



SAINT-MARC-JAUMEGARDE SCHEMA DIRECTEUR D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL

Phase 3: Modélisation et Analyse

IDENTIFICATION



INGÉROP Conseil et Ingénierie

Agence de Aix-en-Provence - Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laënnec - Hall B - BP 20056 - F-13545 Aix-en-Provence cedex 4
Tél. : (33)4 42 50 83 00 - N° Siret 489 626 135 00250 - ingerop.aix@ingerop.com - ingerop.fr
Siège Social : 18 rue des deux gares - CS 70081 - F-92563 Rueil-Malmaison Cedex
S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 896 261 35



GESTION DE LA QUALITE

Version	Date	Intitulé	Rédaction	Lecture	Validation
1	29/07/2016	Phase 3	AGT	SH	SH
2	02/03/2017	Phase 3	AGT	SH	SH

OBSERVATIONS SUR L'UTILISATION DU RAPPORT

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents et toutes autres pièces annexées, constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de la société INGEROP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

La société INGEROP n'est pas responsable de la vérification de la véracité des informations transmises, à l'exception de celles normalement décelables par l'homme de l'art, et celles pour lesquelles le Client a exigé une analyse spécifique.





SOMMAIRE

1	RAPPEL DU CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE	8
2	ENQUETE PREALABLE	10
3	ANALYSE HYDRAULIQUE GLOBALE DU SITE	13
3.1	DONNEES PLUVIOMETRIQUES	13
3.2	CONTEXTE HYDRAULIQUE	14
4	DIAGNOSTIC QUANTITATIF DES ECOULEMENTS : ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	16
4.1	ANALYSE HYDROLOGIQUE	16
4.1.1	Modele pluie-débit	16
4.1.1.1	Présentation générale du modèle pluie-débit	16
4.1.1.2	Description des sous-bassins versants	16
4.1.2	Définition des pluies de projet	20
4.1.3	Résultats de la modélisation pluie-débit	21
4.2	MODELISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU PLUVIAL	21
4.2.1	Généralités	21
4.2.1.1	Caractéristiques du réseau pluvial	21
4.2.1.2	Limites du modèle hydraulique	22
4.2.2	Présentation du modèle	22
4.2.2.1	Délimitation du modèle	22
4.2.2.2	Adaptation du modèle pour la gestion des débordements	23
4.3	RESULTATS DE LA MODELISATION – DIAGNOSTIC DU RESEAU EXISTANT	24
4.3.1	Cartographie des résultats	24
4.3.2	Principaux désordres ressortant des simulations	25
4.3.2.1	Croisement RD10 / route du plan de Lorgue	25
4.3.2.2	Chemin du Vallon de Keyrie	26
4.3.2.3	Secteur Mas du Cris / quartier les Provence	27
4.3.3	Diagnostic de l'ouvrage de regulation des débits	28
4.3.4	Bilan des rejets aux exutoires	30

5 PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	31
5.1 GENERALITES	31
5.2 PRESENTATION DES AMENAGEMENTS PROPOSES	31
5.2.1 Croisement entre RD10 et route du Plan de Lorgue	32
5.2.2 Chemin du vallon de Keyrie	33
5.2.3 Secteur du mas du cris (quartier les Provinces)	34
6 CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE	36
6.1 MOYENS UTILISES	36
6.2 PRINCIPE ET RESUME DE L'APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE	36
6.3 VALIDITE, INTERETS ET LIMITES DE L'APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE	41
6.4 PRINCIPES DE TRANSCRIPTION DE LA CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE EN CARTE D'ALEAS A DIRE D'EXPERT	43
6.5 RESULTATS	47
6.5.1 Contexte	47
6.5.2 Commentaire de carte, points particuliers	47
6.6 CROISEMENT ALEAS/ENJEUX	49
7 MODELISATION HYDRAULIQUE DU PRIGNON	50
7.1 DEBITS DE REFERENCE	50
7.2 MODELISATION DES ECOULEMENTS	51
7.2.1 Méthodologie générale	52
7.2.2 Données topographiques	52
7.2.2.1 Modèles numériques de terrain	52
7.2.2.2 Levés terrestres	52
7.3 CONSTRUCTION DU MODELE	52
7.3.1 Modèle 1D – Lit mineur et lit majeur	52
7.3.2 Coefficient de rugosité	53
7.3.3 Conditions aux limites	54
7.3.3.1 Condition amont	54
7.3.3.2 Condition aval	54



