LIRAC



Version finale

10MEN048



# Zonage du risque d'inondation à l'échelle communale de Lirac

## Rapport de Phase 2 : Etude du risque statistique

Septembre 2013

  
**SAFEGE**  
*Ingénieurs Conseils*

SIÈGE SOCIAL  
PARC DE L'ILE - 15/27 RUE DU PORT  
92022 NANTERRE CEDEX

AGENCE D'AIX EN PROVENCE - 30, avenue Malacrida - 13100 Aix en Provence

## TABLE DES MATIÈRES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>AVANT-PROPOS RAPPEL DU CADRE GENERAL DE L'ETUDE ET DES CONCLUSIONS DE LA PHASE 1.....</b> | <b>1</b>  |
| <b>1 INTERVENANTS .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2 CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE.....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Contexte.....  | 3         |
| 2.2 Méthodologie de l'étude.....   | 4         |
| 2.2.1 Rappel des objectifs de la phase 1 .....   | 4         |
| 2.2.2 Objectifs de la phase 2.....   | 5         |
| <br>   |           |
| <b>PHASE 2 ETUDE DU RISQUE STATISTIQUE.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1 CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS .....</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1 Rappel du contexte hydrographique.....   | 8         |
| 1.2 Hypothèses de base liées à la géologie du secteur d'étude .....                          | 12        |
| 1.3 Estimation des temps caractéristiques.....   | 13        |
| 1.3.1 Temps de concentration.....  | 13        |
| 1.3.2 Temps de réponse .....   | 15        |
| 1.4 Coefficients de ruissellements.....  | 15        |
| 1.4.1 Occurrence égale à 100 ans .....   | 15        |
| 1.4.2 Occurrence égale à 30 ans .....  | 17        |
| 1.4.3 Occurrence égale à 10 ans .....  | 17        |
| 1.4.4 Récapitulatif.....   | 18        |
| <br>   |           |
| <b>2 ANALYSE DES PLUIES HISTORIQUES.....</b>   | <b>19</b> |
| 2.1 Généralités.....   | 19        |
| 2.2 Description hydrologique de l'événement de 2002.....                                     | 20        |
| 2.3 Description hydrologique de l'événement de 2008.....                                     | 23        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3 ANALYSE DES PLUIES STATISTIQUES.....</b>                                | <b>25</b> |
| 3.1 Données disponibles.....   | 25        |
| 3.2 Construction des pluies de projet statistiques.....                      | 26        |
| 3.2.1 Pluviométrie statistique .....   | 26        |
| 3.2.2 Construction des pluies de projet .....                                | 27        |
| <b>4 ESTIMATION DES DEBITS DE CRUES .....</b>                                | <b>29</b> |
| 4.1 Méthodologie.....  | 29        |
| 4.1.1 Estimation des débits de crues au moyen d'un modèle pluie-débit.....   | 29        |
| 4.1.2 Calcul du débit centennal selon la méthode BG.....                     | 29        |
| 4.1.3 Calcul du débit centennal selon la méthode SPC Grand Delta.....        | 30        |
| 4.2 Crue historique des 8 et 9 septembre 2002.....                           | 32        |
| 4.3 Estimation des débits de crues statistique .....                         | 34        |
| 4.3.1 Débits décennaux et trentennaux.....                                   | 34        |
| 4.3.2 Débits centennaux.....   | 37        |
| 4.4 Comparaison avec les résultats d'études antérieures .....                | 39        |
| <b>5 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE .....</b>                            | <b>42</b> |
| 5.1 Description de l'outil.....  | 42        |
| 5.1.1 Architecture du modèle hydraulique .....                               | 42        |
| 5.1.2 Modèle hydraulique 1D (MIKE 11) .....                                  | 43        |
| 5.1.3 Modèle hydraulique 2D (MIKE 21) .....                                  | 44        |
| 5.2 Données topographiques .....   | 45        |
| 5.3 Conditions limites.....  | 45        |
| <b>6 ETUDE DE SENSIBILITÉ ET CALAGE DU MODÈLE.....</b>                       | <b>47</b> |
| 6.1 Sensibilité des paramètres du modèle .....                               | 47        |
| 6.1.1 Sources d'incertitudes.....  | 47        |
| 6.1.2 Objectif de l'analyse de sensibilité .....                             | 48        |
| 6.1.3 Sensibilité du débit de pointe aux paramètres hydrologiques .....      | 49        |
| 6.1.4 Sensibilité des hauteurs d'eau aux paramètres de débits et de rugosité | 51        |
| 6.2 Calage du modèle sur la crue de septembre 2002 .....                     | 54        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>7 CARTES D'ALÉAS POUR LES CRUES DE PROJETS DÉCENNALE, TRENTENNALE ET CENTENNALE .....</b> | <b>59</b> |
| 7.1 Crue de projet centennale .....  | 59        |
| 7.2 Crue de projet trentennale .....   | 61        |
| 7.3 Crue de projet décennale .....   | 63        |
| <b>8 DÉTERMINATION DE L'ALÉA INONDATION POUR LA CRUE DE RÉFÉRENCE .....</b>                  | <b>65</b> |

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

|  |    |
|--|----|
| Illustration 1 : Délimitation des bassins versant drainant la zone d'étude.....  | 9  |
| Illustration 2 : Occupation des bassins versant drainant la zone d'étude (Safege, 2011) .....  | 11 |
| Illustration 3 : Carte des intensités horaires des pluies observées les 8 et 9 septembre 2002 (SPCGD, 2011).....   | 20 |
| Illustration 4: Episodes pluvieux des 8 et 9 septembre 2002 estimés sur le bassin versant du Nizon (SPCGD, 2011).....  | 21 |
| Illustration 5 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 8 septembre 2002 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nîmes-Courbessac .....  | 22 |
| Illustration 6 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 9 septembre 2002 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nîmes-Courbessac .....  | 23 |
| Illustration 7: Episode pluvieux du 11 septembre 2008 mesuré à la station de Pujaut.. .....  | 24 |
| Illustration 8 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 11 septembre 2008 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nîmes-Courbessac ..... | 24 |
| Illustration 9: Pluies de projet statistiques - occurrences 10, 30 et 100 ans (durée du pic 30 min - durée totale 3 h) appliquées aux BV 2 à 7.....                      | 28 |
| Illustration 10 : Pluies de projet statistiques - occurrences 10, 30 et 100 ans (durée du pic 120 min - durée totale 3 h) appliquées au BV 1 .....                       | 28 |
| Illustration 11: Hydrogrammes de la crue de septembre 2002 .....   | 32 |
| Illustration 12: Hydrogrammes de la crue de projet décennale .....   | 35 |
| Illustration 13: Hydrogrammes de la crue de projet trentennale .....   | 35 |
| Illustration 14: Hydrogrammes de la crue de projet centennale .....  | 38 |
| Illustration 15: Présentation du code de calcul .....  | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Illustration 16: Présentation du modèle et de son maillage .....   | 44 |
| Illustration 17 : Données topographiques .....   | 45 |
| Illustration 18 : Données topographiques .....   | 46 |
| Illustration 19 : Taux de variation du débit de pointe en fonction de la variation du coefficient de ruissellement ..... | 49 |
| Illustration 20 : Taux de variation du débit de pointe en fonction de la variation du temps de réponse .....             | 50 |
| Illustration 21 : Taux de variation des lignes d'eau en fonction de la variation du débit .....                          | 52 |
| Illustration 22 : Taux de variation des lignes d'eau en fonction de la variation du débit .....                          | 53 |
| Illustration 23 : Crue de septembre 2002 – secteur du lotissement de Valdenaffret .                                      | 56 |
| Illustration 24 : Crue de septembre 2002 – secteur du chemin de la Condamine.....  | 57 |
| Illustration 25 : Crue de septembre 2002 – secteur du Chantegrillet.....   | 58 |
| Illustration 26 : Crue de projet centennale – secteur du lotissement de Valdenaffret                                     | 59 |
| Illustration 27 : Crue de projet centennale – secteur du Chantegrillet.....  | 60 |
| Illustration 28 : Crue de projet trentennale – secteur du Valdenaffret.....  | 61 |
| Illustration 29 : Crue de projet trentennale – secteur du Chantegrillet.....   | 62 |
| Illustration 30 : Crue de projet décennale – secteur du Valdenaffret .....   | 63 |
| Illustration 31 : Crue de projet décennale – secteur du Chantegrillet.....   | 64 |

## AVANT-PROPOS

# RAPPEL DU CADRE GENERAL DE L'ETUDE ET DES CONCLUSIONS DE LA PHASE 1

---





**1****INTERVENANTS**

Le commanditaire de l'étude est la **COMMUNE DE LIRAC**

Mairie de Lirac

Place du Cèdre

30 126 Lirac

Tél. : 04.66.50.01.54 • Fax : 04.66.50.35.45

**MAIRIE DE LIRAC**

30126 LIRAC



Un appui technique est apporté à la commune par le **SYNDICAT MIXTE POUR L'AMÉNAGEMENT DES BASSINS VERSANTS DU GARD RHODANIEN (SMABVGR)**

Mairie de Saint Laurent des Arbres

6, rue Saint

30126 Saint Laurent des Arbres

Tél. : 04.66.50.69.23 • Fax : 04.66.50.47.73



L'auteur d'étude est le bureau **SAFEGE AIX-EN-PROVENCE**

30, avenue Malacrida

13100 Aix-en-Provence

Tél. : 04.42.93.65.20 • Fax : 04.42.93.65.15





## 2

# CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

## 2.1 Contexte

La commune de Lirac est en cours de transformation de son Plan d'Occupation des Sols (POS) en Plan Local d'Urbanisme (PLU).

C'est dans ce cadre que **la commune de Lirac est dans l'obligation d'intégrer dans son PLU la prise en compte des risques d'inondation**, qu'il s'agisse des débordements de cours d'eau ou du ruissellement pluvial.

La commune de Lirac est en effet régulièrement concernée par les problématiques d'inondation. Pour remédier à cette situation, plusieurs études ont été menées sur le territoire communal, dont un Schéma d'Aménagement Hydraulique (SDAH) réalisé en 2008 sur l'ensemble des bassins versants du Gard rhodanien.

Afin de poursuivre les réflexions du SDAH et de répondre à cet objectif d'approche intégrée et de solidarité financière à l'échelle du bassin versant, le Syndicat a lancé la réalisation d'un Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI). Ce programme s'appuie sur les conclusions du SDAH et décline un ensemble d'actions concrètes à mettre en œuvre.

**Le zonage d'inondation de la commune de Lirac s'intègre dans ce programme d'actions.**

## 2.2 Méthodologie de l'étude

Le zonage du risque d'inondation est réalisé par croisement des cartes d'aléas inondation et d'enjeux.

Il a pour objectif la définition de zones d'aménagements auxquelles sont associées des prescriptions urbanistiques destinées à être intégrées dans le Plan Local d'Urbanisme.

La prestation est découpée en quatre phases dont l'enchaînement chronologique est le suivant :

- ✓ Phase I : **Etude du risque historique**,
- ✓ Phase II : **Etude du risque statistique**,
- ✓ Phase III : **Etude de mesures de réduction du risque** (réduction de l'aléa et / ou de la vulnérabilité),
- ✓ Phase IV : **Elaboration du zonage**.

**Le présent rapport correspond à la réalisation de la phase 2 de l'étude.**

### 2.2.1 Rappel des objectifs de la phase 1

La première phase de l'étude a fait l'objet d'un rapport dont la version définitive a été remise en juin 2011. Les objectifs généraux de cette première phase étaient les suivants :

- ✓ La **caractérisation du contexte hydrographique et urbanistique** et de son évolution depuis trente ans,
- ✓ La **caractérisation des évènements survenus** et de leur perception par la population,
- ✓ La **caractérisation de l'aléa au sens « historique et hydrogéomorphologique »** et sa représentation cartographique,
- ✓ **L'identification des principaux enjeux et facteurs de vulnérabilité** situés en zones inondables.

## 2.2.2 Objectifs de la phase 2

La définition de l'aléa inondation par approche hydrogéomorphologique reste essentiellement qualitative. Certaines limites d'aléas restent par ailleurs relativement imprécises eu égard aux zones d'enjeux qu'elles englobent.

**Compte tenu des enjeux observés en centre ville, il a été jugé pertinent de préciser l'aléa inondation par ruissellement et débordement sur les tronçons du Nizon et de son affluent, le Chantegrillet, traversant les secteurs urbanisés.**

**Ceci passe par la réalisation d'une modélisation hydraulique** permettant de quantifier l'aléa vis-à-vis de la définition de la crue de référence et de son emprise ainsi que de la détermination des paramètres de hauteur de submersion.

L'aléa inondation sera défini pour des pluies d'occurrence centennale ainsi que pour la crue historique de 2002. A titre d'information, l'aléa sera également défini pour des événements d'occurrence décennale et trentennale.



## PHASE 2

# ETUDE DU RISQUE STATISTIQUE

---





**1****CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS****1.1 Rappel du contexte hydrographique**

Une description détaillée du contexte hydrographique dans lequel s'insère la commune de Lirac a été réalisée en partie 1 de l'étude de zonage.

*Voir Partie 1 - chapitre 4 : Systèmes hydrologiques*

Pour rappel, sept bassins versants ont été associés aux principaux tronçons du Nizon et de ses affluents s'écoulant sur le territoire communal.

- ✓ Le BV 1 reprend la partie amont du Nizon jusqu'au lotissement de Valdenaffret aménagé en bordure de la RD26 ;
- ✓ Le BV 2, représente la zone drainée par la Combe de Vayorce ;
- ✓ Le BV 3 représente la zone drainée au droit du village depuis les hauteurs du lieu-dit « Le champ Frigouloux » jusqu'à la RD26 sur le tronçon de voirie compris entre le lavoir et la mairie ;
- ✓ Les BV 4 et 5 drainent les eaux du Nizon depuis le lavoir jusqu'à sa confluence avec le Chantegrillet. Pour rappel, c'est officiellement au niveau du lavoir que débute le cours du Nizon. C'est en effet à cet endroit qu'il prend son caractère pérenne alimenté par des résurgences ;
- ✓ Le BV 6 représente la zone drainée par le ruisseau dit du Chantegrillet. Ce cours d'eau non pérenne dans sa partie amont prend sa source à Ségries ;
- ✓ Le BV 7 reprend le secteur drainé par le Nizon depuis sa confluence avec le ruisseau de Chantegrillet jusqu'aux limites communales.

Pour les besoins de l'étude, les BV 4, 6 et 7 ont été scindés en sous-bassins afin d'affiner les calculs de débits aux différents points d'entrée du modèle hydraulique.

Ces différents sous-bassins sont présentés sur la figure suivante.

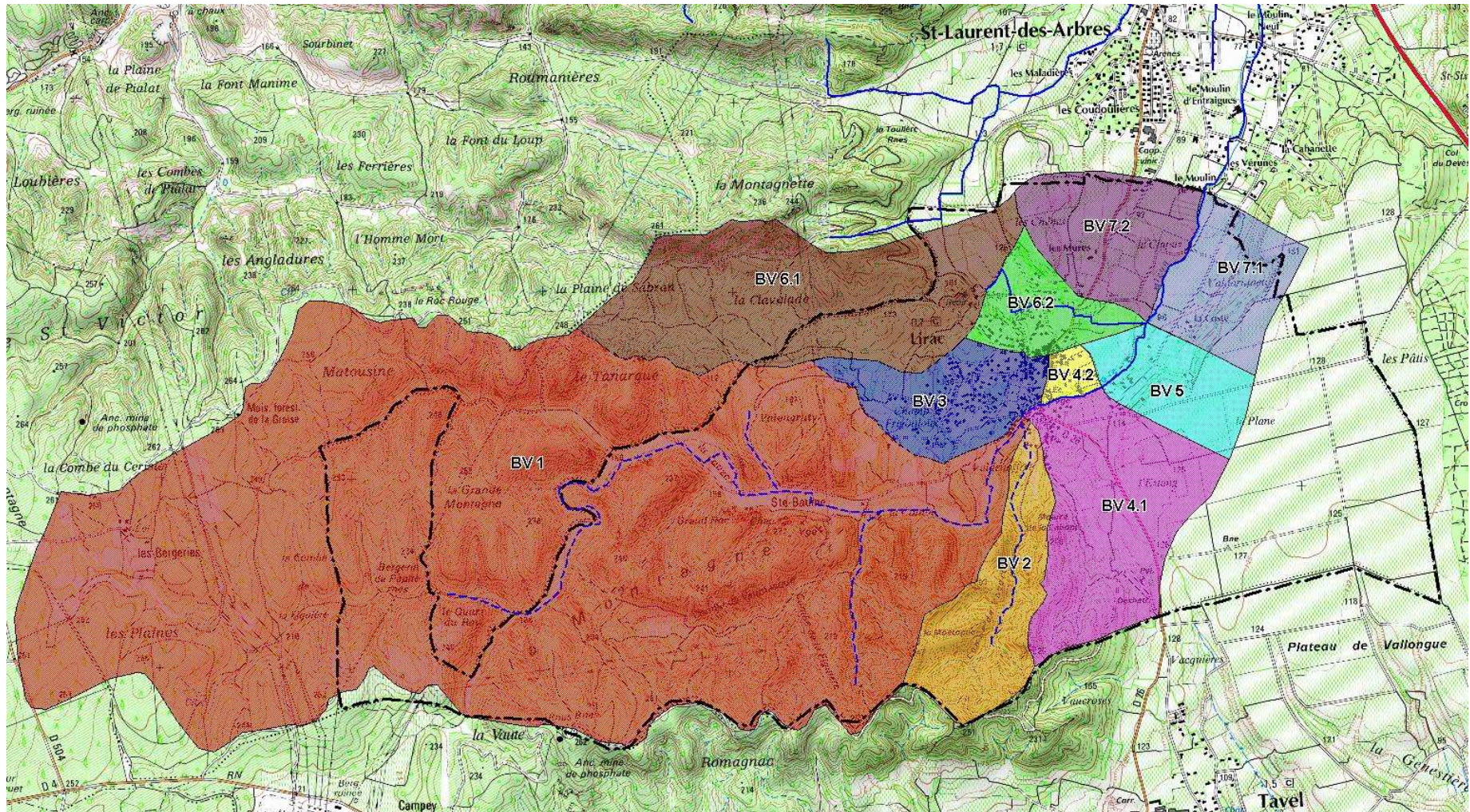


Illustration 1 : Délimitation des bassins versant drainant la zone d'étude

Il s'agit de sous bassins versants faiblement urbanisés de tailles variables. Le tableau suivant présente les caractéristiques de ces différents sous bassins.

| Sous bassin | Superficie drainée (ha) | Cheminement hydraulique le plus long (m) | Pente moyenne (m/m) | Occupation du sol (ha) |               |                |
|-------------|-------------------------|--|---------------------|------------------------|---------------|----------------|
|             |                         |  |                     | Zone urbanisée         | Zone agricole | Zone naturelle |
| Sous BV 1   | 850                     | 7 000                                    | 0,021               | 1                      | 92            | 757            |
| Sous BV 2   | 60                      | 1 900                                    | 0,072               | 2                      | 3             | 55             |
| Sous BV 3   | 45                      | 1 370                                    | 0,051               | 26                     | 13            | 6              |
| Sous BV 4.1 | 90                      | 1 700                                    | 0,065               | 6                      | 54            | 30             |
| Sous BV 4.2 | 5                       | 300                                      | 0,035               | 5                      | /             | /              |
| Sous BV 5   | 35                      | 1 200                                    | 0,025               | 4                      | 30            | 1              |
| Sous BV 6.1 | 135                     | 2 400                                    | 0,055               | 2                      | 17            | 116            |
| Sous BV 6.2 | 30                      | 1 000                                    | 0,030               | 15                     | 15            | /              |
| Sous BV 7.1 | 45                      | 1 300                                    | 0,035               | 2                      | 32            | 11             |
| Sous BV 7.2 | 50                      | 1 500                                    | 0,030               | 2                      | 48            | /              |
| TOTAL       | 1 345                   | 8 600                                    | 0,020               | 65                     | 304           | 976            |

Tableau 1 : Caractéristiques des sous-bassins versants

Définition des principaux termes utilisés :

- ✓ **Superficie** : il s'agit de la portion du plan délimitée par la ligne de crête, contour du bassin versant.
- ✓ **Chemin hydraulique le plus long** : il s'agit de la longueur du plus long parcours hydraulique, reliant le point le plus éloigné du bassin versant à l'exutoire.
- ✓ **Pente moyenne d'écoulement** : la détermination de la pente moyenne intègre le temps d'écoulement le long du cheminement hydrauliquement le plus éloigné de l'exutoire.
- ✓ **Occupation du sol** : le découpage de l'occupation du sol a été réalisé en secteurs homogènes déclinés en termes de zones urbanisées, agricoles et naturelles. La définition de ces secteurs s'est faite par superposition du cadastre, de photographies aériennes et des données issues de la base de référence Corine Land Cover. La synthèse de ces éléments a été validée auprès des élus et par de nombreuses visites de terrains.

La carte d'occupation des sols des différents bassins versants drainant la zone d'étude est présentée à la figure suivante.

- Sous-bassin versant du Nizon
- Tissu urbain continu (centre ancien)
- Tissu urbain discontinu
- Zone agricole
- Zone naturelle

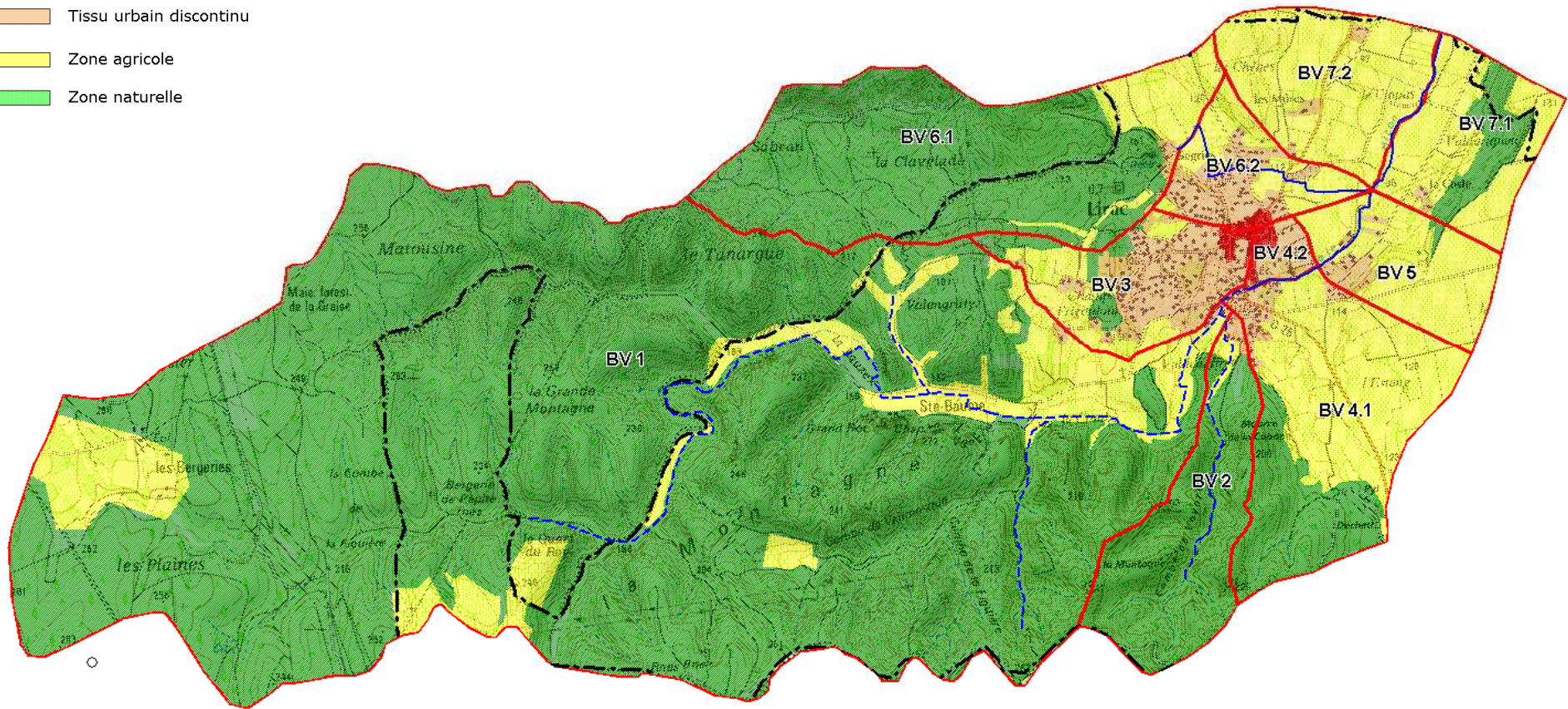


Illustration 2 : Occupation des bassins versant drainant la zone d'étude (Safege, 2011)

## 1.2 Hypothèses de base liées à la géologie du secteur d'étude

Ainsi que cela a été détaillé en première partie du rapport, le Nizon semble montrer un fonctionnement karstique sur le haut de son bassin-versant où les formations calcaires sont très présentes. Des résurgences (dit *boulidous* en provençal) s'observent déjà bien en amont de celle alimentant le lavoir de la commune (ex : le Boulidou, les Vayorces ...).

Les bassins karstiques sont caractérisés par la présence de réseaux souterrains parfois complexes. Pour ces types de formations géologiques, le bassin versant topographique ne correspond généralement pas au bassin versant hydrographique. Il devient alors difficile de prévoir la réponse du bassin en termes de débit à l'exutoire puisque la surface drainée peut être très différente de celle prévue. Les bassins karstiques sont caractérisés par leurs réserves dynamiques c'est-à-dire la capacité à stocker avant de réagir comme un bassin à ruissellement. La taille et le taux de remplissage des réserves dynamiques influent sur le temps de réponse des bassins versants. Compte tenu de la difficulté de modéliser un massif karstique (d'autant plus en l'absence de données de jaugeage), différentes hypothèses ont été posées :

- ✓ **au niveau des temps de concentration ( $T_c$ ) :** les formules utilisées pour l'estimation du  $T_c$  ne font pas intervenir de paramètre lié à la structure du sous-sol. Nous n'avons dès lors pas tenu compte d'un allongement du temps de concentration lié au passage de l'eau dans le massif karstique. En tout état de cause ce paramètre est difficilement estimable.
- ✓ **au niveau des coefficients de ruissellements ( $Cr$ ) :**
  - l'estimation du  $Cr$  10 ans se base sur le calcul de la moyenne pondérée des coefficients de ruissellement suivant les données d'occupation du sol (sans prise en compte de la géologie) ;
  - l'estimation des  $Cr$  30 ans et 100 ans utilise la « méthode des experts ». Le caractère karstique du sous-sol y est partiellement pris en compte par l'utilisation d'un paramètre de rétention initiale présentant des valeurs plus importantes (sols fortement perméables).
- ✓ **Au niveau du calage du modèle et de la définition des débits de crues de projet :** On notera que, lors de l'épisode de 2002, les inondations se sont principalement produites le 09 septembre (lors du deuxième épisode pluvieux), lorsque le réseau souterrain s'est retrouvé saturé d'eau et que les résurgences se sont mises en charge et se sont juxtaposées au ruissellement de surface. Le calage a dès lors été réalisé sur ce deuxième épisode postulant l'hypothèse d'un massif karstique saturé.

**L'estimation des débits de crue sera dès lors légèrement sécuritaire considérant un massif saturé par un événement antérieur, sans toutefois que ne soient pris en compte les débits issus des résurgences.**

## 1.3 Estimation des temps caractéristiques

### 1.3.1 Temps de concentration

Le temps de concentration correspond à la durée que met la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin versant pour parvenir à l'exutoire où l'on cherche à calculer le débit. La connaissance de ce temps de concentration est nécessaire à l'estimation des débits de pointe par les méthodes déterministes, du type méthode rationnelle et leurs déclinaisons régionales.

Les temps de concentration aux différents points de calcul ont été estimés à partir des caractéristiques des bassins versants et des méthodes présentées dans le tableau ci-dessous. **Y sont notamment reprises les méthodes recommandées par la DISE du Gard.**

| Méthode           | Formule   | Données d'entrée  | Domaine de validité   |
|-------------------|---|---|---|
| Kirpich           | $T_c = \frac{0,0195}{60} \cdot L^{0,77} P^{-0,385}$   | Tc temps de concentration en heures<br>L longueur du plus long cheminement hydraulique en m<br>P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m  | 20 km <sup>2</sup> < superficie < 100 km <sup>2</sup><br>3% < pente < 10% |
| Passini           | $T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$  | Tc temps de concentration en heures<br>A surface du bassin versant en km <sup>2</sup><br>L longueur du plus long cheminement hydraulique en km<br>P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m | superficie > 40 km <sup>2</sup>   |
| Ventura           | $T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{P}}$   | Tc temps de concentration en heures<br>A surface du bassin versant en km <sup>2</sup><br>P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m  | superficie > 10 km <sup>2</sup>   |
| Bressand Golossov | $T_c = \frac{L}{\frac{V}{3600}}$<br>Si P < 1% : V = 1 m/s<br>Si 1% < P < 10%, V = 1 + (P-1)/9 m/s<br>Si P > 10% : V = 2 m/s | Tc temps de concentration en heures<br>L longueur du plus long cheminement hydraulique en m<br>V vitesse moyenne des écoulements en m/s<br>P pente moyenne en m/m                                     | superficie < 20 km <sup>2</sup>   |

Tableau 2 : Formules d'estimation du temps de concentration

L'ensemble de ces formules est de type empirique. On notera que le domaine de validité des formules de Passini, Ventura et Kirpich s'applique principalement aux grands bassins ruraux. Seule la formule de Bressand Golossov semble adaptée aux bassins de taille plus réduite.

Par définition, ces formules souffrent toutes d'un certain degré d'approximation étant donné le nombre réduit de bassins versants sur lequel elles ont été construites. Par ailleurs, Bressand Golossov lui-même confirme que les valeurs de vitesses proposées représentent une simple appréciation à défaut de données suffisantes (définies notamment lorsque le bassin est jaugé).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant. On notera qu'en règle générale les formules de Kirpich et Bressand Golossov donnent des résultats similaires. Ces résultats sont minorés par rapport aux valeurs issues des formules de Passini et Ventura (la formule de Passini étant une adaptation de la formule de Ventura).

Compte tenu de l'approximation de l'ensemble de ces formules et à défaut de données de calage du temps de concentration, il est communément admis, ainsi que le suggère la DISE du Gard<sup>1</sup>, de prendre par hypothèse la moyenne de ces résultats.

| <i>Nom</i>  | <i>Formule Passini</i> | <i>Formule Ventura</i> | <i>Formule Kirpich</i> | <i>Formule Bressan Golossov</i> | <i>MOYENNE</i> |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|
| Sous BV 1   | 2.92 H                 | 2.57 H                 | 1.32 H                 | 1.74 H                          | <b>2.13 H</b>  |
| Sous BV 2   | 0.42 H                 | 0.37 H                 | 0.30 H                 | 0.31 H                          | <b>0.35 H</b>  |
| Sous BV 3   | 0.41 H                 | 0.38 H                 | 0.26 H                 | 0.26 H                          | <b>0.33 H</b>  |
| Sous BV 4.1 | 0.49 H                 | 0.47 H                 | 0.29 H                 | 0.29 H                          | <b>0.38 H</b>  |
| Sous BV 4.2 | 0.15 H                 | 0.16 H                 | 0.10 H                 | 0.07 H                          | <b>0.12 H</b>  |
| Sous BV 5   | 0.53 H                 | 0.49 H                 | 0.32 H                 | 0.29 H                          | <b>0.41 H</b>  |
| Sous BV 6.1 | 0.71 H                 | 0.65 H                 | 0.41 H                 | 0.46 H                          | <b>0.56 H</b>  |
| Sous BV 6.2 | 0.42 H                 | 0.40 H                 | 0.26 H                 | 0.23 H                          | <b>0.33 H</b>  |
| Sous BV 7.1 | 0.49 H                 | 0.46 H                 | 0.30 H                 | 0.28 H                          | <b>0.38 H</b>  |
| Sous BV 7.2 | 0.57 H                 | 0.52 H                 | 0.35 H                 | 0.34 H                          | <b>0.44 H</b>  |
| TOTAL       | 3.68 H                 | 3.26 H                 | 1.55 H                 | 2.14 H                          | <b>2.66 H</b>  |

**Tableau 3 : Estimation des temps de concentration par bassin versant exprimés en heure**

<sup>1</sup> Guide technique de réalisation des dossiers, DISE du Gard, octobre 2008

### 1.3.2 Temps de réponse

Le temps de réponse à la pluie d'un bassin versant représente l'intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface. En d'autres termes, le temps de réponse est la différence entre les moments où surviennent le maximum de pluie et le maximum de débit.

Selon les préconisations de Bressand Golossov dans le Gard, **ce paramètre, utilisé pour la mise en œuvre des modèles pluie-débit, a été estimé égal à la moitié des temps de concentration** calculés par les formules de Kirpich, Passini, Ventura et Bressand Golossov (présentées au point précédent).

## 1.4 Coefficients de ruissellements

Les coefficients de ruissellement sont estimés selon les hypothèses d'occurrence suivantes :

- ✓ pour des occurrences de pluies = 100 ans : utilisation de la méthode des experts ;
- ✓ pour des occurrences de pluies = 30 ans : utilisation de la méthode des experts adaptée ;
- ✓ pour des occurrences de pluies = 10 ans : moyenne pondérée des coefficients de ruissellements évalués sur base de l'occupation du sol.

### 1.4.1 Occurrence égale à 100 ans

Le calcul du coefficient de ruissellement pour une occurrence de 100 ans se fait en appliquant **la formulation dite « des Experts »**.

La méthode dite des « experts » est une adaptation de la méthode rationnelle au contexte gardois<sup>2</sup>. Elle évalue l'aptitude au ruissellement des bassins versants en fonction de la capacité de rétention initiale des sols **P<sub>0</sub>**, elle-même conditionnée par la nature du substrat et l'occupation des sols.

---

<sup>2</sup> Cette méthode a été produite pour le compte de la SNCF par J. Astier, M. Desbordes, P. Lefort et A. Limandat (Methodologie et principes de calcul pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement des petits bassins versants, décembre 1993)



L'expression utilisée pour l'estimation du coefficient de ruissellement est la suivante :

$$C = 0,8 (1 - P_0/PJ_{100})$$

Avec : **PJ<sub>100</sub>** : pluie journalière centennale, soit 296 mm à Nîmes Courbessac (1947-2009) ;

**P<sub>0</sub>** : capacité de rétention initiale du sol (mm).

### Estimation de la capacité de rétention initiale P<sub>0</sub>

Le croisement des paramètres d'occupation du sol et de nature du substrat permet de déterminer la capacité de rétention initiale P<sub>0</sub> de chaque sous bassin versant. P<sub>0</sub> est tabulé et varie entre 0 et 90 selon la nomenclature suivante :

| Couverture végétale | Morphologie  | Pente % | Terrain fortement perméable | Terrain perméable | Terrain peu perméable |
|---------------------|--------------|---------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Bois                | presque plat | 0-5     | 90                          | 65                | 50                    |
|                     | ondulé       | 5-10    | 75                          | 55                | 35                    |
|                     | montagneux   | 10-30   | 60                          | 45                | 25                    |
| Pâturage            | presque plat | 0-5     | 85                          | 60                | 50                    |
|                     | ondulé       | 5-10    | 80                          | 50                | 30                    |
|                     | montagneux   | 10-30   | 70                          | 40                | 25                    |
| Culture             | presque plat | 0-5     | 65                          | 35                | 25                    |
|                     | ondulé       | 5-10    | 50                          | 25                | 10                    |
|                     | montagneux   | 10-30   | 35                          | 10                | 0                     |

Tableau 4 : Valeurs de la rétention initiale P<sub>0</sub> en fonction de l'occupation et de la nature du sol

La carte d'occupation du sol a été présentée en début de rapport. La caractérisation du sol, nécessaire à l'application de la méthode des experts, est déterminée par l'analyse de la nature du substrat. Celle-ci influe en effet sur la perméabilité et la capacité de rétention initiale des sols. Ce paramètre a été appréhendé par l'analyse de la carte géologique élaborée par le BRGM.

## 1.4.2 Occurrence égale à 30 ans

Le calcul du coefficient de ruissellement pour une occurrence de 30 ans se fait en appliquant une **adaptation de la formulation dite « des Experts »**. L'expression utilisée pour l'estimation du coefficient de ruissellement est la suivante :

$$C = 0,6 (1 - P_0/PJ_{30})$$

Avec : **PJ<sub>30</sub>** : pluie journalière trentennale, soit 208,8 mm à Nîmes Courbessac ;

**P<sub>0</sub>** : capacité de rétention initiale du sol (mm) définie au chapitre précédent.

## 1.4.3 Occurrence égale à 10 ans

Le calcul du coefficient de ruissellement d'occurrence décennale se fait en appliquant la **moyenne pondérée des coefficients de ruissellement selon l'occupation du sol**.

La méthode utilisée pour la définition des grandes classes d'occupation des sols a été présentée dans un point précédent. On distingue les classes suivantes :

- ✓ Secteurs urbains denses : zones d'habitat dense (imperméabilisation moyenne) et zones commerciales, parkings et centre ville (imperméabilisation forte) ;
- ✓ Secteurs périurbains : zones d'habitats diffus (faible imperméabilisation) ;
- ✓ Secteurs cultivés, classés par grands types de cultures et les secteurs naturels représentés par les zones de forêts et de garrigues.

Nous nous référerons aux coefficients préconisés par la DISE du Gard et issus de l'étude RFF de 2007. Les coefficients de ruissellement associés à chaque classe d'occupation du sol sont repris dans le tableau suivant :

| Occupation du sol                   | Coef de ruissellement |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Zones urbaines                      | 0,8                   |
| Zones industrielles et commerciales | 0,7                   |
| Espaces verts artificiels           | 0,12                  |
| Vignobles                           | 0,3                   |
| Vergers                             | 0,15                  |
| Prairies - friches                  | 0,11                  |
| Terres arables                      | 0,15                  |
| Garrigues                           | 0,11                  |
| Forêts                              | 0,1                   |

Tableau 5 : Nomenclature d'occupation du sol et coefficients de ruissellement associés (source : Etude RFF, contournement ferroviaire de Nîmes et Montpellier, 2007)

## 1.4.4 Récapitulatif

Les valeurs et coefficients retenus au terme de l'étude sont repris dans le tableau suivant. On rappellera par ailleurs les hypothèses envisagées pour la détermination des coefficients de ruissellement :

- ✓ Temps de retour égal à 10 ans : moyenne pondérée des coefficients de ruissellement suivant les données d'occupation du sol
- ✓ Temps de retour égal à 30 ans : utilisation de la « méthode des experts » adaptée
- ✓ Temps de retour égal à 100 ans : utilisation de la « méthode des experts »

| Nom         | Superficie (ha) | Pente moyenne (m/m) | Rétention initiale P <sub>0</sub> (mm) | Coefficients retenus |                   |         |
|-------------|-----------------|---------------------|--|----------------------|-------------------|---------|
|             |                 |                     |  | 10 ans               | 30 ans            | 100 ans |
| Sous BV 1   | 850             | 0,021               | 69                                     | 12 %                 | 40 %              | 61 %    |
| Sous BV 2   | 60              | 0,072               | 69                                     | 12 %                 | 40 %              | 61 %    |
| Sous BV 3   | 45              | 0,051               | 45                                     | 45 %                 | 47 %              | 68 %    |
| Sous BV 4.1 | 90              | 0,065               | 60                                     | 25 %                 | 43 %              | 64 %    |
| Sous BV 4.2 | 5               | 0,035               | 31                                     | 63 %                 | 63 % <sup>3</sup> | 72 %    |
| Sous BV 5   | 35              | 0,025               | 55                                     | 33 %                 | 44 %              | 65 %    |
| Sous BV 6.1 | 135             | 0,055               | 68                                     | 13 %                 | 40 %              | 62 %    |
| Sous BV 6.2 | 30              | 0,030               | 46                                     | 45 %                 | 47 %              | 68 %    |
| Sous BV 7.1 | 45              | 0,035               | 60                                     | 26 %                 | 43 %              | 64 %    |
| Sous BV 7.2 | 50              | 0,030               | 57                                     | 31 %                 | 44 %              | 65 %    |

**Tableau 6 : Coefficients de ruissellement retenus**

<sup>3</sup> Le Cr 30 ans calculé pour le BV4.2 est inférieur au Cr 10 (51%). Ceci peut s'expliquer par la différence des méthodes de calculs utilisées, la petite taille du BV et son caractère fortement urbanisé. Par défaut, nous utiliserons un Cr 30 ans équivalent au Cr 10 ans calculé, à savoir 63 %.



## 2

# ANALYSE DES PLUIES HISTORIQUES

## 2.1 Généralités

Deux arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle relatifs au risque inondation ont été recensés sur la commune<sup>4</sup>. Ils concernent les évènements du 08 septembre 2002 au 10 septembre 2002 ainsi que celui du 11 septembre 2008. On rappellera que la commune de Lirac a également été touchée par des inondations en 1924, 1986, 1988 et 2003.

La crue de septembre 2002 constitue toutefois la crue de référence. Il s'agit en effet de l'épisode le plus marquant de ces dernières années mesuré dans la région Languedoc-Roussillon. Selon l'étude de la DIREN de 2009, il a dépassé en intensité l'évènement pluvieux 1958 qui servait jusque là de référence sur le département du Gard.

Les autres évènements ont engendré des inondations sans commune mesures avec celles de 2002. Nous nous pencherons dès lors plus particulièrement sur l'évènement de 2002.

Le dernier épisode de 2008 ayant donné lieu à un arrêté de catastrophe naturelle sera étudié à titre indicatif selon la demande du comité de pilotage.

---

<sup>4</sup> Arrêté du 19 septembre 2002 et du 05 décembre 2008 portant connaissance de l'état de catastrophe naturelle

## 2.2 Description hydrologique de l'événement de 2002

L'événement des 8 et 9 septembre 2002 a touché un vaste secteur géographique du Vaucluse jusqu'à l'Hérault. La pluie a commencé le 8 vers 10-12 heures et s'est rapidement transformée en événement orageux stationnaire.

L'événement s'est divisé en deux corps d'averse :

- ✓ un premier pic très important le 8 dans la soirée,
- ✓ un second pic le 9 au matin.

L'image radar de Météo France traitée par le système Calamar permet d'estimer par interpolation la pluie en un secteur donné.

Les lames d'eau produites par CALAMAR proviennent d'une double source d'information :

- ✓ Les informations radar brutes utilisées par CALAMAR sont issues du radar hydro-météorologique de Nîmes – Manduel exploité par Météo-France,
- ✓ Les données pluviographiques utilisées pour calibrer en continu et localement l'information radar proviennent du réseau de télémessure du SPCGD.

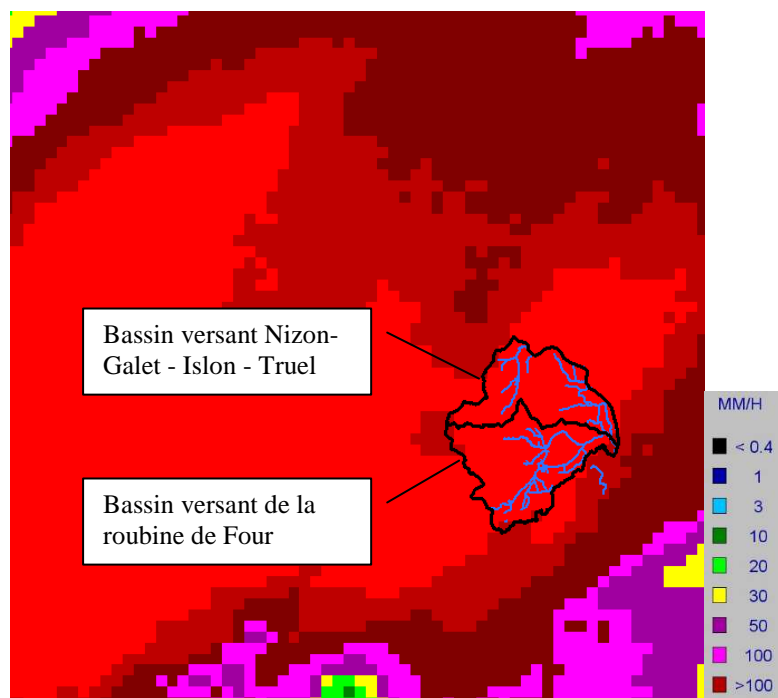


Illustration 3 : Carte des intensités horaires des pluies observées les 8 et 9 septembre 2002 (SPCGD, 2011)

La précision de l'estimation est liée à la densité du réseau de mesure. Malheureusement, plusieurs stations proches du secteur d'étude, Roquemaure et Pujaut notamment, sont tombées en panne en cours d'épisode. Sur base des observations radars et de données issues de stations plus éloignées, le SPCGD a néanmoins pu reconstituer les données pluviométriques moyennes tombées sur la zone d'étude. Les résultats ainsi obtenus sont synthétisés dans le tableau suivant.

| Situation   | Pluie max en 1 h | Pluie max en 3 h | Pluie max en 6 h | Pluie max en 12 h | Pluie max en 24 h | Pluie totale  |
|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Bassin versant de la roubine de Four                                      | 61 mm            | 175 mm           | 275 mm           | 312 mm            | 447 mm            | <b>479 mm</b> |
| Bassin versant du Nizon-Galet-Isjons-Truel (incluant la commune de Lirac) | 67 mm            | 179 mm           | 288 mm           | 326 mm            | 461 mm            | <b>485 mm</b> |

Tableau 7 : Cumuls pluviométriques estimés lors de l'épisode pluvieux du 8 au 9 septembre 2002 (source SPCGD)

Le graphique suivant reprend l'évolution des précipitations estimées tout au long de l'événement sur le bassin du Nizon.