7.4	RESULTATS DES SIMULATIONS	54
7.5	CARTOGRAPHIE DES ALEAS	54
8	ANNEXE 1 : DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS	56
9	ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS	58
10	ANNEXE 3 : DEBITS DE POINTE DES SOUS-BASSINS VERSANTS	62
11	ANNEXE 4 : RESULTATS DES MODELISATIONS A L'ETAT ACTUEL DU RESEAU	66
12	ANNEXE 5 : NOTICE SIG	68
13	ANNEXE 6 : LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS DU PRIGNON	70
14	ANNEXE 7 : COTES DE REFERENCE – RUISSEAU DU PRIGNON – CRUE CENTENNALE	74
15	ANNEXE 8 : CARTE DES ALEAS INONDATIONS PAR RUISSELLEMENT OU DEBORDEMENT DE COURS D'EAU	76



LISTE DES FIGURES

Fig. 1 :	Configuration du cours d'eau sur le secteur du Mas du Cris	11
Fig. 2 :	Réduction de section du cours d'eau	12
Fig. 3 :	Réseau superficiel principal	15
Fig. 4 :	Carte des bassins versants étudiés	17
Fig. 5 :	Coefficients de ruissellement à l'état actuel d'urbanisation	19
Fig. 6 :	Hyétogrammes des pluies de projet	21
Fig. 7 :	Synoptique du réseau pluvial modélisé	23
Fig. 8 :	Extrait de la cartographie des résultats de la modélisation hydraulique.....	24
Fig. 9 :	Croisement entre la RD10 et la route du Plan de Lorgue.....	26
Fig. 10 :	Chemin du vallon de Keyrie.....	27
Fig. 11 :	Vue aérienne au niveau du giratoire et de l'ouvrage de régulation.....	28
Fig. 12 :	Arrivée du DN1200 en amont de l'ouvrage de régulation	29
Fig. 13 :	Ouvrage de régulation au niveau du giratoire	29
Fig. 14 :	Réseau proposé au croisement RD10 / route du Plan de Lorgue	32
Fig. 15 :	Profil en long du nouveau réseau proposé.....	33
Fig. 16 :	Réseau proposé au chemin du vallon de Keyrie.....	34
Fig. 17 :	Réseau proposé au Mas du Cris	35
Fig. 18 :	Représentation schématique de l'étagement normal des unités hydrogéomorphologiques	38
Fig. 19 :	Paysage de badlands (cliché S. David).....	41
Fig. 20 :	Grille d'aléa.....	45
Fig. 21 :	Carte de localisation des points de calculs sommaires.....	46
Fig. 22 :	Projet de zonage PLU à la date de réalisation de l'étude	49
Fig. 23 :	Localisation des secteurs à enjeux	50
Fig. 24 :	Aléa de référence – Source DDTM 13	54
Fig. 25 :	Localisation des profils en travers sur le secteur Les Savoyards / Mas du Cris	71
Fig. 26 :	Localisation des profils en travers sur le secteur le Petit Prignon / Les Trois Bons Dieux ..	72



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Précipitations maximales journalières en mm (station d'Aix-en-Provence – période d'observation : 1979 – 2009 / Schéma pluvial d'Aix-en-Provence)..... 13

Tableau 2 : Caractéristiques des principaux-bassins versants 17

Tableau 3 : Bilan des rejets aux exutoires 30

Tableau 4 : Caractéristiques et débits du Prignon 51

Tableau 5 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur 53

Tableau 6 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur 53





1 RAPPEL DU CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

La commune de Saint-Marc-Jaumegarde peut connaître, comme beaucoup de communes de l'arc Méditerranéen, des problèmes d'assainissement pluvial liés aux phénomènes pluvieux intenses sur des sols de plus en plus imperméabilisés du fait de l'urbanisation.