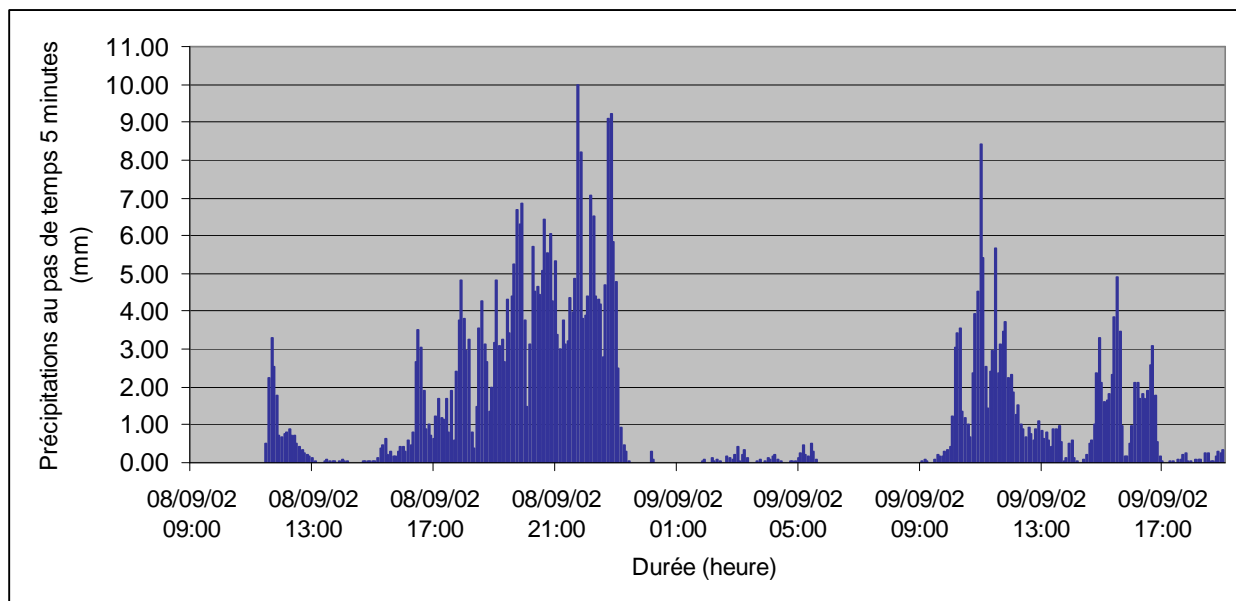


Illustration 4: Episodes pluvieux des 8 et 9 septembre 2002 estimés sur le bassin versant du Nizon (SPCGD, 2011)

En cumul maximal et ramené aux statistiques antérieures (Nîmes Courbessac 1964-2009), cet événement serait qualifié de plus que centennal à partir de 6 heures et pour la totalité de l'évènement.

Le tableau suivant présente les cumuls maximaux calculés respectivement pour les événements des 08 et 09 septembre.

| Durée (h)  |          | 0.5  | 1    | 2     | 3     | 6     | 12    | 24    |
|------------|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cumul (mm) | 08/09/02 | 43.9 | 73.3 | 128.3 | 185.8 | 290.9 | 331.1 | 331.1 |
|            | 09/09/02 | 28.8 | 49.9 | 74.3  | 85.3  | 127.8 | 148.7 | 154.4 |

Tableau 8 : Cumuls pluviométriques maximaux mesurés les 8 et 9 septembre 2002 (source SPCGD)

Les cumuls mesurés le 08 septembre sont bien plus importants que ceux observés le lendemain. Ces valeurs peuvent être mises en relation avec les cumuls statistiques calculés à la station de Nîmes-Courbessac et présentés plus avant dans le rapport.

Voir point 3.2.1 : Pluviométrie statistique

Si l'on considère uniquement l'événement du 08 septembre, il peut être qualifié de presque vicennal sur une heure, de plus que cinquantennal sur 3 heures et de plus que centennal à partir de 6 heures et pour la totalité de l'évènement.

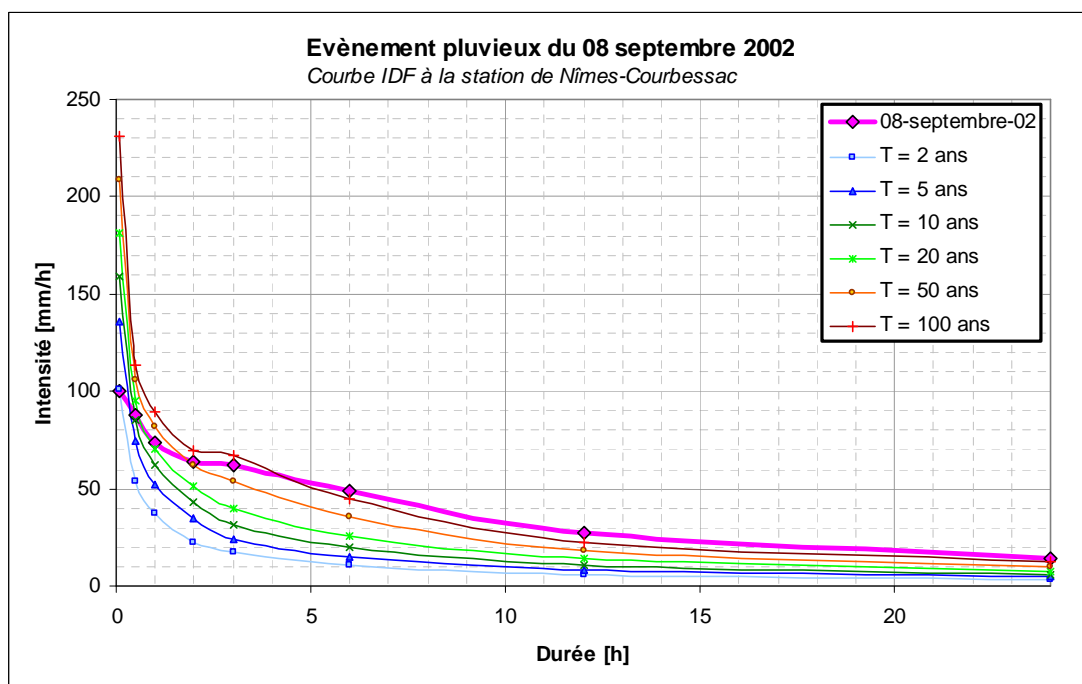


Illustration 5 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 8 septembre 2002 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nîmes-Courbessac



L'événement du 09 septembre dépasse l'occurrence quinquennale sur 2 et 3 heures, décennale à partir de 6 heures et sur sa totalité mais sans jamais toutefois atteindre l'occurrence vicennale.

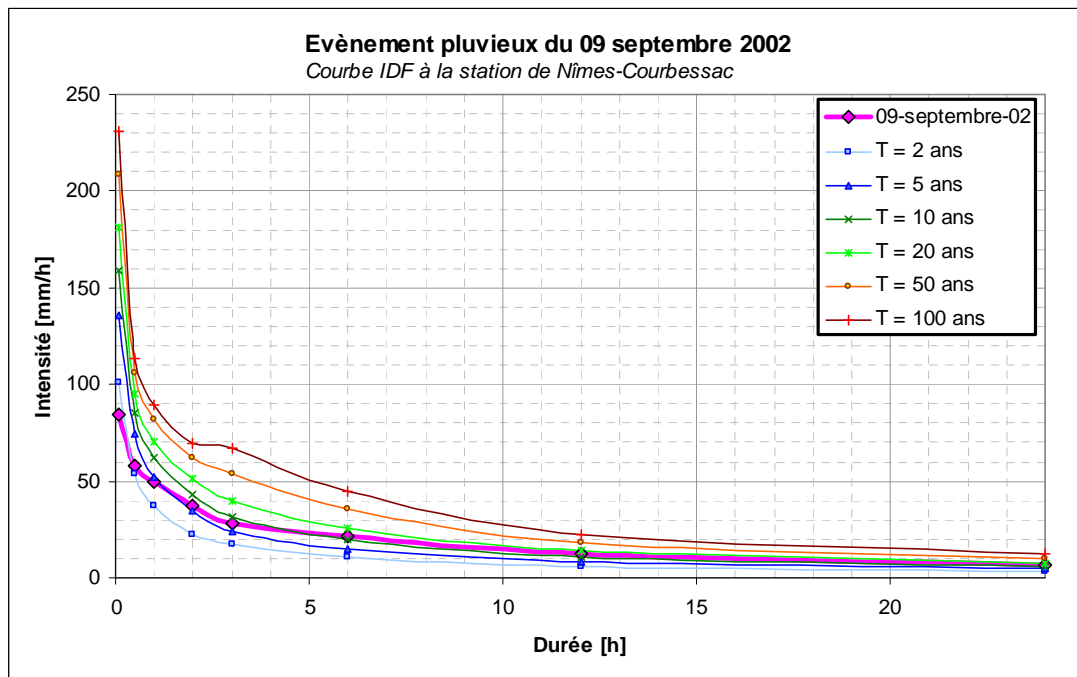


Illustration 6 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 9 septembre 2002 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nîmes-Courbessac

## 2.3 Description hydrologique de l'événement de 2008

L'épisode du 11 septembre 2008 s'est produit de manière très brutale sur une courte période de 2 h. Un cumul de 87 mm a ainsi été mesuré entre 16h et 18 h à la station de Pujaut.

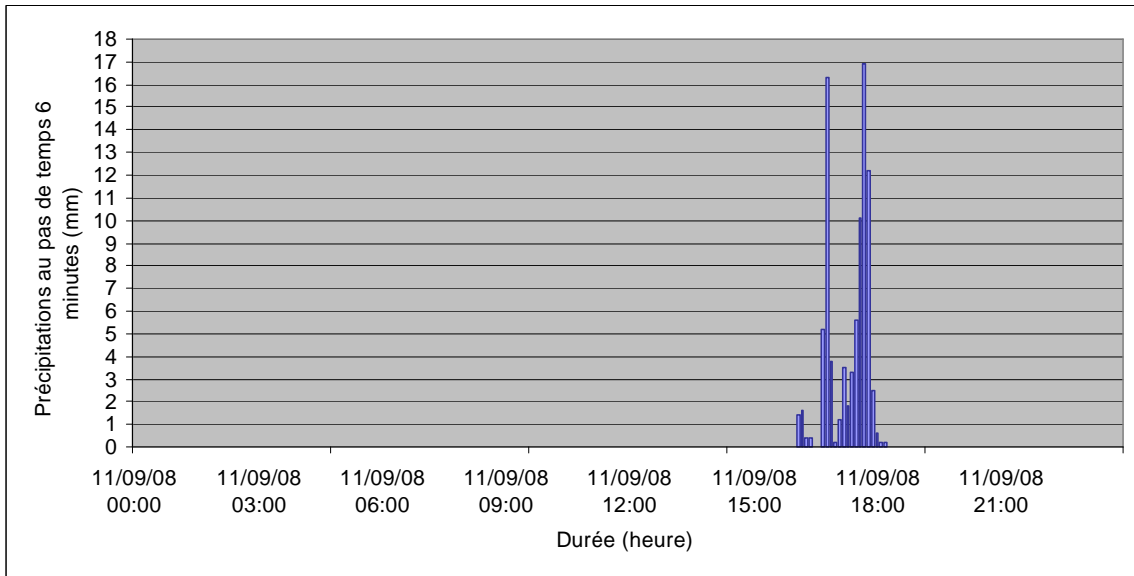
En cumul maximal et ramené aux statistiques antérieures (Nîmes Courbessac 1964-2009), cet événement serait qualifié de vicennal sur des durées de une demi-heure et une heure et de décennal pour la totalité de l'évènement.

Même s'il présente en effet des intensités légèrement plus marquées sur une courte période, il est toutefois moins marquant que l'évènement des 08 et 09 septembre 2002, que ce soit en termes de durée ou de dégâts observés.

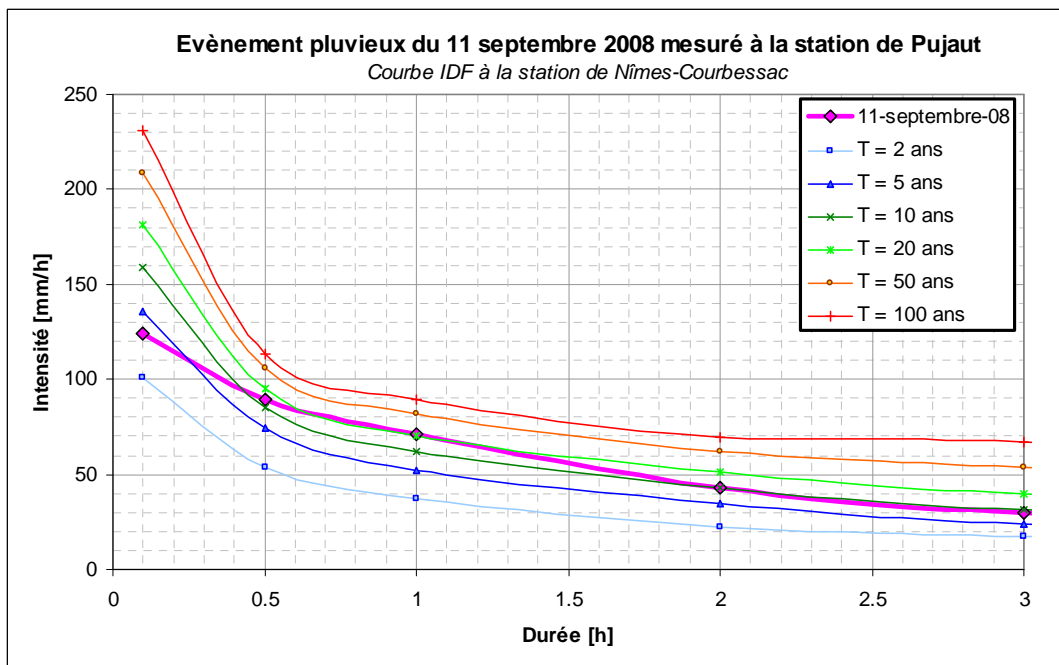
Peu de débordements ont ainsi été observés si ce n'est au quartier des Mouillères et au niveau du pont de la Condamine. Ceci peut s'expliquer entre autre par le fait que l'orage se soit trouvé localisé sur le bassin versant des Vayorces, du Chantegrillet et sur le bas du village. La partie amont du bassin versant du Nizon n'a dès lors pas contribué au débit de crue.

|                   |            |          |          |
|-------------------|------------|----------|----------|
| <b>Durée (h)</b>  | <b>0.5</b> | <b>1</b> | <b>2</b> |
| <b>Cumul (mm)</b> | 50.6       | 74.9     | 87.2     |

**Tableau 9 : Cumuls pluviométriques maximaux mesurés le 11 septembre 2008 à la station de Pujaut**



**Illustration 7: Episode pluvieux du 11 septembre 2008 mesuré à la station de Pujaut**



**Illustration 8 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 11 septembre 2008 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nîmes-Courbessac**

# 3

## ANALYSE DES PLUIES STATISTIQUES

L'un des moyens de représenter la pluviométrie locale est la pluie de projet. *La pluie de projet est un événement fictif. Elle représente l'ensemble des informations pluviométriques disponibles et est censée produire à l'exutoire du bassin le même effet que la pluie réelle à laquelle il est possible d'associer une période de retour* (Hemain, 1986).

Les données hydrologiques ont pour but la définition des débits de pointe de chaque bassin et sous-bassin versant pour différentes pluies de projet.

**Dans le cadre du zonage, l'aléa doit être précisé dans les zones à enjeux pour une crue de référence (centennale ou historique). Nous étudierons dès lors la pluie de temps de retour 100 ans que nous comparerons avec la pluie historique de 2002.**

A titre d'information, les pluies d'occurrence 10 ans et 30 ans seront également estimées.

### 3.1 Données disponibles

La station de Pujaut est la seule station située dans notre zone d'étude permettant d'effectuer un traitement statistique des données pluviométriques. Son assise en termes de chronologie d'observation est toutefois trop réduite (15 ans) pour permettre une estimation statistique correcte des pluies de périodes de retour rares (30 et 100 ans). C'est pourquoi nous avons préféré utiliser les **données issues de la station de Nîmes**, station la plus proche de notre secteur d'étude disposant de l'assise la plus large en termes de chronologie d'observation (60 ans).

Le cahier des charges impose l'utilisation de la **méthode SHYREG**. Celle-ci permet d'obtenir des chroniques de pluies statistiques horaires pour toute maille de 1 km<sup>2</sup>, sur les régions Languedoc Roussillon et PACA. Il convient toutefois de noter que ces données ne sont disponibles qu'aux pas de temps horaires alors que la plupart des sous-bassins versants de notre zone d'étude présentent des temps de concentrations infra-horaires.

Etant donné que les valeurs SHYREG ne sont pas utilisables dans le cadre de cette étude et dans un souci de cohérence avec les préconisations de la DISE du Gard en la matière, nous avons décidé de retenir pour la suite de l'analyse hydrologique les estimations statistiques obtenues par la méthode GEV sur Nîmes.

## 3.2 Construction des pluies de projet statistiques

### 3.2.1 Pluviométrie statistique

Le tableau suivant reprend les cumuls statistiques Météo France (courbes IDF) estimés à la station de Nîmes, sur la période 1947-2009, pour différentes occurrences de retour et durées de pluies.

| Estimation<br>renouvellement<br>Nîmes | Cumuls pluviométriques (mm) |      |      |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 0.25                        | 0.5  | 1    | 2     | 3     | 6     | 12    | 24    | 48    |
| 5 ans                                 | 23.3                        | 37.2 | 52.1 | 70.2  | 72.5  | 89.1  | 103.1 | 116.9 | 134.0 |
| 10 ans                                | 26.5                        | 42.8 | 61.8 | 86.9  | 94.3  | 117.5 | 132.1 | 148.4 | 164.0 |
| 20 ans                                | 29.3                        | 47.6 | 70.7 | 102.8 | 120.1 | 152.3 | 165.9 | 184.7 | 196.0 |
| 30 ans                                | 30.8                        | 50.1 | 75.7 | 115   | 137.4 | 176.5 | 188.5 | 208.8 | 215.9 |
| 50 ans                                | 32.6                        | 53   | 81.7 | 123.5 | 162.3 | 211.7 | 220.4 | 242.7 | 242.5 |
| 100 ans                               | 34.8                        | 56.6 | 89.6 | 138.9 | 202.1 | 270   | 271.1 | 296   | 281.7 |

Tableau 10 : Cumuls pluviométriques statistiques à la station de Nîmes-Courbessac (1947-2009)

Les coefficients de Montana ont été estimés à partir de ces données.

AJUSTEMENT MONTANA

Nîmes Courbessac

1947-2009

| T       | 0.1H < d < 1H |        | 1H < d < 3H |        | 3H < d < 48H |        |
|---------|---------------|--------|-------------|--------|--------------|--------|
|         | a             | b      | a           | b      | a            | b      |
| 5 ans   | 53.561        | 0.4077 | 53.237      | 0.6853 | 58.9         | 0.7836 |
| 10 ans  | 62.576        | 0.4017 | 62.914      | 0.6038 | 79.74        | 0.8066 |
| 20 ans  | 70.513        | 0.4002 | 71.384      | 0.5115 | 106.08       | 0.8308 |
| 30 ans  | 76.636        | 0.3513 | 76.47       | 0.4509 | 124.72       | 0.8454 |
| 50 ans  | 79.864        | 0.4012 | 81.31       | 0.3783 | 152.58       | 0.8644 |
| 100 ans | 86.19         | 0.4054 | 88.002      | 0.2712 | 199.76       | 0.8909 |

Tableau 11 : Estimation des coefficients de Montana à la station de Nîmes-Courbessac (1947-2009)

### 3.2.2 Construction des pluies de projet

L'estimation des débits de pointe par un modèle pluie-débit nécessite au préalable la construction de pluies de projet.

Celles-ci ont été construites par la méthode du double triangle préconisées par le laboratoire d'Hydrologie Mathématique de Montpellier. La construction double triangle se justifie au regard de la forme que prennent généralement les épisodes pluvieux, caractérisés par une période de pluie relativement longue d'intensité soutenue, à l'intérieur de laquelle vient s'insérer un épisode plus court, caractérisé par une intensité très forte dont la période de retour est associée à la pluie de projet.

La plupart des bassins versants de la zone d'étude présentent des temps de réaction très courts, de l'ordre de la demi-heure, à l'exception notable du sous BV1 qui présente un temps de concentration de l'ordre de 2h.

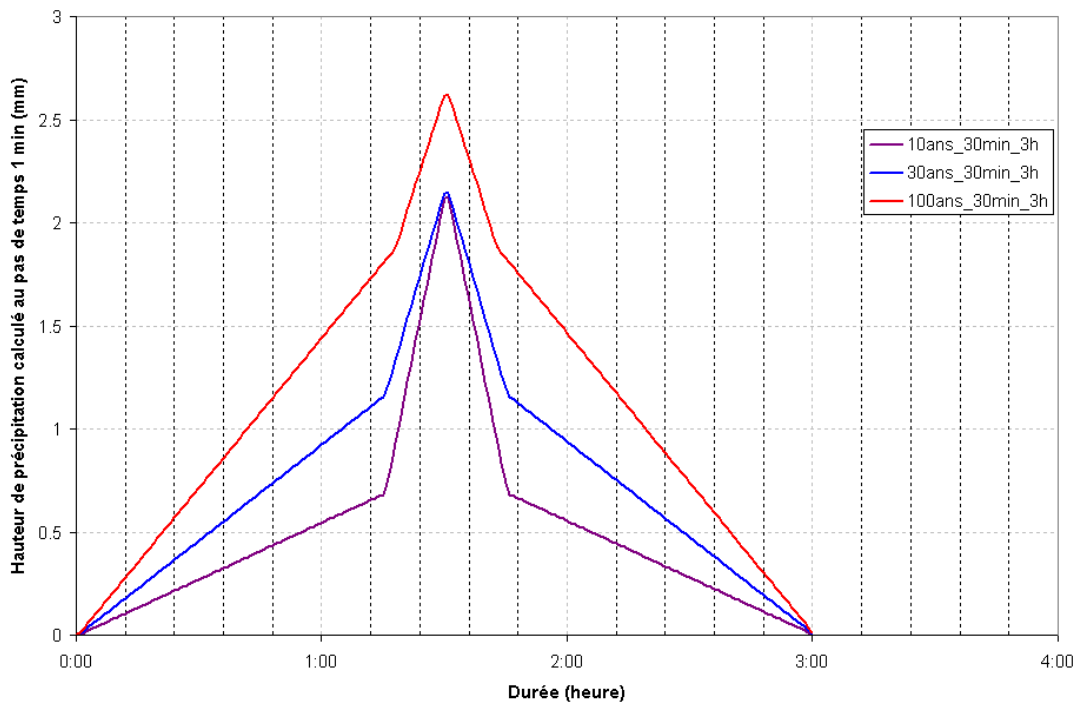
Compte tenu de la variabilité des temps de concentration observés, il a été choisi d'utiliser deux pluies de projet différentes selon les sous BV modélisés :

- ✓ **Pluie double triangle d'une durée totale de 3 h et d'intensité de 2 heures**, associée au sous bassin 1 ;
- ✓ **Pluie double triangle d'une durée totale de 3 h et d'intensité de 30 minutes**, associée aux sous bassins 2 à 7.

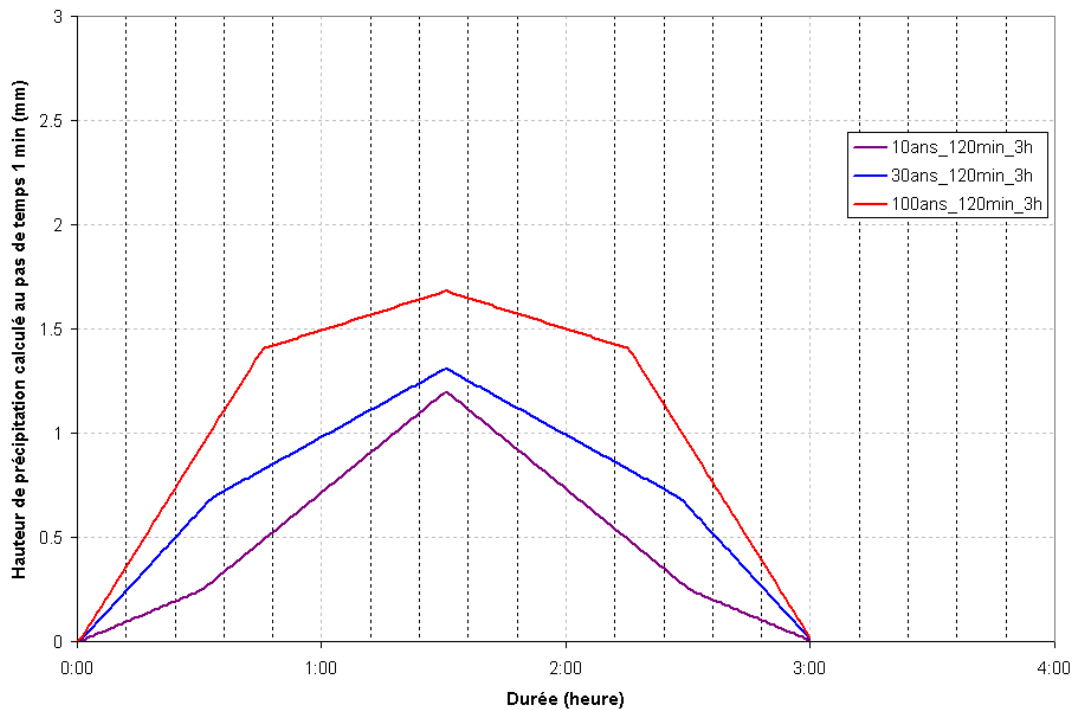
**La durée de pluie totale de 3 h** a été choisie légèrement supérieure à l'ordre de grandeur du temps de concentration global du bassin versant du Nizon considéré dans cette étude.

**La durée de pluie intense de 2h** correspond au temps de concentration du sous-BV 1 **tandis que la durée de pluie intense de 30 minutes** correspond à l'ordre de grandeur des temps de concentration des sous-BV 2 à 7.

Les cumuls sont calculés à partir des données statistiques de Nîmes-Courbessac.



**Illustration 9: Pluies de projet statistiques - occurrences 10, 30 et 100 ans (durée du pic 30 min - durée totale 3 h) appliquées aux BV 2 à 7**



**Illustration 10 : Pluies de projet statistiques - occurrences 10, 30 et 100 ans (durée du pic 120 min - durée totale 3 h) appliquées au BV 1**

## 4

## ESTIMATION DES DEBITS DE CRUES

### 4.1 Méthodologie

**La transformation des pluies de projet en débit de pointe sera réalisée pour chaque bassin versant par la méthode de transformation pluie-débit dite du réservoir linéaire.** Cette méthode permet également d'estimer les débits de pointe générés en chaque sous-bassin versant par la pluie de septembre 2002.

Selon les demandes du comité de pilotage, les maxima des débits centennaux estimés par modèle pluie-débit seront comparés aux résultats issus des méthodes de Bressand-Golossov et du Gradex élaborée par le SPC Grand Delta.

Les maxima des débits décennaux et vicennaux estimés par le modèle pluie-débit seront pour leur part comparés aux résultats issus de la méthode rationnelle.

#### 4.1.1 Estimation des débits de crues au moyen d'un modèle pluie-débit

La méthode utilisée, dite du simple et double réservoir linéaire, ainsi que le logiciel MOUSE sont présentés en annexe du présent rapport.

*Voir annexe 1 : Présentation du logiciel MOUSE et de la méthode du simple et double réservoir linéaire*

#### 4.1.2 Calcul du débit centennal selon la méthode BG

Cette méthode est à utiliser pour le calcul des débits à période de retour 100 ans ou exceptionnelle et comprend :

- ✓ l'utilisation de la méthode rationnelle directement basée sur la pluviométrie centennale ;
- ✓ l'intégration de notion de seuil de ruissellement ou de rétention initiale.

Elle fait appel à la formule suivante :

$$Q_{100} = (C \times I \times A) / 360$$

Avec : A : Superficie du bassin versant (en ha)

Q : Débit (en m<sup>3</sup>/s)

I : Intensité centennale moyenne pendant une durée égale au temps de concentration du bassin versant, exprimée en mm/h

C : Coefficient de ruissellement calculé selon la méthode des experts

Temps de concentration calculé selon la formule de Bressand Golossov présentée précédemment

### 4.1.3 Calcul du débit centennial selon la méthode SPC Grand Delta

Le Service de Prévention des Crues du Grand Delta propose une méthodologie de calcul des crues de référence pour les petits bassins versants (< 400 km<sup>2</sup>) du département du Gard. Cette méthodologie pourra être confrontée aux résultats de la méthode FBG, généralement utilisée jusqu'alors dans le département.

Le principe consiste à appliquer la **méthode du Gradex** pour réaliser l'extrapolation depuis un débit de période de retour faible (inférieur ou égale à 10 ans) vers un débit centennial.

La loi de Gumbel est souvent utilisée pour ajuster les séries de pluies maximales et les débits correspondants. Dans ce cas, le caractère exponentiel de cette distribution est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies observées. La pente de cette droite est le GRAdient de cette distribution EXponentielle, d'où le nom de la méthode GRADEX.

Chercher le « GRADEX » des pluies observées consiste donc à procéder à l'ajustement des valeurs selon une distribution de Gumbel pour en déduire une estimation du paramètre b de la droite d'ajustement.

$$P = a + bu$$

avec P : cumul des pluies sur une durée D  
 u : variable réduite de Gumbel  
 b : gradex des pluies correspondant à la durée de pluie



La méthode du GRADEX a été conçue, mise au point, testée et validée par le groupe de recherche d'EDF (Guillot and Duband, 1967). Le principe de la méthode est de considérer que la droite de distribution des débits est parallèle à partir du point pivot, correspondant ici au temps de retour 10 ans, à celle des pluies. Cette méthode s'appuie sur différentes hypothèses :

- ✓ Les débits maximums recherchés sont provoqués uniquement par des pluies maximales, uniformément réparties sur le bassin. Etant donné la petite taille des bassins étudiés, nous n'appliquerons pas de coefficient d'abattement.
- ✓ Les pluies maximales et les débits correspondants (débits maximaux) suivent une même loi de distribution statistique, dite des "extrêmes" en raison de la nature du phénomène recherché (crues rares).
- ✓ Ceci exprime surtout le fait qu'à partir d'une certaine valeur de pluie, le comportement asymptotique du débit sera identique à celui des pluies. Selon les auteurs de cette méthode, ce seuil représente le taux de saturation du bassin qui est atteint après un événement pluviométrique qui provoque un débit décennal (point pivot considéré).

De manière générale, on peut ainsi postuler la relation suivante :

$$Q_{100} = Q_{10} + b * \ln (T_{100}/T_{10})$$

La méthode préconisée par le SPC grand Delta est présentée en annexe de même que l'ensemble des paramètres ayant présidés au calcul des débits selon la méthodologie SPCGD.

*Voir annexe 2 : Méthodologie de calcul des crues de référence pour les petits bassins versants (< 400 km<sup>2</sup>)*

*Voir annexe 3 : Valeurs des paramètres ayant présidés au calcul des débits selon la méthode SPCGD*

## 4.2 Crue historique des 8 et 9 septembre 2002

Nous avons choisi de calculer le débit de pointe de la crue des 8 et 9 septembre 2002 par la méthode de transformation pluie-débit dite du réservoir linéaire, à partir des données suivantes :

- **données pluviométriques reconstituées par le SPC au pas de temps 5 minutes sur le bassin versant du Nizon ;**
- du temps de réponse estimé sur base de la moyenne des temps de concentration calculés par les formules de Kirpich, Passini, Ventura et Bressand Golossov ;
- du coefficient de ruissellement obtenu par la méthode des experts.

Les hydrogrammes de crues définis pour chacun des sous-bassins sont présentés ci-dessous pour l'événement de septembre 2002.

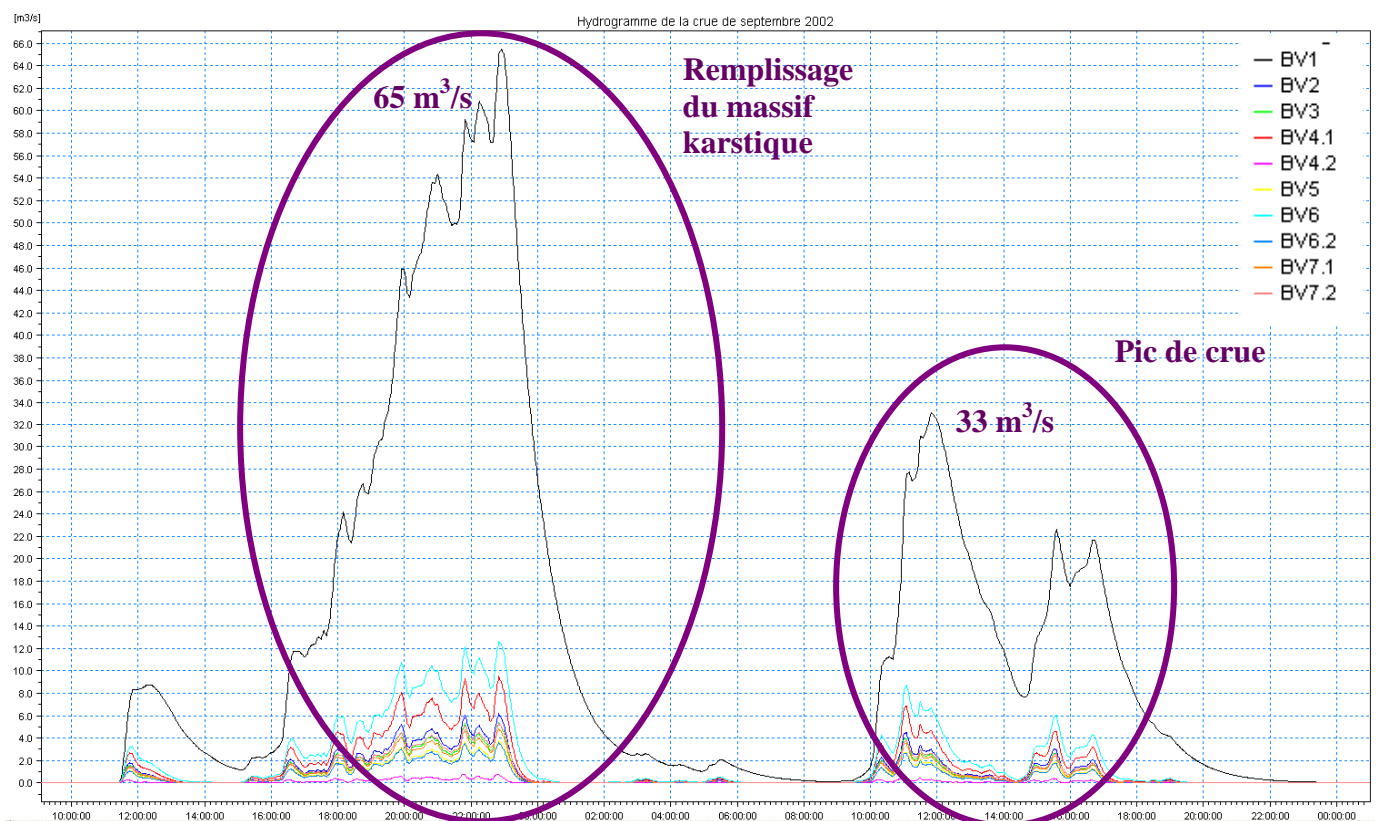


Illustration 11: Hydrogrammes de la crue de septembre 2002

Les résultats sont les suivants :

| Sous bassin  | Surface (ha) | Q max modèle du réservoir linéaire (m <sup>3</sup> /s) 08/09/2002 | Q max modèle du réservoir linéaire (m <sup>3</sup> /s) 09/09/2002 |
|--------------|--------------|---|---|
| Sous BV 1    | 850          | 65.5  | 33.2  |
| Sous BV 2    | 60           | 6.2   | 4.5   |
| Sous BV 3    | 45           | 5.4   | 3.9   |
| Sous BV 4.1  | 90           | 9.5   | 6.9   |
| Sous BV 4.2  | 5            | 0.8   | 0.7   |
| Sous BV 5    | 35           | 3.8   | 2.7   |
| Sous BV 6.1  | 135          | 12.7  | 8.8   |
| Sous BV 6.2  | 30           | 3.6   | 2.6   |
| Sous BV 7.1  | 45           | 4.8   | 3.5   |
| Sous BV 7.2  | 50           | 5.3   | 3.8   |
| <b>TOTAL</b> | <b>1 345</b> | <b>117.5</b>  | <b>70.6</b>   |

Tableau 12 : Estimation des débits de pointe de la crue de septembre 2002

Selon les témoignages recueillis, le pic de crue s'est produit lors du deuxième événement du 09 septembre 2002. On peut ainsi postuler l'hypothèse que le premier événement du 08 septembre 2002 a permis de combler le réservoir du massif karstique.

Le calage du modèle hydraulique sera dès lors réalisé sur base du deuxième pic de crue, à savoir celui du 09 septembre 2002.

*Voir chapitre 6.2 : Calage du modèle sur la crue de septembre 2002*

## 4.3 Estimation des débits de crues statistique

### 4.3.1 Débits décennaux et trentennaux

La méthode rationnelle a été utilisée en comparaison de celle dite du réservoir linéaire pour le calcul des débits de pointe de retour 10 ans et 30 ans à partir des pluies statistiques de Nîmes Courbessac. De manière générale, ces méthodes font appel aux paramètres suivants :

- ✓ un temps de concentration calculé par la moyenne des formules de Passini, Ventura, Kirpich et Bressan Golossov ;
- ✓ pour les pluies de 10 ans, un coefficient de ruissellement correspondant à la moyenne pondérée des coefficients de ruissellements selon l'occupation des sols ;
- ✓ pour les pluies de 30 ans, un coefficient de ruissellement calculé au moyen d'une adaptation de la méthode des experts.

La méthode du double réservoir linéaire utilise une pluie de projet double-triangle d'une **durée totale de 3 h et d'intensité égale à 30 minutes ou 2h** selon les bassins versants.

La méthode rationnelle utilise **une pluie d'intensité constante égale au temps de concentration** des bassins versants.

Les hydrogrammes de crues définis pour chacun des sous-bassins sont présentés en page suivantes pour chacune des occurrences envisagées.

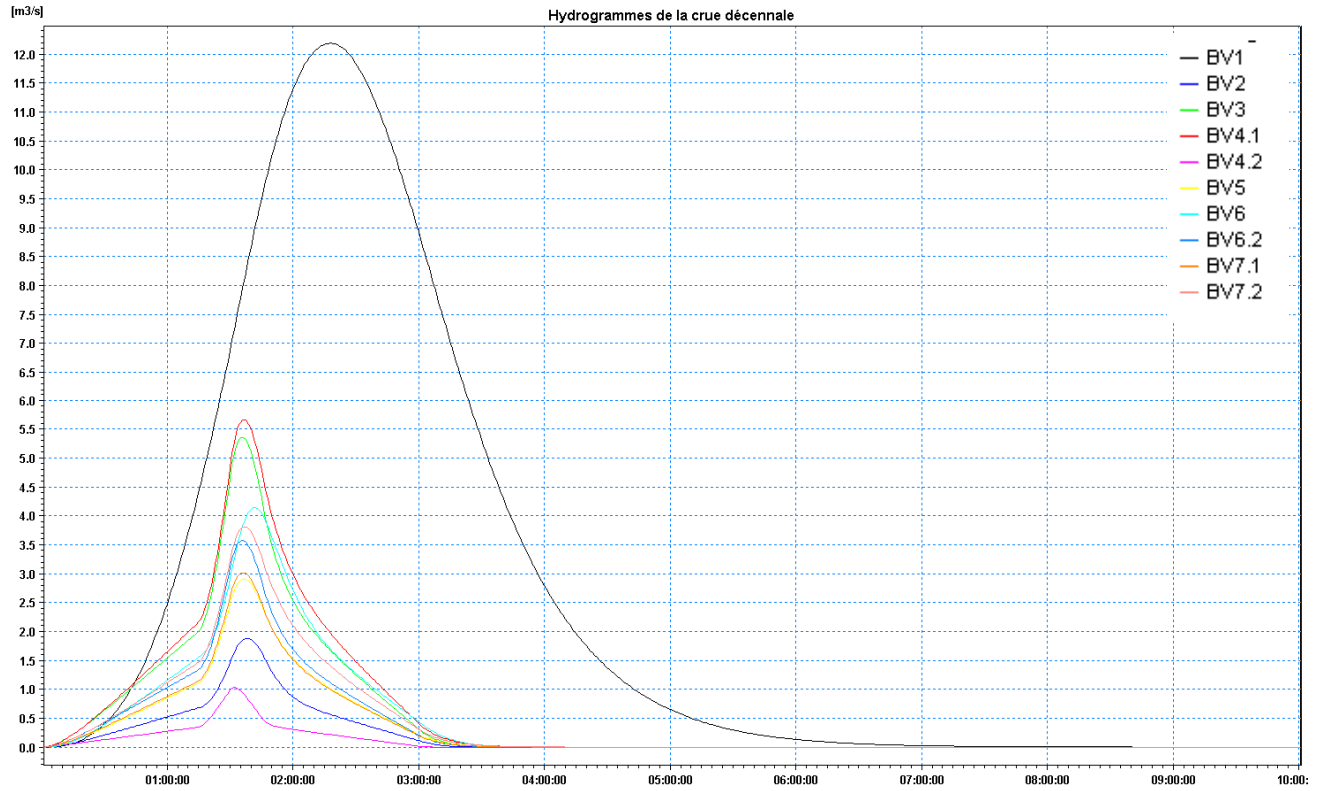


Illustration 12: Hydrogrammes de la crue de projet décennale

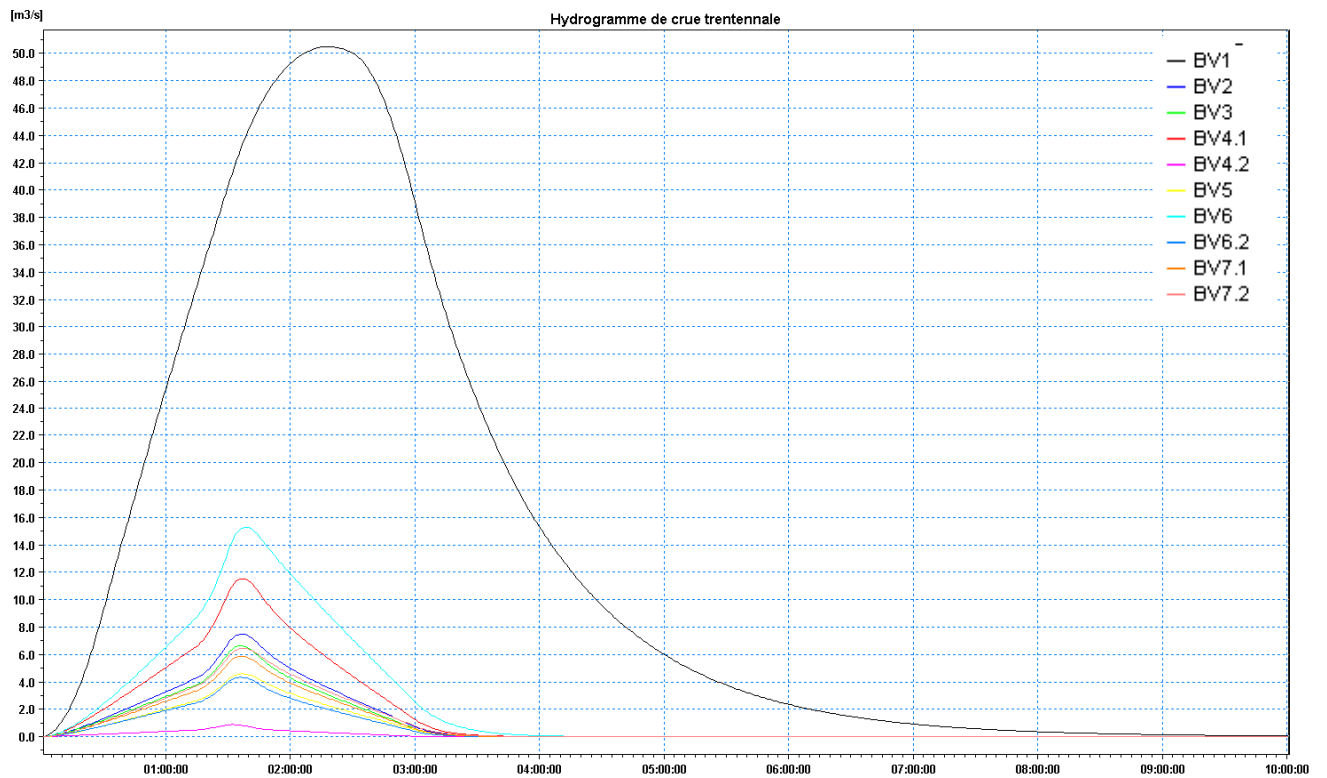


Illustration 13: Hydrogrammes de la crue de projet trentennale

Le tableau suivant reprend les débits maximaux estimés selon ces méthodes pour les différentes crues de projet.

| Sous bassin  | Surface (ha) | Méthode rationnelle         |                             | Méthode du réservoir linéaire |                             |
|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|              |              | Q10 max (m <sup>3</sup> /s) | Q30 max (m <sup>3</sup> /s) | Q10 max (m <sup>3</sup> /s)   | Q30 max (m <sup>3</sup> /s) |
| Sous BV 1    | 850          | 11.1                        | 51.7                        | 12.2                          | 50.5                        |
| Sous BV 2    | 60           | 1.8                         | 7.4                         | 1.9                           | 7.5                         |
| Sous BV 3    | 45           | 5.5                         | 6.7                         | 5.4                           | 6.6                         |
| Sous BV 4.1  | 90           | 5.7                         | 11.5                        | 5.7                           | 11.5                        |
| Sous BV 4.2  | 5            | 1.3                         | 1.2                         | 1.0                           | 0.9                         |
| Sous BV 5    | 35           | 2.8                         | 4.5                         | 2.9                           | 4.6                         |
| Sous BV 6.1  | 135          | 3.8                         | 14.3                        | 4.1                           | 15.3                        |
| Sous BV 6.2  | 30           | 3.7                         | 4.4                         | 3.6                           | 4.3                         |
| Sous BV 7.1  | 45           | 3.0                         | 5.7                         | 3.0                           | 5.9                         |
| Sous BV 7.2  | 50           | 3.8                         | 6.2                         | 3.8                           | 6.4                         |
| <b>TOTAL</b> | <b>1 345</b> | <b>42.6</b>                 | <b>113.5</b>                | <b>43.6</b>                   | <b>113.5</b>                |

Tableau 13 : Estimation des débits de pointe maximum pour les crues 10 ans et 30 ans

Les valeurs de débits maximum estimés à partir du modèle pluie-débit sont globalement similaires à celles issues de la méthode rationnelle pour les débits décennaux et trentennaux dans l'ensemble du domaine d'étude. Les différences observées sont faibles, de l'ordre de quelques pourcents en moyenne.

**Nous proposons dès lors d'utiliser dans la suite de l'étude les résultats issus du modèle pluie-débit de SAFEGE.**

### 4.3.2 Débits centennaux

Les méthodes BG et SPC ont été utilisées en comparaison de celle dite du réservoir linéaire pour le calcul des débits de pointe de retour 100 ans à partir des pluies statistiques de Nîmes Courbessac. Pour rappel, ces méthodes font appel aux paramètres suivants :

#### A- Méthode du double réservoir linéaire

- ✓ une pluie de projet double-triangle d'une durée totale de 3 h et d'intensité maximale correspondant à 30 minutes ou 2h selon les bassins versants ;
- ✓ un temps de réponse égal à la moitié du temps de concentration calculé par la moyenne des formules de Passini, Ventura, Kirpich et Bressan Golossov ;
- ✓ pour les pluies de 100 ans, un coefficient de ruissellement calculé au moyen de la méthode des experts.

#### B- Méthode de Bressan Golossov

- ✓ une intensité constante correspondant au temps de concentration des bassins versants concernés, à savoir 30 minutes ou 2h selon les bassins versants ;
- ✓ un temps de concentration calculé par la formule de Bressan Golossov ;
- ✓ un coefficient de ruissellement calculé au moyen de la méthode des experts.

#### C- Méthode SPC Grand Delta

- ✓ une intensité constante correspondant au temps de concentration calculé pour chacun des bassins versants ;
- ✓ un temps de concentration calculé par la formule de Passini ;
- ✓ extrapolation du débit centennal par la méthode du Gradex à partir du débit décennal calculé par la méthode rationnelle et pris comme valeur pivot.

Les hydrogrammes de crues définis pour chacun des sous-bassins sont présentés en page suivante.

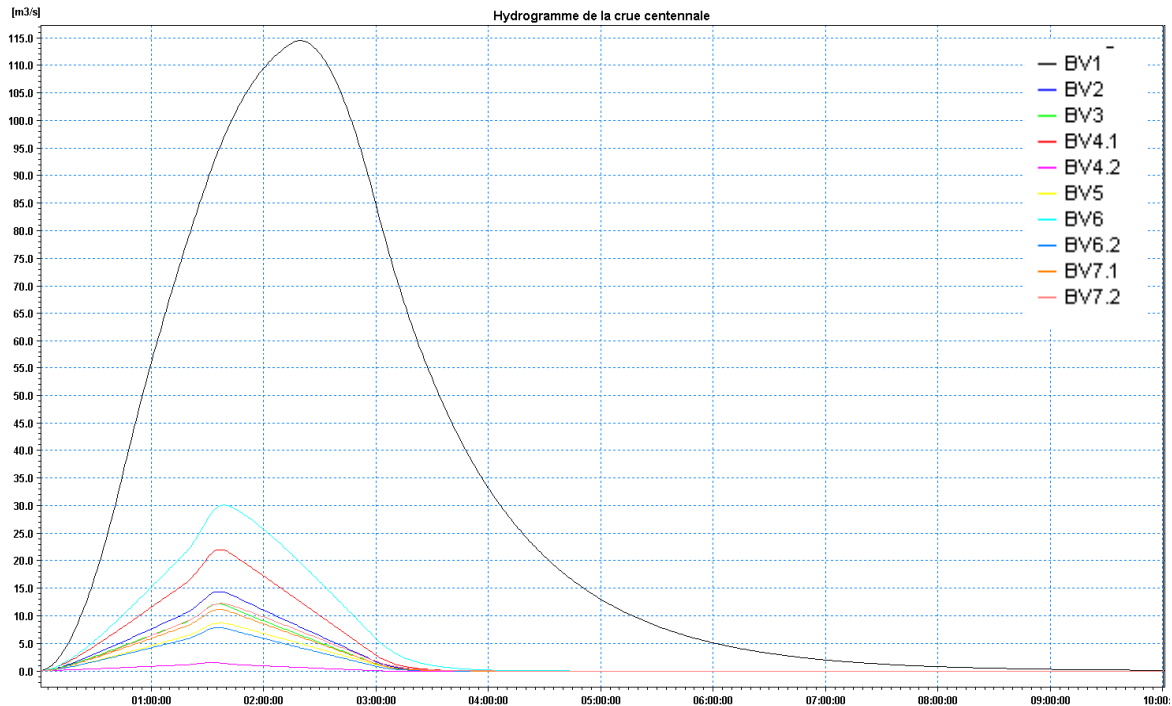


Illustration 14: Hydrogrammes de la crue de projet centennale

Les débits maximum estimés selon ces méthodes pour les différentes crues de projets sont les suivants :

| Sous bassin  | Surface (ha) | Méthode du réservoir linéaire | Bressand Golossov | SPC Grand Delta | Moyenne        |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|
|              |              | Q 100 max m³/s                | Q 100 max m³/s    | Q 100 max m³/s  | Q 100 max m³/s |
| Sous BV 1    | 850          | 114.4                         | 110.0             | 108.5           | 109.2          |
| Sous BV 2    | 60           | 14.4                          | 14.1              | 15.5            | 14.4           |
| Sous BV 3    | 45           | 12.1                          | 12.6              | 8.6             | 11.2           |
| Sous BV 4.1  | 90           | 22.0                          | 22.6              | 26.3            | 22.8           |
| Sous BV 4.2  | 5            | 1.5                           | 2.6               | 1.8             | 2.0            |
| Sous BV 5    | 35           | 8.7                           | 9.0               | 10.4            | 9.0            |
| Sous BV 6.1  | 135          | 30.1                          | 27.3              | 30.0            | 28.2           |
| Sous BV 6.2  | 30           | 7.9                           | 8.9               | 5.7             | 7.5            |
| Sous BV 7.1  | 45           | 11.1                          | 11.4              | 13.0            | 11.4           |
| Sous BV 7.2  | 50           | 12.2                          | 12.0              | 14.1            | 12.3           |
| <b>TOTAL</b> | <b>1 345</b> | <b>234.4</b>                  | <b>230.5</b>      | <b>233.8</b>    | <b>227.9</b>   |

Tableau 14 : Estimation des débits de pointe maximum pour les crues 100 ans



Ces trois méthodes donnent des débits comparables. **Au vu des ces comparaisons, il semble raisonnable de retenir pour la suite de l'étude les résultats issus du modèle pluie-débit de SAFEGE.**

## 4.4 Comparaison avec les résultats d'études antérieures

Une comparaison des différentes études réalisées sur le secteur d'étude a été réalisée. Celles-ci ont proposé des débits estimés pour des évènements décennaux et centennaux.

En l'absence fréquente de données précises sur les méthodes et paramètres utilisés, il est difficile de réaliser une analyse approfondie des différents débits estimés. Ils sont dès lors donnés à titre purement indicatifs.

| Etude              | Surface considérée (ha) | Q10 (m <sup>3</sup> /s) | Q10 spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ) | Q100 (m <sup>3</sup> /s) | Q100 spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ) |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|---|--------------------------|--|
| SIEE 1999          | 9.8                     | 40                      | 4.08  | 130                      | 13.47  |
| SDAPI 2006         | 8.6                     | 21.8                    | 2.53  | 169.7                    | 19.73  |
|                    | 12.7                    | 30.1                    | 2.37  | 211.5                    | 16.65  |
| SDAH 2007          | 13.3                    | 81                      | 6.08  | 238                      | 17.85  |
| EGIS 2010          | 13.45                   | 69.3                    | 5.15  | 135                      | 10.4   |
| <b>SAFEGE 2011</b> | <b>13.45</b>            | <b>43.9</b>             | <b>3.24</b>   | <b>234.4</b>             | <b>17.43</b>   |

Tableau 15 : Comparaison des résultats obtenus lors d'études antérieures

L'ensemble des résultats collectés ont été comparés sur base du débit spécifique.

**EGIS – 2010 :** La différence de débits décennaux obtenue entre SAFEGE et EGIS provient vraisemblablement, entre autres paramètres, des valeurs de coefficient de ruissellement utilisées, à savoir 0,39 pour EGIS sur la totalité du bassin versant contre des valeurs variant entre 0,12 et 0,63 selon les bassins versants modélisés pour SAFEGE.

En ce qui concerne les débits centennaux, on notera par contre les très faibles valeurs proposées par EGIS en comparaison avec les débits issus des autres études, et notamment les valeurs proposées par SAFEGE.

A titre d'exemple, en prenant un bassin global de taille équivalente à celle proposée par EGIS, présentant un coefficient de ruissellement moyen de l'ordre de 60 % pour un événement centennal d'une durée de 3h intégrant un pic intense d'une durée égale à 2h, nous trouvons un débit total de l'ordre de 160 m<sup>3</sup>/s. Le fait de travailler à une

échelle plus locale avec des bassins versants de taille réduite permet d'affiner les paramètres liés au temps de concentration ou aux coefficients de ruissellement.

**SDAH – 2007** : On notera que les débits spécifiques proposés dans le SDAH pour les événements décennaux semblent fortement surévalués par rapport aux résultats issus des autres études. Ceci peut provenir de plusieurs facteurs, telle que l'intensité de la pluie retenue (non mentionnée dans le SDAH) ou des paramètres de la méthode SCS utilisée.

En ce qui concerne les débits centennaux, les débits estimés par SAFEGE sont par contre similaires à ceux estimés dans le SDAH.

Le calcul hydrologique a été réalisé au moyen du logiciel PHENIX développé par BRLi. La méthode de transformation pluie-débit utilisée est la méthode SCS. On retrouve ainsi :

- ✓ une fonction de production de type hydrogramme unitaire
- ✓ une fonction de propagation de type Muskingum
- ✓ une fonction d'écrêtement par laminage dans des ouvrages qui n'a toutefois pas été prise en compte dans le cas présent.

Les paramètres de calcul utilisés ne sont toutefois pas explicitement décrits (durée et intensité de la pluie de projet notamment).

**SDAPI – 2006** : Le SDAPI utilise les pluies issues de la base SHYREG du CEMAGREF sans pour autant que soit précisé le point d'extraction de ces données. Le tableau suivant rassemble les quantiles de pluies utilisés pour construire les pluies de projet tenant compte d'un coefficient d'abattement.

| Durée de la pluie | T = 10 ans | T = 20 ans | T = 50 ans | T = 100 ans |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1 h               | 31         | 47         | 57         | 112         |
| 3 h               | 64         | 91         | 108        | 142         |
| 6 h               | 98         | 138        | 163        | 183         |
| 24h               | 176        | 248        | 302        | 369         |

Tableau 16 : Données SHYREG abattues (source : SDAPI)

De manière générale, les cumuls utilisés dans le SDAPI sont largement inférieurs aux cumuls utilisés dans le cadre de cette étude avec une exception notable pour les occurrences centennales correspondant aux durées 1h et 24 h. **La durée des pluies de projets utilisées n'est pas mentionnée.**

Les temps de concentration ont été calculés sur base de la formule de Bressand Golossov et les coefficients de ruissellements sur base de la méthode des experts. **Les valeurs retenues ne sont toutefois pas indiquées dans le rapport.**

Les débits centennaux ont été estimés par la méthode S.C.S. Un modèle hydrologique (nommé ECRET, développé par ISL) a été mis en œuvre sur l'ensemble de la plaine Rhodanienne. Ce modèle rassemble :

- ✓ une fonction de production ou modèle pluie/débit de type hydrogramme unitaire
- ✓ une fonction de propagation de type Muskingum
- ✓ une fonction d'écèlement par laminage dans des ouvrages non prise en compte dans les calculs

**SIEE – 1999** : On peut enfin noter que les débits centennaux calculés par SIEE dans son étude de 1999 sont identiques aux nôtres au niveau du lotissement du Valdenaffret, soit 130 m<sup>3</sup>/s contre 128 m<sup>3</sup>/s pour SAFEGE. SIEE n'a cependant pas pris en compte les débits d'apports latéraux sur le tracé du Nizon compris entre le lotissement et sa confluence avec le ruisseau de Chantegrillet. Ces apports latéraux ont été évalués à près de 45 m<sup>3</sup>/s par SAFEGE.



## CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

### 5.1 Description de l'outil

#### 5.1.1 Architecture du modèle hydraulique

Afin de modéliser le secteur du centre-ville, il a été choisi d'utiliser le code MIKE FLOOD qui permet de réaliser un couplage 1D/2D (à l'aide des logiciels MIKE 11/MIKE 21).

La représentation des lits mineurs à l'aide de profils en travers dans un code filaire permet d'obtenir une bonne représentation des lignes d'eau et des débits. Les débits qui peuvent surverser sur les berges en rive gauche ou rive droite (par des lois de déversement) sont repris par le code bidimensionnel qui poursuit la propagation.

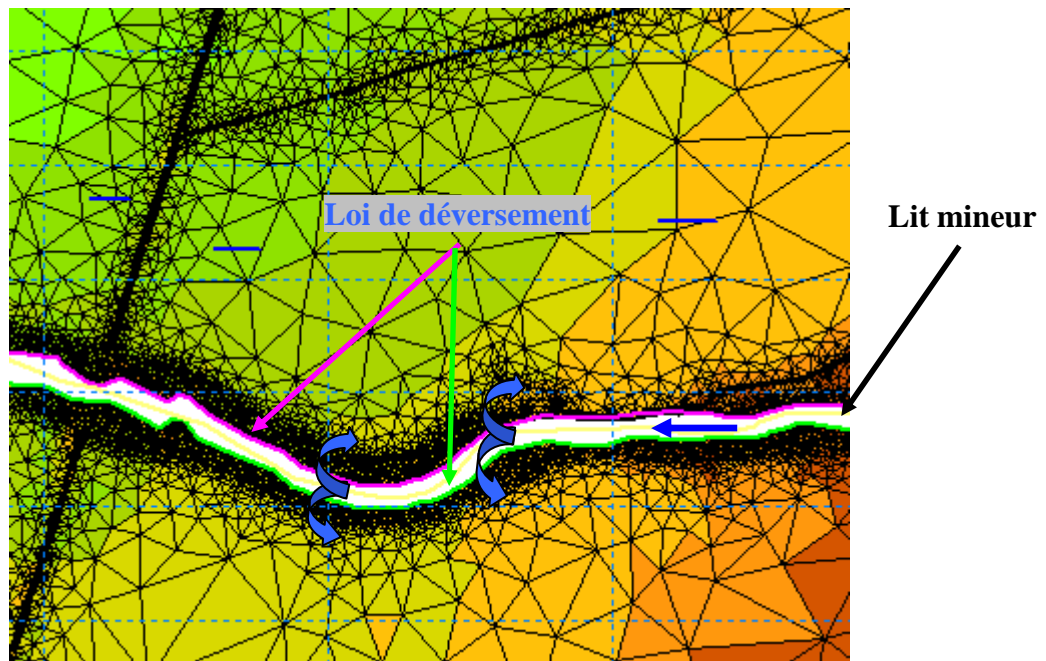


Illustration 15: Présentation du code de calcul

MIKE FLOOD est un outil qui permet d'associer des modèles à une dimension, qu'ils soient urbains (MOUSE/MIKE URBAN) ou fluviaux (MIKE 11), et des modèles à deux dimensions (MIKE 21), afin de permettre un couplage dynamique entre les deux représentations mathématiques des écoulements.

MIKE FLOOD est particulièrement adapté aux milieux tels que les plaines inondables, les estuaires, ou les zones urbaines, autorisant notamment la prise en compte du laminage de l'onde de crue. Il dispose ainsi d'un domaine d'application vaste (risque d'inondation et analyse détaillée des champs d'expansion, rupture de barrage et de digue).

### 5.1.2 Modèle hydraulique 1D (MIKE 11)

MIKE 11 est un modèle hydraulique à « casier » ou pseudo-bidimensionnel capable de modéliser la propagation d'onde de crue en régime transitoire, quel que soit le régime d'écoulement (fluvial ou torrentiel). La résolution des équations de Barré Saint Venant est réalisée à l'aide d'un schéma implicite en différence finie. MIKE 11 permet de décrire de façon illimitée tous les déversements notamment ceux qui ont lieu par dessus des digues. Il permet aussi de décrire l'ensemble des ouvrages aménagés le long du linéaire d'un cours d'eau.

Les points forts de ce logiciel sont :

- ✓ la robustesse de son noyau de calcul qui permet d'étudier des écoulements torrentiels ou fluviaux en régime permanent ou transitoire ;
- ✓ la puissance et la souplesse des moyens de description du relief des zones à étudier (lits mineurs, ouvrages, digues...) ;
- ✓ les interfaces de présentation de la topologie du modèle hydraulique mis au point et d'édition des résultats (courbes d'évolution temporelle des hauteurs d'eau ou des débits, profils en travers en long).

**Dans le modèle réalisé dans le cadre de cette étude, seuls les lits mineurs des différents cours d'eau et les ouvrages sont modélisés avec MIKE 11.**

### 5.1.3 Modèle hydraulique 2D (MIKE 21)

Le module hydrodynamique de MIKE 21 permet de modéliser en 2D toute zone assujettie à des écoulements multidirectionnels. Il simule les variations du niveau d'eau et des débits en réponse à une quantité de variables (vent, marée, précipitation, évaporation, rugosité du lit...). Les équations de Barré Saint Venant sont résolues par la méthode des volumes finis.

La propagation des ondes de crue s'appuie sur un maillage créé à partir de données topographiques surfaciques. La création de ce maillage est une étape importante pour la modélisation.

MIKE 21 offre la possibilité de créer un maillage rectangulaire ou triangulaire suivant les différentes utilisations possibles. Les cotes des points du maillage sont ensuite obtenues par interpolation des points du semis. Les simulations permettent d'obtenir les niveaux d'eau et les composantes de la vitesse dans le domaine étudié.

**Dans le modèle réalisé dans le cadre de cette étude, les lits majeurs des différents cours d'eau sont modélisés avec MIKE 21. Le modèle se compose de 50 000 mailles.**

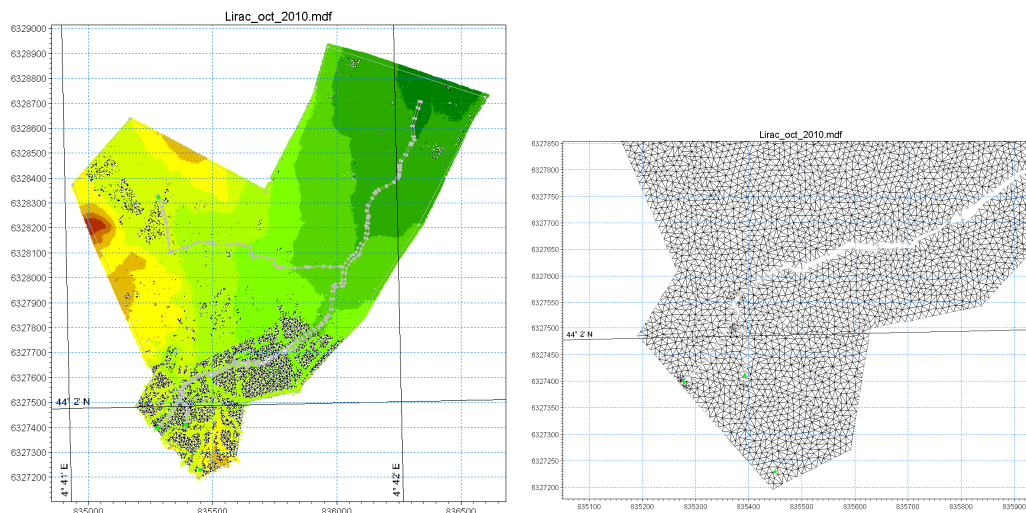


Illustration 16: Présentation du modèle et de son maillage

## 5.2 Données topographiques

Dans le cadre de la précision de l'aléa inondation en centre ville, des levés topographiques du cours du Nizon et de ses affluents ont été réalisés, à savoir :

- 7 ouvrages hydrauliques ;
- 37 profils en travers dont 22 sur le Nizon, 3 sur les Vayorces et 12 sur le cours du Chantegrillet.

On notera par ailleurs que l'intégration des lits majeurs dans un modèle hydraulique 2D a nécessité des levés de points à grande précision. Un lever terrestre complété par un lever LIDAR de la zone d'étude a dès lors été réalisé.

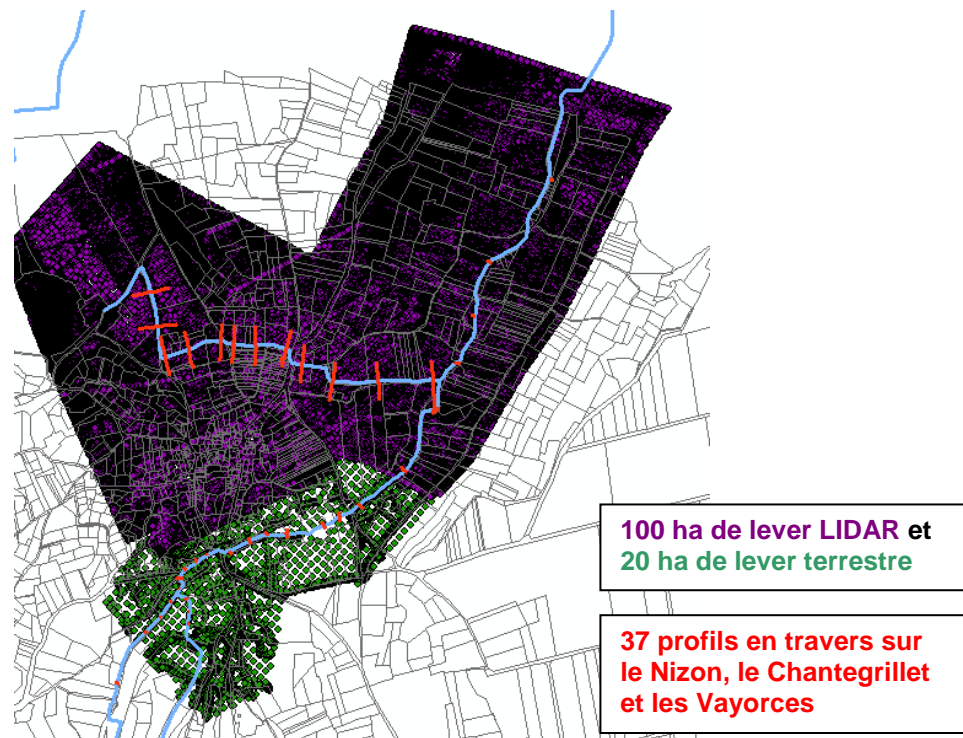


Illustration 17 : Données topographiques

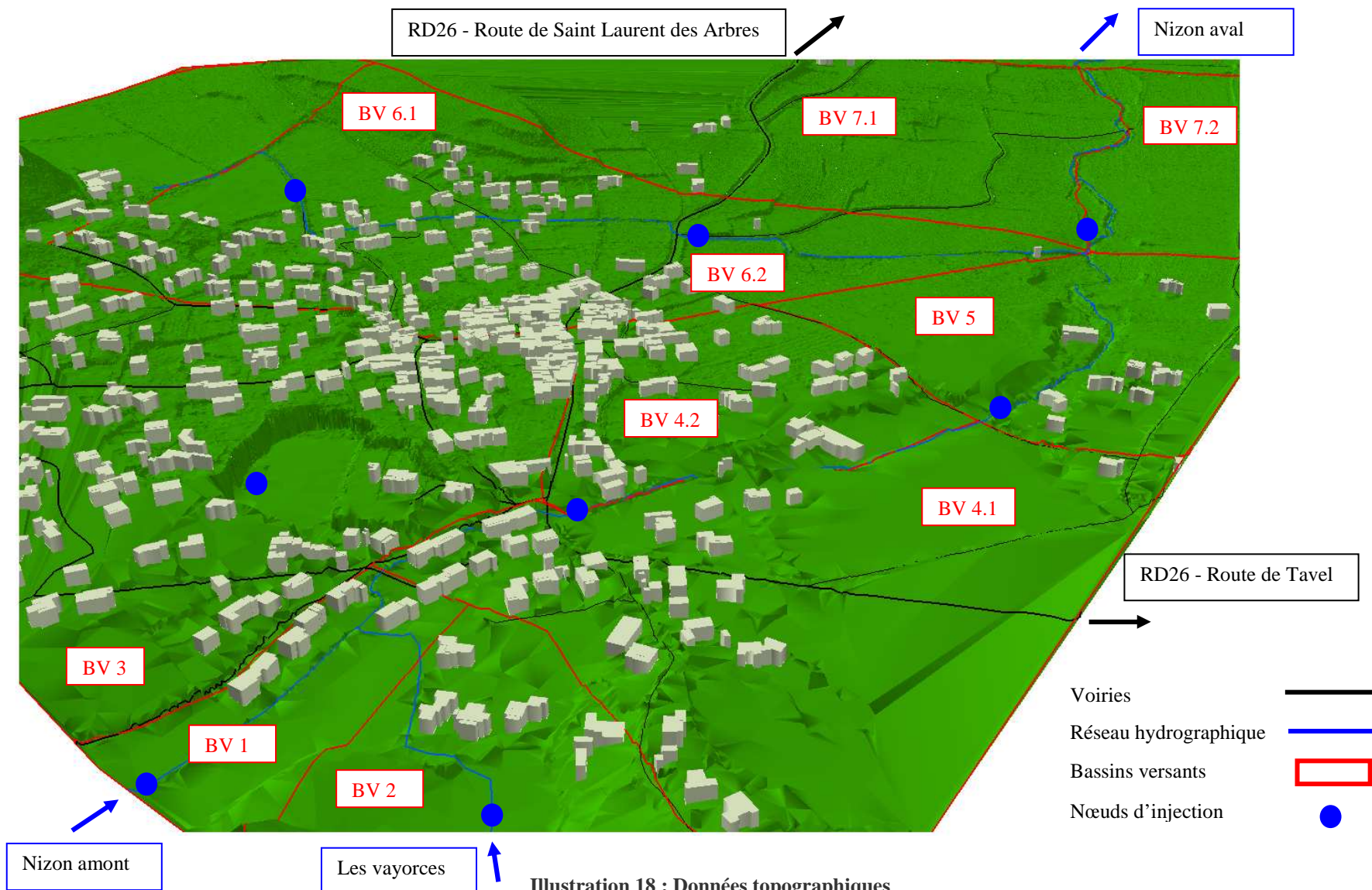
La localisation précise des profils en travers est donnée est en annexe.

*Voir annexe 4 : Localisation des profils en travers*

## 5.3 Conditions limites

Les différents points d'injection des débits dans le modèle sont représentés sur l'illustration ci-après.







# 6

## ETUDE DE SENSIBILITÉ ET CALAGE DU MODÈLE

### 6.1 Sensibilité des paramètres du modèle

#### 6.1.1 Sources d'incertitudes

Les sources d'incertitudes pouvant influencer les résultats du modèle sont nombreuses :

- ✓ hydrologie : la détermination des débits de projet repose sur plusieurs sources d'incertitude liées aux différents paramètres de calcul, à savoir entre autres
  - les temps de concentration qui définissent la durée et l'intensité de la pluie retenue de même que le temps de réponse du bassin versant ;
  - les coefficients de ruissellement qui interviennent directement dans le calcul des débits ;
- ✓ hydraulique : la détermination des hauteurs d'eau en sortie de projet repose outre sur la robustesse du système de calcul du modèle mais également sur la qualité des données topographiques utilisées. En l'occurrence, la précision apportée par les levés en lit majeur est de l'ordre de 5 à 8 cm. Les levés réalisés en lit mineur présentent une précision de 2 à 3 cm.

Afin de définir leur incidence sur les résultats des tests de sensibilité sont réalisés sur les principaux paramètres d'entrée du modèle.

## 6.1.2 Objectif de l'analyse de sensibilité

L'objectif d'une analyse de sensibilité est de permettre à l'utilisateur d'évaluer l'impact relatif des paramètres d'entrée sur les résultats de la simulation.

D'un point de vue hydrologique et hydraulique, une étude de sensibilité est nécessaire pour mesurer l'impact de chaque variable ou paramètre sur le débit et par conséquent, estimer les erreurs possibles issues d'une incertitude dans les données. Elle nous aide aussi à vérifier la fiabilité des modèles et à faciliter leurs calages (Chocat, 1997).

L'analyse de sensibilité est définie comme la quantification de l'effet d'une ou de plusieurs variables d'entrée sur la ou les variables de sortie.

En premier lieu, l'analyse a été faite pour l'estimation des débits au travers du modèle pluie-débit. Les variables principales que nous prendrons en considération sont le temps de concentration au travers du temps de réponse du bassin versant et le coefficient de ruissellement.

Dans un second temps, la sensibilité des paramètres d'entrées du modèle hydraulique est testée, à savoir le débit de pointe et le coefficient de rugosité.

Pour chacun de ces paramètres, l'étude de sensibilité a été établie pour trois valeurs : la première étant la valeur de référence calculée, les deux autres constituant les marges de sensibilité dont la première est supérieure et l'autre est inférieure. Les variations sont ensuite rapportées en pourcentage.

Afin d'évaluer la sensibilité de la variable de sortie par rapport à des modifications sur les variables d'entrée, des courbes illustrant les résultats donnent le taux de variation de la valeur de sortie  $T_s$  en fonction du taux de variation de chaque variable d'entrée  $V_E$  :

$$T_S = ((V_E - V_{E_{\text{réf}}}) / V_{E_{\text{réf}}}) \times 100$$

Où :  $T_S$  : Taux de variation de la variable analysée ;

$V_{E_{\text{réf}}}$  : Valeur de référence de la variable analysée ;

$V_E$  : Valeur correspondant à une variation donnée de la variable analysée.

### 6.1.3 Sensibilité du débit de pointe aux paramètres hydrologiques

Nous avons étudié l'influence de deux paramètres principaux sur le calcul du débit de pointe, à savoir le temps de réponse et le coefficient de ruissellement. Afin de vérifier leur influence, nous les avons fait varier de +/- 10% par rapport à la valeur de référence utilisée pour le calage de la crue de 2002.

#### A- Variation du coefficient de ruissellement

| BV  | Surface<br>ha | Débit de<br>référence<br>m³/s | Variation du débit<br>(pour un Cr de -10%) |       | Variation du débit<br>(pour un Cr de +10%) |      |
|-----|---------------|-------------------------------|--|-------|--|------|
|     |               |                               | m³/s                                       | %     | m³/s                                       | %    |
| 1   | 850           | 33.2                          | 30.1                                       | -9.3  | 36.2                                       | 9.3  |
| 2   | 60            | 4.5                           | 4.1  | -9.3  | 4.9  | 9.3  |
| 3   | 45            | 3.9                           | 3.5  | -10.2 | 4.3  | 10.2 |
| 4.1 | 90            | 6.9                           | 6.3  | -8.9  | 7.6  | 11.1 |
| 4.2 | 5             | 0.7                           | 0.6  | -9.7  | 0.7  | 11.5 |
| 5   | 35            | 2.7                           | 2.5  | -8.7  | 3.0  | 10.9 |
| 6.1 | 135           | 8.8                           | 7.9  | -9.3  | 9.6  | 9.3  |
| 6.2 | 30            | 2.6                           | 2.4  | -10.2 | 2.9  | 10.2 |
| 7.1 | 45            | 3.5                           | 3.2  | -8.9  | 3.9  | 11.1 |
| 7.2 | 50            | 3.8                           | 3.4  | -10.9 | 4.2  | 10.9 |

Tableau 17 : Taux de variation du débit de pointe en fonction de la variation du coefficient de ruissellement

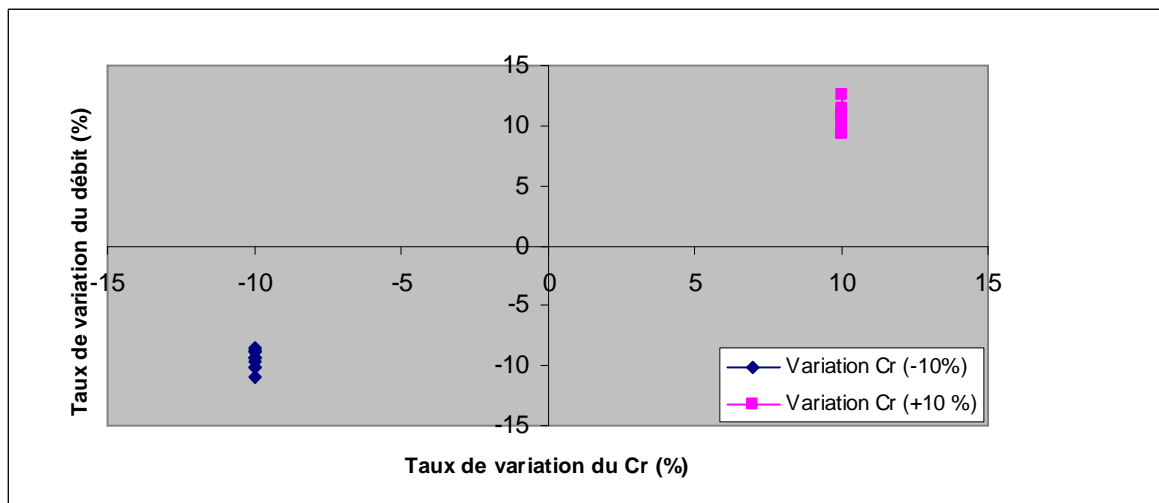


Illustration 19 : Taux de variation du débit de pointe en fonction de la variation du coefficient de ruissellement

Les résultats dans le tableau 2 montrent qu'une variation de 10 % du coefficient de ruissellement induit une variation de débit d'un ordre de grandeur similaire dans un intervalle compris entre 8,7 et 11,5 %.

## B- Variation du temps de réponse

| BV  | Surface | Débit de référence<br>m <sup>3</sup> /s | Variation du débit<br>(pour un temps de réponse de -10%) |     | Variation du débit<br>(pour un temps de réponse de +10%) |      |
|-----|---------|---|--|-----|--|------|
|     | ha      |   | m <sup>3</sup> /s  | %   | m <sup>3</sup> /s  | %    |
| 1   | 850     | 33.2                                    | 34.5   | 3.9 | 31.9   | -3.8 |
| 2   | 60      | 4.5                                     | 4.8  | 6.3 | 4.4  | -2.5 |
| 3   | 45      | 3.9                                     | 4.1  | 3.7 | 3.8  | -2.5 |
| 4.1 | 90      | 6.9                                     | 7.2  | 5.1 | 6.7  | -2.4 |
| 4.2 | 5       | 0.7                                     | 0.7  | 0.0 | 0.6  | -5.7 |
| 5   | 35      | 2.7                                     | 2.8  | 2.5 | 2.6  | -4.8 |
| 6.1 | 135     | 8.8                                     | 9.2  | 4.7 | 8.6  | -2.2 |
| 6.2 | 30      | 2.6                                     | 2.7  | 3.7 | 2.6  | -2.5 |
| 7.1 | 45      | 3.5                                     | 3.6  | 2.6 | 3.4  | -4.9 |
| 7.2 | 50      | 3.8                                     | 3.9  | 2.5 | 3.6  | -4.7 |

Tableau 18 : Taux de variation du débit de pointe en fonction de la variation du temps de réponse

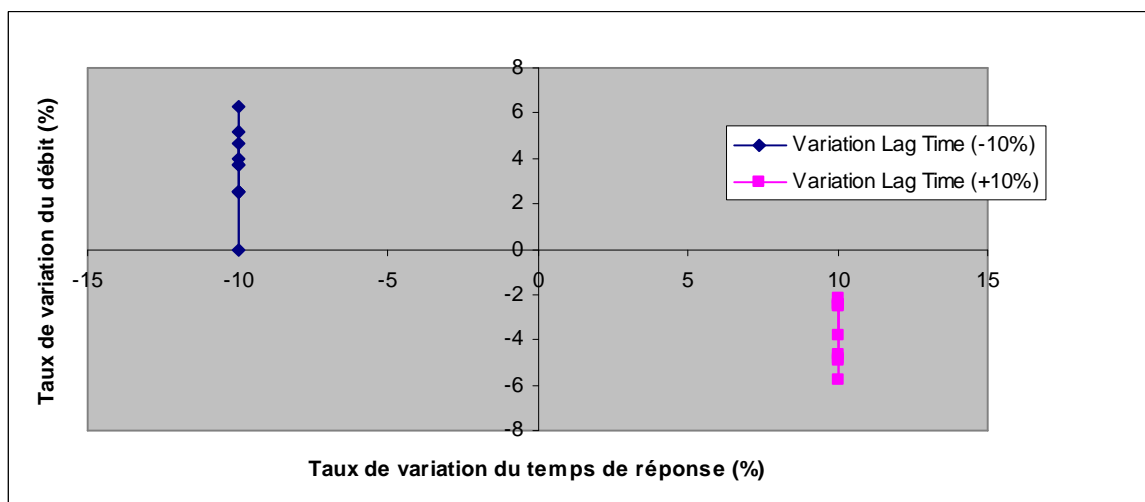


Illustration 20 : Taux de variation du débit de pointe en fonction de la variation du temps de réponse

La variation du débit de pointe est inversement proportionnelle à la variation du temps de réponse comme on peut le constater directement dans ces résultats.

Par ailleurs, l'impact d'une sous-estimation ou surestimation du temps de réponse sur le débit de pointe est beaucoup moins important qu'il ne peut l'être pour le coefficient de ruissellement. Les résultats présentés dans le tableau précédent montrent qu'une variation de 10 % du temps de réponse induit une variation de débit d'un ordre de grandeur moindre dans un intervalle compris entre 0 et 6,3 %.

## 6.1.4 Sensibilité des hauteurs d'eau aux paramètres de débits et de rugosité

### A- Variation du débit

| Cours d'eau   | Profils en travers | Hauteur de référence | Variation des lignes d'eau (pour un débit de -10%) |       | Variation des lignes d'eau (pour un débit de +10%) |      |
|---------------|--------------------|----------------------|--|-------|--|------|
|               |                    | m NGF                | m NGF  | %     | m NGF  | %    |
| Nizon         | 1                  | 119.99               | 119.99   | 0.00  | 119.99   | 0.00 |
|               | 2                  | 118.362              | 118.323  | -0.03 | 118.403  | 0.03 |
|               | 3                  | 118.125              | 118.09   | -0.03 | 118.166  | 0.03 |
|               | 4                  | 117.941              | 117.905  | -0.03 | 117.975  | 0.03 |
|               | 5                  | 117.736              | 117.703  | -0.03 | 117.762  | 0.02 |
|               | 6                  | 117.68               | 117.649  | -0.03 | 117.704  | 0.02 |
|               | 7                  | 116.908              | 116.89   | -0.02 | 116.92   | 0.01 |
|               | 8                  | 116.716              | 116.689  | -0.02 | 116.733  | 0.01 |
|               | 9                  | 116.378              | 116.323  | -0.05 | 116.407  | 0.02 |
|               | 10                 | 113.26               | 113.245  | -0.01 | 113.273  | 0.01 |
|               | 11                 | 111.034              | 110.989  | -0.04 | 111.083  | 0.04 |
|               | 12                 | 109.579              | 109.52   | -0.05 | 109.641  | 0.06 |
|               | 13                 | 108.526              | 108.451  | -0.07 | 108.604  | 0.07 |
|               | 14                 | 107.619              | 107.501  | -0.11 | 107.719  | 0.09 |
|               | 15                 | 107.572              | 107.466  | -0.10 | 107.671  | 0.09 |
|               | 16                 | 104.569              | 104.476  | -0.09 | 104.656  | 0.08 |
|               | 17                 | 101.937              | 101.865  | -0.07 | 102.007  | 0.07 |
|               | 18                 | 98.606               | 98.57  | -0.04 | 98.639   | 0.03 |
|               | 19                 | 96.432               | 96.386   | -0.05 | 96.476   | 0.05 |
|               | 20                 | 94.861               | 94.819   | -0.04 | 94.895   | 0.04 |
|               | 21                 | 93.271               | 93.254   | -0.02 | 93.29  | 0.02 |
|               | 22                 | 88.313               | 88.246   | -0.08 | 88.37  | 0.06 |
| Vayorces      | 0                  | 119.075              | 119.061  | -0.01 | 119.077  | 0.00 |
|               | 1                  | 118.62               | 118.605  | -0.01 | 118.633  | 0.01 |
|               | 2                  | 118.153              | 118.146  | -0.01 | 118.16   | 0.01 |
|               | 3                  | 117.861              | 117.832  | -0.02 | 117.89   | 0.02 |
|               | 4                  | 117.82               | 117.787  | -0.03 | 117.85   | 0.03 |
| Chantegrillet | 1                  | 122.084              | 122.079  | 0.00  | 122.093  | 0.01 |
|               | 2                  | 121.854              | 121.84   | -0.01 | 121.867  | 0.01 |
|               | 3                  | 120.348              | 120.342  | 0.00  | 120.353  | 0.00 |
|               | 4                  | 118.374              | 118.369  | 0.00  | 118.378  | 0.00 |
|               | 5                  | 115.986              | 115.986  | 0.00  | 115.996  | 0.01 |
|               | 6                  | 114.493              | 114.488  | 0.00  | 114.497  | 0.00 |
|               | 7                  | 113.027              | 113.019  | -0.01 | 113.035  | 0.01 |
|               | 8                  | 111.566              | 111.537  | -0.03 | 111.586  | 0.02 |
|               | 9                  | 109.203              | 109.177  | -0.02 | 109.215  | 0.01 |
|               | 10                 | 105.965              | 105.926  | -0.04 | 105.979  | 0.01 |
|               | 11                 | 101.913              | 101.861  | -0.05 | 101.947  | 0.03 |
|               | 12                 | 97.56                | 97.509   | -0.05 | 97.61  | 0.05 |

Tableau 19 : Taux de variation des lignes d'eau en fonction de la variation du débit

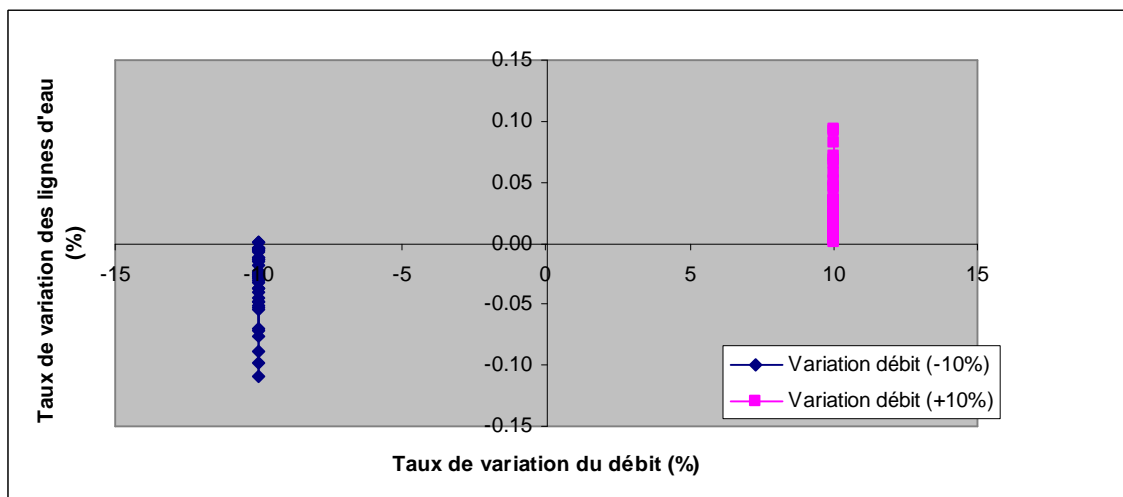


Illustration 21 : Taux de variation des lignes d'eau en fonction de la variation du débit

La variation des lignes d'eau est faible par rapport à la variation du débit. Ceci s'explique largement par la prise en compte par le modèle de l'étalement des crues en lits majeurs en cas de débordement et par le laminage du débit à l'amont des ouvrages hydrauliques dont la section est le plus souvent insuffisante. La sensibilité du modèle à une variation du débit est de ce fait relativement faible.

## B- Variation du coefficient de rugosité

| Cours d'eau | Profils en travers | Hauteur de référence | Variation des lignes d'eau (pour un Cr de -10%) |        | Variation des lignes d'eau (pour un Cr de +10%) |      |
|-------------|--------------------|----------------------|---|--------|---|------|
|             |                    | m NGF                | m NGF   | %      | m NGF   | %    |
| Nizon       | 1                  | 119.99               | 119.99  | 0.000  | 119.99  | 0.00 |
|             | 2                  | 118.362              | 118.367   | 0.004  | 118.431   | 0.06 |
|             | 3                  | 118.125              | 118.139   | 0.012  | 118.189   | 0.05 |
|             | 4                  | 117.941              | 117.964   | 0.019  | 117.989   | 0.04 |
|             | 5                  | 117.736              | 117.763   | 0.023  | 117.763   | 0.02 |
|             | 6                  | 117.68               | 117.713   | 0.028  | 117.696   | 0.01 |
|             | 7                  | 116.908              | 116.894   | -0.012 | 116.948   | 0.03 |
|             | 8                  | 116.716              | 116.718   | 0.002  | 116.751   | 0.03 |
|             | 9                  | 116.378              | 116.422   | 0.038  | 116.394   | 0.01 |
|             | 10                 | 113.26               | 113.236   | -0.021 | 113.31  | 0.04 |
|             | 11                 | 111.034              | 111.009   | -0.023 | 111.15  | 0.10 |
|             | 12                 | 109.579              | 109.582   | 0.003  | 109.693   | 0.10 |
|             | 13                 | 108.526              | 108.546   | 0.018  | 108.651   | 0.12 |
|             | 14                 | 107.619              | 107.697   | 0.072  | 107.747   | 0.12 |
|             | 15                 | 107.572              | 107.673   | 0.094  | 107.679   | 0.10 |
|             | 16                 | 104.569              | 104.556   | -0.012 | 104.757   | 0.18 |
|             | 17                 | 101.937              | 101.935   | -0.002 | 102.076   | 0.14 |
|             | 18                 | 98.606               | 98.607  | 0.001  | 98.671  | 0.07 |
|             | 19                 | 96.432               | 96.433  | 0.001  | 96.516  | 0.09 |
|             | 20                 | 94.861               | 94.864  | 0.003  | 94.928  | 0.07 |



| Cours d'eau   | Profils en travers | Hauteur de référence | Variation des lignes d'eau (pour un Cr de -10%) |        | Variation des lignes d'eau (pour un Cr de +10%) |      |
|---------------|--------------------|----------------------|---|--------|---|------|
|               |                    | m NGF                | m NGF   | %      | m NGF   | %    |
|               | 21                 | 93.271               | 93.287  | 0.017  | 93.293  | 0.02 |
|               | 22                 | 88.313               | 88.276  | -0.042 | 88.459  | 0.17 |
| Vayorces      | 0                  | 119.075              | 119.057   | -0.015 | 119.092   | 0.01 |
|               | 1                  | 118.62               | 118.611   | -0.008 | 118.642   | 0.02 |
|               | 2                  | 118.153              | 118.154   | 0.001  | 118.17  | 0.01 |
|               | 3                  | 117.861              | 117.878   | 0.014  | 117.898   | 0.03 |
|               | 4                  | 117.82               | 117.843   | 0.020  | 117.857   | 0.03 |
| Chantegrillet | 1                  | 122.084              | 122.087   | 0.002  | 122.099   | 0.01 |
|               | 2                  | 121.854              | 121.864   | 0.008  | 121.87  | 0.01 |
|               | 3                  | 120.348              | 120.331   | -0.014 | 120.372   | 0.02 |
|               | 4                  | 118.374              | 118.359   | -0.013 | 118.394   | 0.02 |
|               | 5                  | 115.986              | 115.993   | 0.006  | 116.004   | 0.02 |
|               | 6                  | 114.493              | 114.474   | -0.017 | 114.521   | 0.02 |
|               | 7                  | 113.027              | 113.029   | 0.002  | 113.044   | 0.02 |
|               | 8                  | 111.566              | 111.576   | 0.009  | 111.601   | 0.03 |
|               | 9                  | 109.203              | 109.202   | -0.001 | 109.227   | 0.02 |
|               | 10                 | 105.965              | 105.959   | -0.006 | 106.008   | 0.04 |
|               | 11                 | 101.913              | 101.884   | -0.028 | 101.993   | 0.08 |
|               | 12                 | 97.56                | 97.554  | -0.006 | 97.657  | 0.10 |

Tableau 20 : Taux de variation des lignes d'eau en fonction de la variation du débit

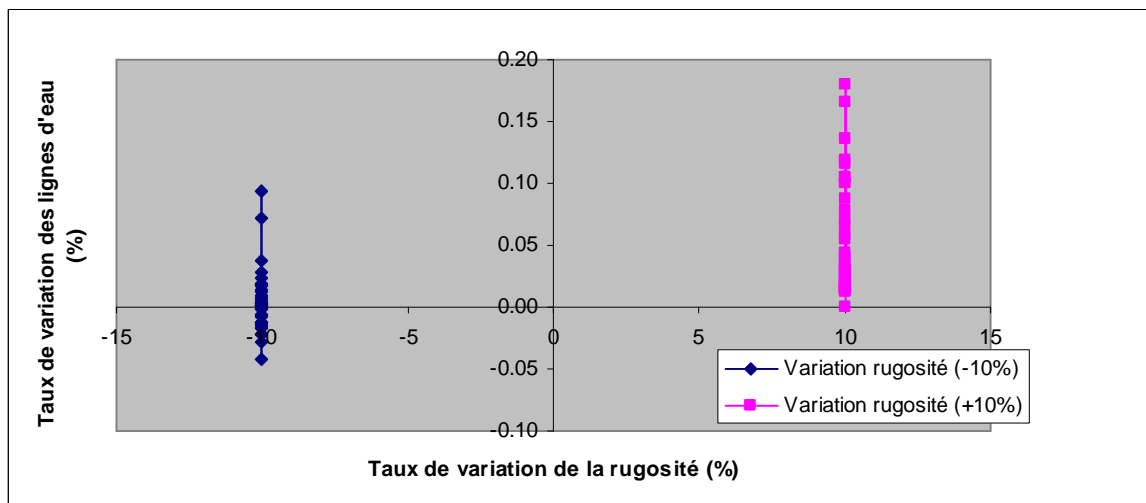


Illustration 22 : Taux de variation des lignes d'eau en fonction de la variation du débit

De manière générale, une augmentation du coefficient de rugosité induit une diminution de la vitesse d'écoulement et parallèlement une augmentation des lignes d'eau. Une diminution de ce coefficient accélère l'écoulement, ce qui entraîne une diminution des lignes d'eau sur certains tronçons concomitante avec une augmentation aux endroits où se produit une accumulation des eaux (le plus souvent

à l'amont de singularités hydrauliques de type rétrécissement du lit ou au droit des ouvrages hydrauliques limitants).

La variation des lignes d'eau est faible par rapport à la variation du coefficient de rugosité. De même que pour les variations de débits, ceci s'explique largement par la prise en compte par le modèle de l'étalement des crues en lits majeurs en cas de débordement et par le laminage du débit à l'amont des ouvrages hydrauliques dont la section est le plus souvent insuffisante. La sensibilité du modèle à une variation du coefficient de rugosité est de ce fait relativement faible.

## 6.2 Calage du modèle sur la crue de septembre 2002

En l'absence de mesures débitométriques sur le réseau modélisé, nous avons vérifié que le modèle reproduise bien dans leur ampleur et leurs caractéristiques les désordres observés sur la zone d'étude à cette période (extension du champ d'inondation et données de plus hautes eaux collectées en phase 1 de l'étude).

Sur base des informations recueillies auprès de la commune et des riverains, quatre données de hauteurs d'eau atteintes lors des événements de 2002 ont été répertoriées sur le territoire communal. Ces données de hauteurs d'eau ont été localisées sur la carte 5 présentée en première phase de l'étude.

Il convient de noter que nous ne disposons de photos du niveau des plus hautes eaux atteint que pour deux de ces endroits nous permettant de valider ces informations. Il s'agit du lotissement de Valdenaffret situé en bordure de la RD26 et du chemin de la Condamine au droit du passage du Nizon.

Nous considérerons que les autres données de hauteur d'eau restent dès lors uniquement indicatives de hauteurs probablement atteintes.

En collaboration avec la mairie, nous avons également réalisé une délimitation de l'emprise probable des zones inondées en 2002.

La carte 8a reprend l'emprise de la zone inondée en septembre 2002 ainsi que les classes de hauteurs d'eau modélisées.

*Voir annexe 8 – carte 8a : Emprise de la zone inondée en septembre 2002*

Un profil en long des lignes d'eau modélisées en lit mineur est présenté en annexe de même que les données de calage et un tableau comparant les hauteurs d'eau modélisées au droit des différentes PHE répertoriées sur la commune.

*Voir annexe 5 : Données de calage*

Un premier débordement du Nizon et du ruisseau des Vayorces est survenu en amont du lotissement du Valdenaffret. Le débit admissible de l'ouvrage de traversée du Nizon sous la RD26 est de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/s, ce qui semble déjà insuffisant pour une pluie d'occurrence biennale (en situation de massif karstique saturé).

Cette lame d'eau est venue inonder le lotissement où une hauteur d'eau de l'ordre de 1 m à 1,5 m a été observée à l'amont de la RD26. On notera que certaines habitations situées en rive droite du ruisseau des Vayorces et aménagées dans l'ancien lit du cours d'eau ont également été inondées par une lame d'eau d'une quinzaine de centimètres. Le chemin du Four à Chaux, longeant le lotissement a vu s'écouler une lame d'eau de 0,2 à 0,5 m en direction de la RD26.

Elle est ensuite passée par-dessus la RD26 l'inondant sous une hauteur d'eau de 0,5 à 0,7 m au point bas avant de s'écouler majoritairement en rive droite du Nizon sans toutefois atteindre les habitations qui s'y trouvent.

Une partie de l'ancien moulin situé plus en aval, en rive gauche du Nizon et en amont du chemin de la Condamine, a également été inondée.

On notera enfin le débordement du ruisseau de Chantegrillet dès l'amont au niveau du chemin des Mouillères. Dans un premier temps, la lame d'eau s'est propagée en rive gauche inondant plusieurs habitations avant de traverser la rue de Saint Laurent à l'amont du Cimetière.

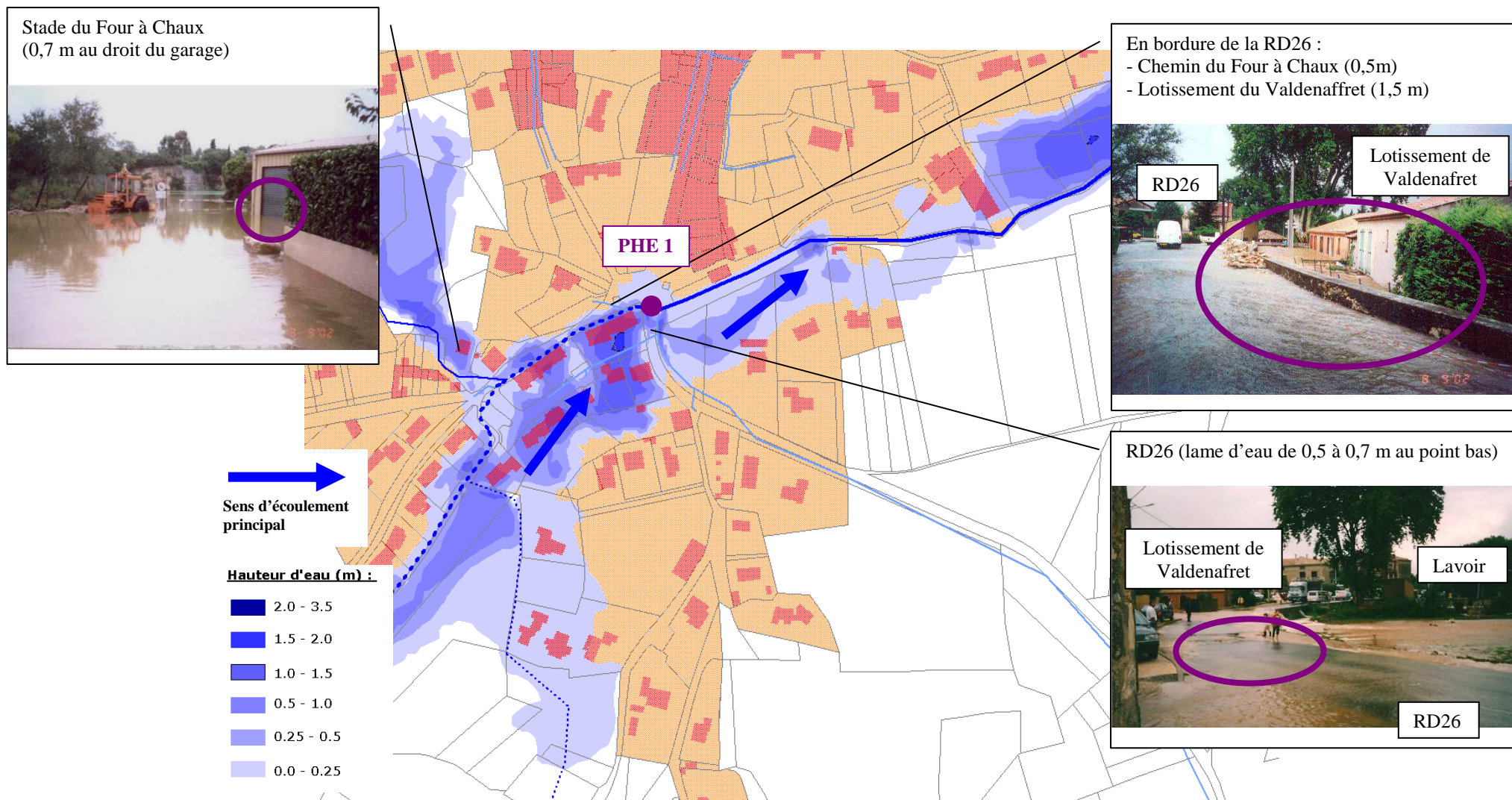


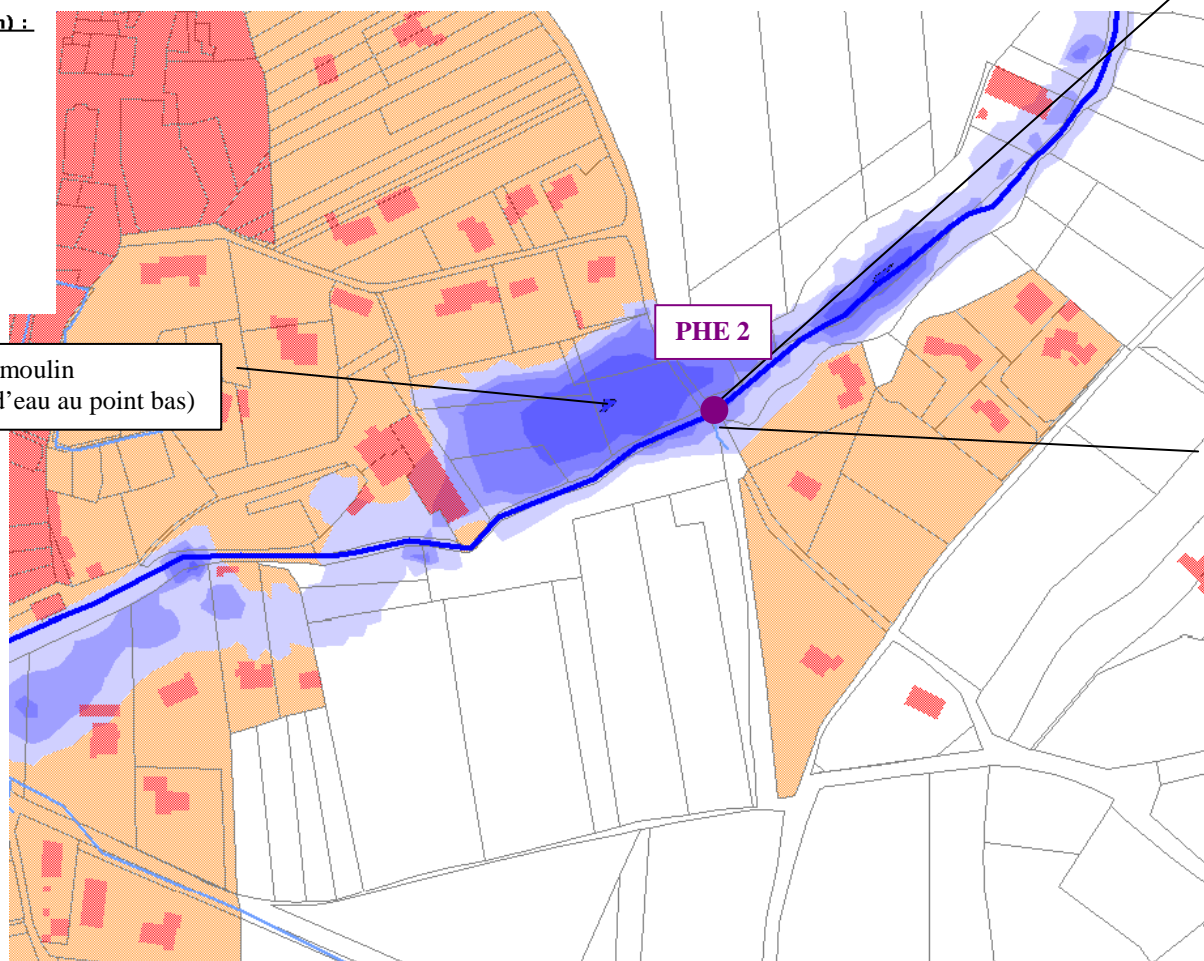
Illustration 23 : Crue de septembre 2002 – secteur du lotissement de Valdenafret

**Hauteur d'eau (m) :**

- 2.0 - 3.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- 0.25 - 0.5
- 0.0 - 0.25

Ancien moulin  
(1,4 m d'eau au point bas)

PHE 2



Débordement du Nizon par-dessus le Chemin de la Condamine (1,5 m d'eau environ)



Hauteur de 0,5 m environ atteinte au niveau du portique de la propriété



Illustration 24 : Crue de septembre 2002 – secteur du chemin de la Condamine

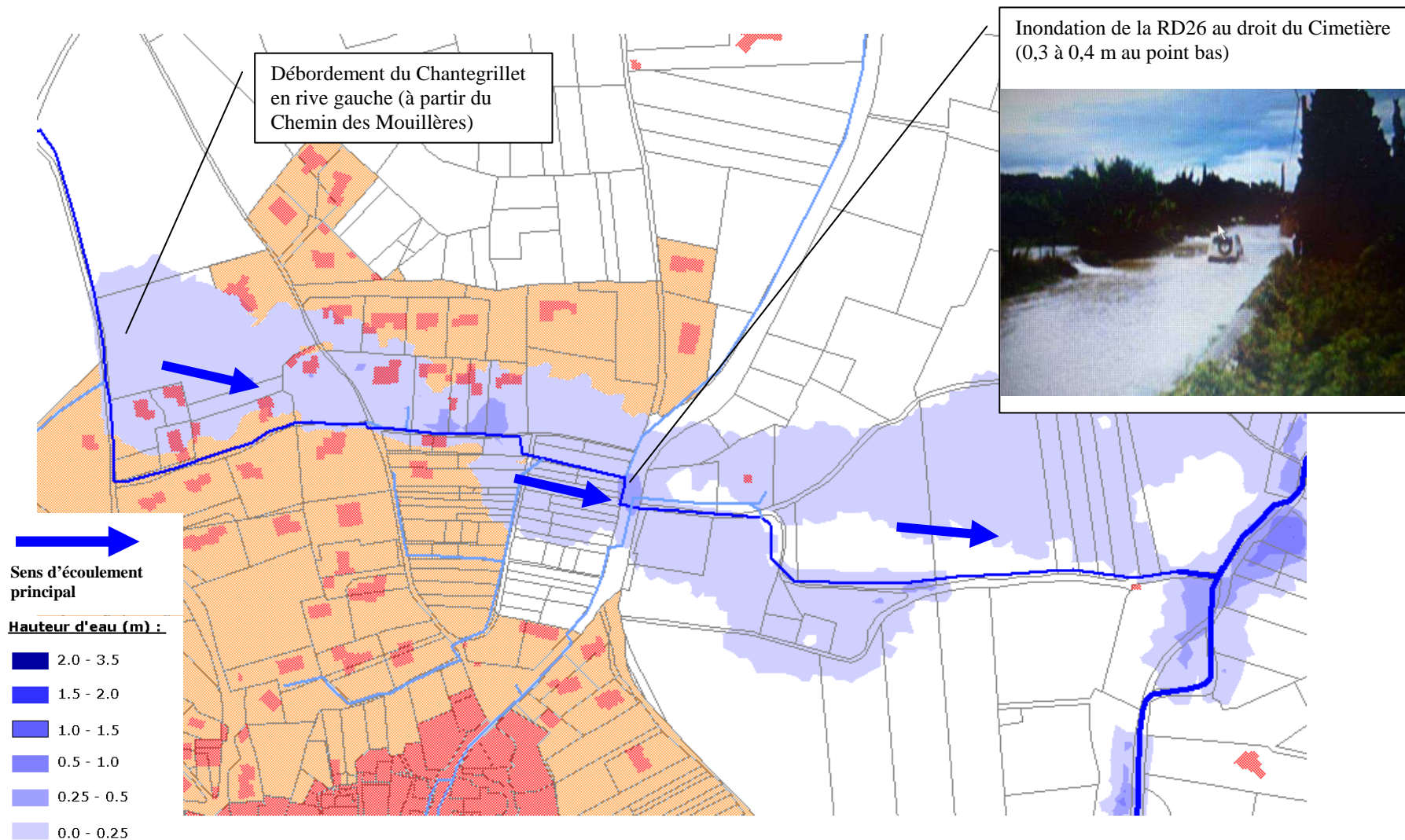


Illustration 25 : Crue de septembre 2002 – secteur du Chantegrillet

## CARTES D'ALÉAS POUR LES CRUES DE PROJETS DÉCENNALE, TRENTENNALE ET CENTENNALE

### 7.1 Crue de projet centennale

Voir annexe 8 – carte 8b : Crue de projet centennale

L'emprise de la crue de projet centennale est plus importante que celle de la crue de septembre 2002.

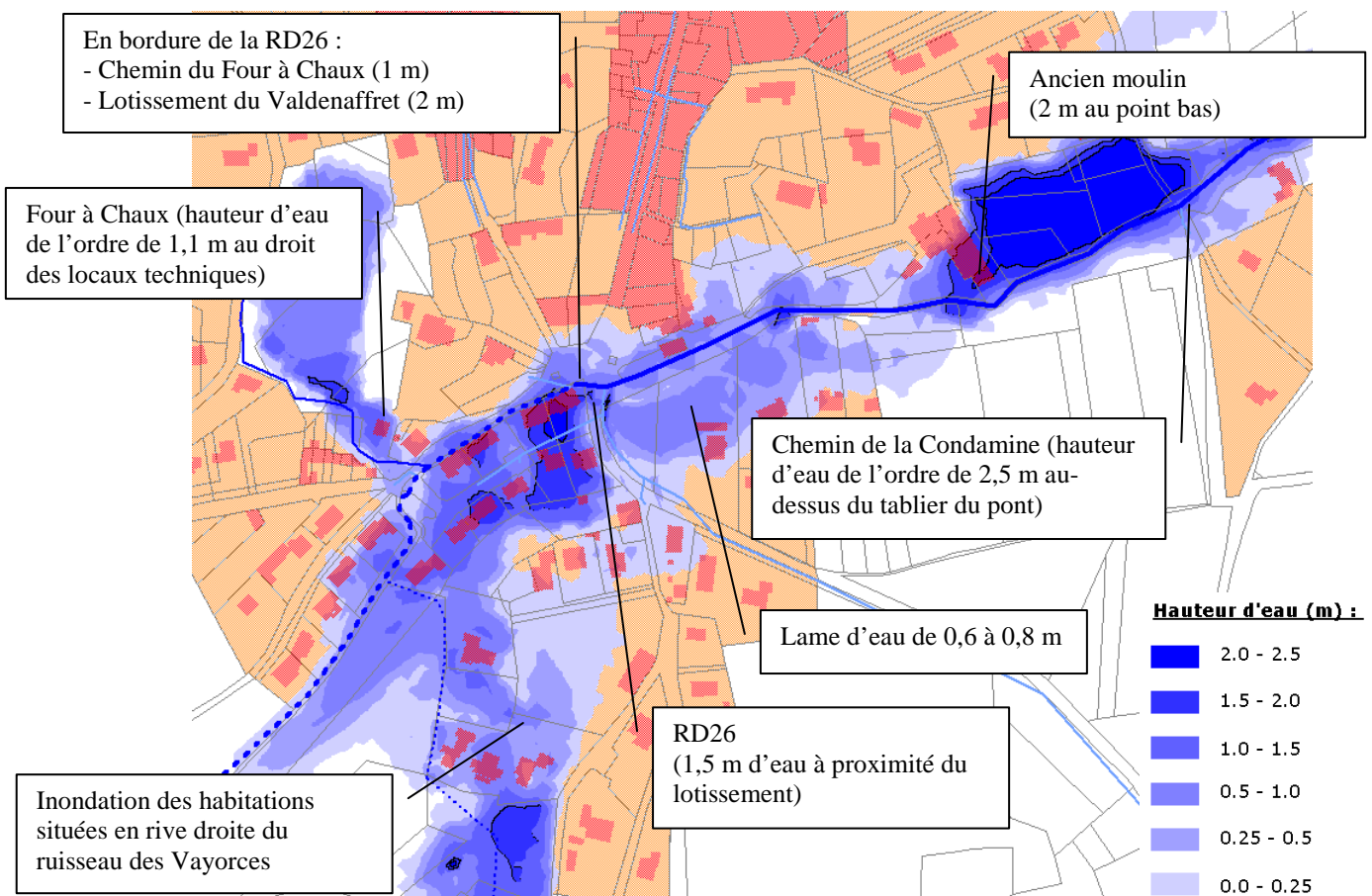


Illustration 26 : Crue de projet centennale – secteur du lotissement de Valdenaffret

On notera l'inondation des habitations situées en rive droite du ruisseau des Vayorces, conjuguée avec une extension plus large du champ d'inondation en rive droite du ruisseau du Nizon.

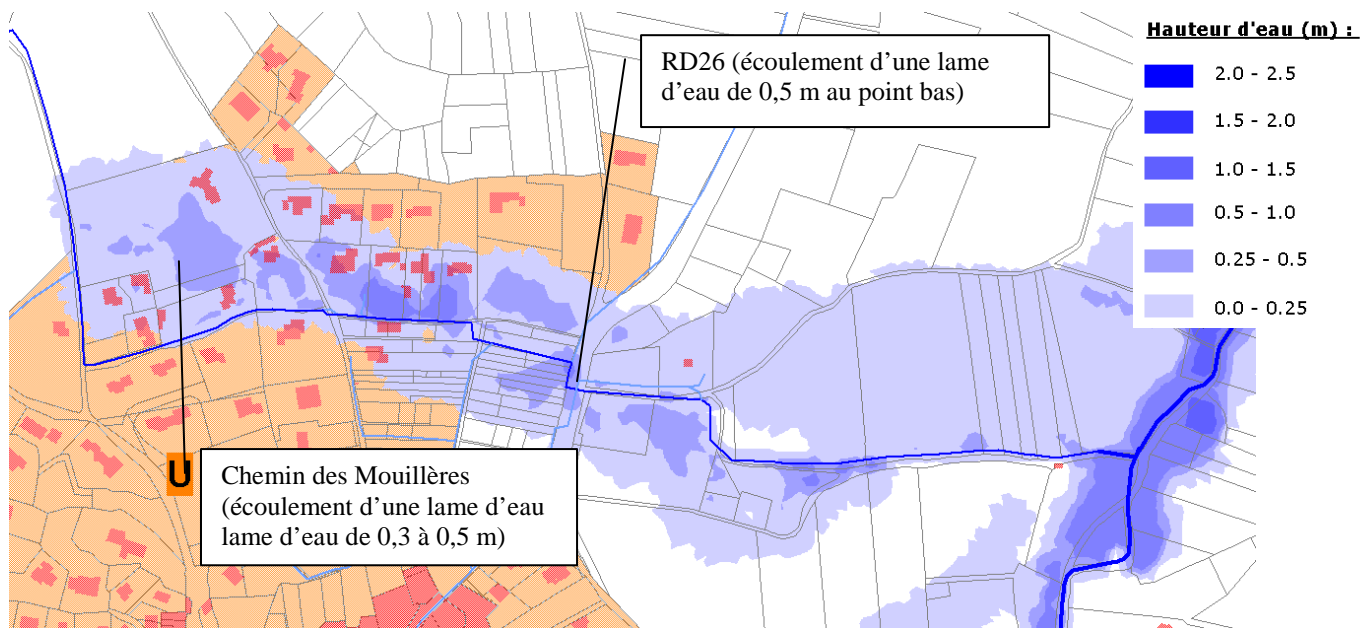
Les hauteurs d'eau atteignent 1,1 m au droit du garage des services techniques situé au niveau du stade du Four à Chaux. Elles sont de l'ordre de 1 m au niveau du chemin du Four à Chaux en direction de la RD26.

Au droit du lotissement de Valdenaffret, on observe des hauteurs d'eau dépassant 1 m et pouvant atteindre 2 m en certains endroits.

La lame d'eau surversant par-dessus la RD26 atteint 1,5 m en son point bas avant de s'écouler majoritairement en rive droite du Nizon.

L'ancien moulin situé plus en aval, en rive gauche du Nizon et en amont du chemin de la Condamine est totalement sous eau, avec des hauteurs pouvant atteindre 2 m. Les débordements du Nizon au droit du chemin de la Condamine atteignent même des hauteurs de 2,5 m au-dessus du tablier du pont.

On notera enfin l'emprise plus importante des débordements du ruisseau de Chantegrillet avec des hauteurs d'eau observées plus importantes, notamment au droit de la rue de Saint Laurent où celles-ci atteignent 0,5 m.



**Illustration 27 : Crue de projet centennale – secteur du Chantegrillet**

*Voir annexe 6 : Résultats de la modélisation au droit des différents profils du modèle*



## 7.2 Crue de projet trentennale

Voir annexe 8 – carte 8c : Crue de projet trentennale

L'emprise de l'aléa inondation se réduit sensiblement avec des hauteurs observées nettement plus faibles que dans le cas d'une crue centennale.

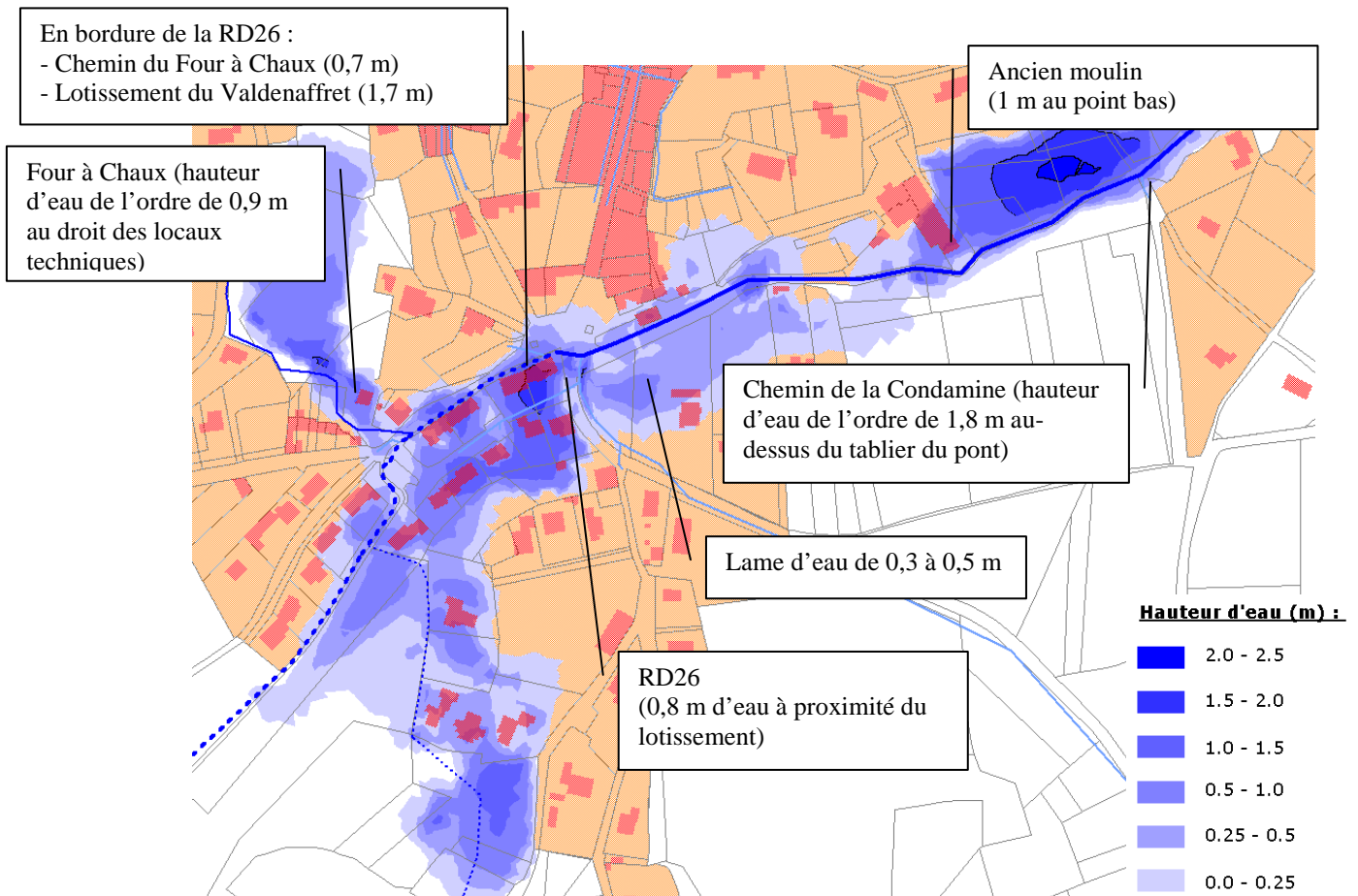


Illustration 28 : Crue de projet trentennale – secteur du Valdenaffret

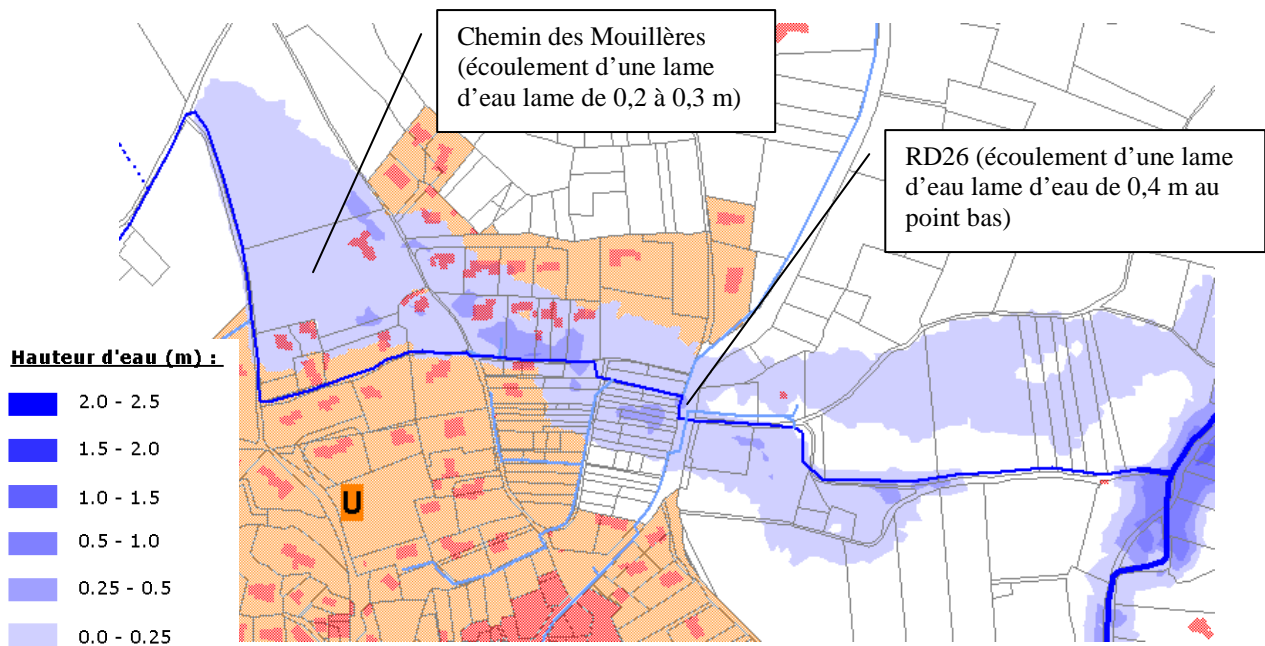
Les hauteurs d'eau atteignent 0,9 m au droit du garage des services techniques situé au niveau du stade du Four à Chaux. Elles sont de l'ordre de 0,7 m au niveau du chemin du Four à Chaux en direction de la RD26.

Au droit du lotissement de Valdenaffret, les hauteurs d'eau atteignent 1,7 m au point bas. La lame d'eau surversant par-dessus la RD26 peut encore atteindre 0,8 m.

L'ancien moulin situé plus en aval, en rive gauche du Nizon et en amont du chemin de la Condamine n'est plus que partiellement inondé, avec des hauteurs de l'ordre de

1 m. Les débordements du Nizon au droit du chemin de la Condamine atteignent encore 1,8 m au-dessus du tablier du pont.

On notera enfin l'emprise plus faible des débordements du ruisseau de Chantegrillet avec des hauteurs d'eau observées plus limitées, notamment au droit de la rue de Saint Laurent où celles-ci atteignent 0,4 m.



**Illustration 29 : Crue de projet trentennale – secteur du Chantegrillet**

*Voir annexe 6 : Résultats de la modélisation au droit des différents profils du modèle*

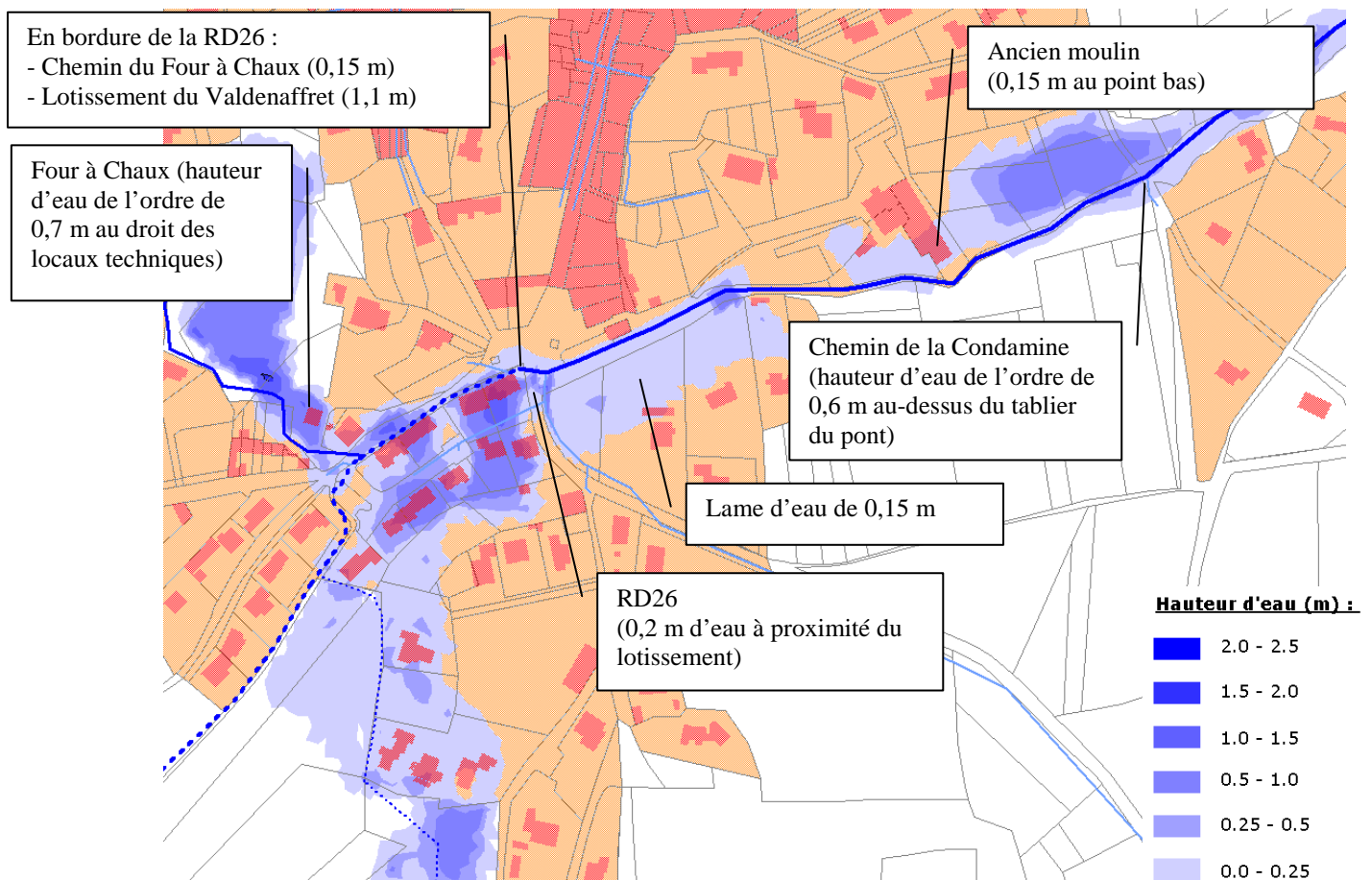
## 7.3 Crue de projet décennale

*Voir annexe 8 – carte 8d : Crue de projet décennale*

Les débits plus faibles dans le cas d'une crue décennale impliquent une nette diminution de l'aléa inondation de même que des hauteurs d'eau observées.

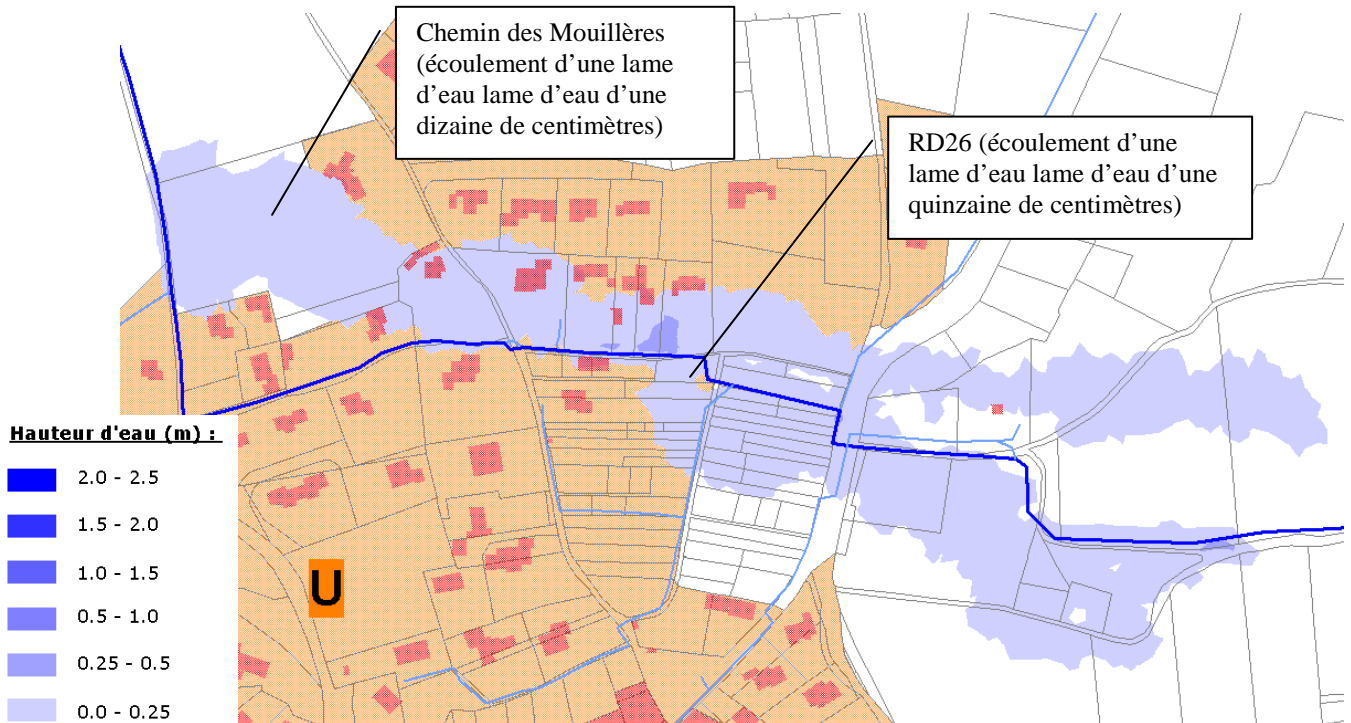
Les secteurs du Four à Chaux et du lotissement de Valdenaffret restent toujours sensibles aux risques d'inondation de même que les habitations situées en rive droite du ruisseau des Vayorces.

Des débordements s'observent encore également au droit de la RD26 ainsi qu'au niveau du chemin de la Condamine.



**Illustration 30 : Crue de projet décennale – secteur du Valdenaffret**

Le secteur du Chantegrillet reste également sensible aux risques d'inondation par ruissellement et débordement du cours d'eau. La hauteur de la lame d'eau ruisselée n'est toutefois plus que de l'ordre d'une dizaine de centimètres.



**Illustration 31 : Crue de projet décennale – secteur du Chantegrillet**

*Voir annexe 6 : Résultats de la modélisation au droit des différents profils du modèle*

## 8

## DÉTERMINATION DE L'ALÉA INONDATION POUR LA CRUE DE RÉFÉRENCE

Si l'on compare les débits maximum des crues de projets avec ceux générés par le second pic de pluie du 09 septembre 2002, on observe que ces derniers sont légèrement inférieurs aux débits de projet trentennaux. Ceci est à mettre en relation avec l'étude de l'événement pluvieux réalisée précédemment.

*Voir point 2.2 : Description hydrologique de l'événement de 2002*

Tant en terme d'emprise que de hauteurs d'eau, la crue de septembre 2002 a généré moins d'impact que ne le ferait une crue de projet centennale.

**Au final, il a été décidé de retenir la crue de projet centennale comme crue de référence.**

La carte 8e surimpose les limites de l'aléa inondation défini par approche hydrogéomorphologique avec celles définies dans le cadre d'une crue de projet centennale.

*Voir annexe 8 – carte 8e : Crue de référence*

Nous sommes ainsi en mesure de préciser les différentes limites de l'aléa inondation et classes de hauteurs d'eau telles que définies au sens PPR, à savoir :

- ✓ aléa résiduel : représentant les zones situées entre les limites de l'aléa centennal et l'aléa hydrogéomorphologique ;
- ✓ aléa faible : hauteurs d'eau comprises entre 0 et 0,5 m ;
- ✓ aléa fort : hauteurs d'eau supérieures à 0,5 m.

A titre de comparaison nous avons joint en annexe la carte d'aléa réalisée en 1999 par le bureau SIEE. L'emprise de l'aléa centennal est sensiblement identique à celui que nous avons présenté dans ce rapport. Les débordements de la Combe des Vayorces au droit du lotissement du Valdenaffret n'avaient toutefois pas été pris en compte à l'époque.

*Voir annexe 7 : Cartographie des zones inondables réalisée par SIEE en 1999*

Les enjeux ponctuels localisés en zone inondable sont limités. Ils concernent les sites suivants :

- 1 **transformateur** situé le long de la RD26 au droit du lavoir – repris en zone d'**aléa fort** ;
- Le **garage des services techniques** de la mairie situé dans le quartier du Four à Chaux – repris en zone d'**aléa fort** ;
- Le **cimetière** situé en rive gauche du Chantegrillet, en bordure de la RD26 – repris en zone d'**aléa faible** ;
- **L'école primaire et la cave coopérative** sont pour leur part repris en zone d'**aléa résiduel**.