Dans le cadre de l'élaboration de son PLU, de la maîtrise du ruissellement pluvial et de la lutte contre la pollution apportée par ces eaux, la commune souhaite réaliser un schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales. Les prescriptions issues de cette étude seront ensuite intégrées dans le règlement du PLU.

Pour cela il s'agira de :

- Réaliser un recensement et une cartographie des réseaux de collecte des eaux pluviales,
- Diagnostiquer le fonctionnement des réseaux, l'origine des débordements ou des dysfonctionnements constatés,
- Prévoir et maîtriser l'impact du ruissellement urbain afin d'assurer la continuité de l'urbanisation, sans risque pour les personnes et les biens,
- Evaluer la faisabilité et proposer un programme chiffré de travaux afin d'améliorer l'existant et contrôler l'urbanisation future tant sur les aspects quantitatifs que qualitatifs,
- Cartographier les zones inondables de la commune,
- Proposer un zonage pluvial sur l'ensemble du territoire urbanisé ou urbanisable de la commune.

L'étude demandée a pour but de proposer aux élus un programme de travaux permettant une mise à niveau du réseau pluvial et un schéma directeur d'assainissement pluvial avec zonage du territoire communal au sens de l'article 35 de la Loi sur l'Eau et de l'article L2224-10 du Code général des collectivités territoriales, de définir à l'intérieur de chaque unité identifiée les solutions techniques les mieux adaptées à la gestion des eaux pluviales.

L'étude se déroule en 4 phases :

Phase 1 : Recueil des données

- Recueil des données existantes,
- Etablissement d'un plan des réseaux d'eaux pluviales,
- Analyse hydraulique globale de la zone,
- Pré-diagnostic du système d'assainissement pluvial.



Phase 2 : Mesures et tests

- Recensement des sources potentielles de pollutions (chroniques et accidentelles) du milieu,
- Evaluation des sources de pollutions par temps sec et par temps de pluie.

Phase 3 : Modélisation et analyse

- Identification des bassins versants et simulation des écoulements,
- Diagnostic des points noirs et des points de débordement du réseau pluvial,
- Simulation des écoulements dans les cours d'eau à enjeux,
- Analyse hydrogéomorphologique du site.

Phase 4 : Programmation et zonage

- Orientations pour l'amélioration et extensions futures du réseau d'assainissement pluvial,
- Dimensionnement des ouvrages préconisés,
- Etablissement du schéma directeur et du zonage pluvial.

La présente note constitue le rapport phase 3.



2 ENQUETE PREALABLE

Certains témoignages (maire, riverains....) retranscrivent des dysfonctionnements sur certains secteurs de la commune.

Secteur Mas du Cri (quartier les Provenances): Le cours d'eau du Prignon traverse des parcelles habitées au Sud de la RD10 (parcelles de M. Bernard et de M. Postou). Sur ce secteur, les habitations ont déjà subi des inondations. Un merlon a été réalisé le long de la RD10 et en amont des habitations dans l'objectif de réduire ce risque. A noter cependant que ce merlon, étant donné sa position et configuration, ne peut intercepter que les ruissellements provenant de la RD10 et non les eaux du Prignon en lui-même.

A noter également que la parcelle dite de M. Bernard concerne les parcelles cadastrales suivantes :

- AE0122
- AE0124
- AE0129
- AE0133

La parcelle dite de M. Postou concerne les parcelles cadastrales suivantes :

- AE0176
- AE0123
- AE0132
- AE0181
- AE0178

Le cours d'eau est busé en partie par une canalisation DN800mm sur la parcelle de M. Bernard. Il est ensuite busé une nouvelle fois par une canalisation DN400mm sur la propriété de M. Postou. Cette buse est précédée d'une grille. D'après M. Bernard, les inondations sont fréquentes au niveau de cette réduction de section.

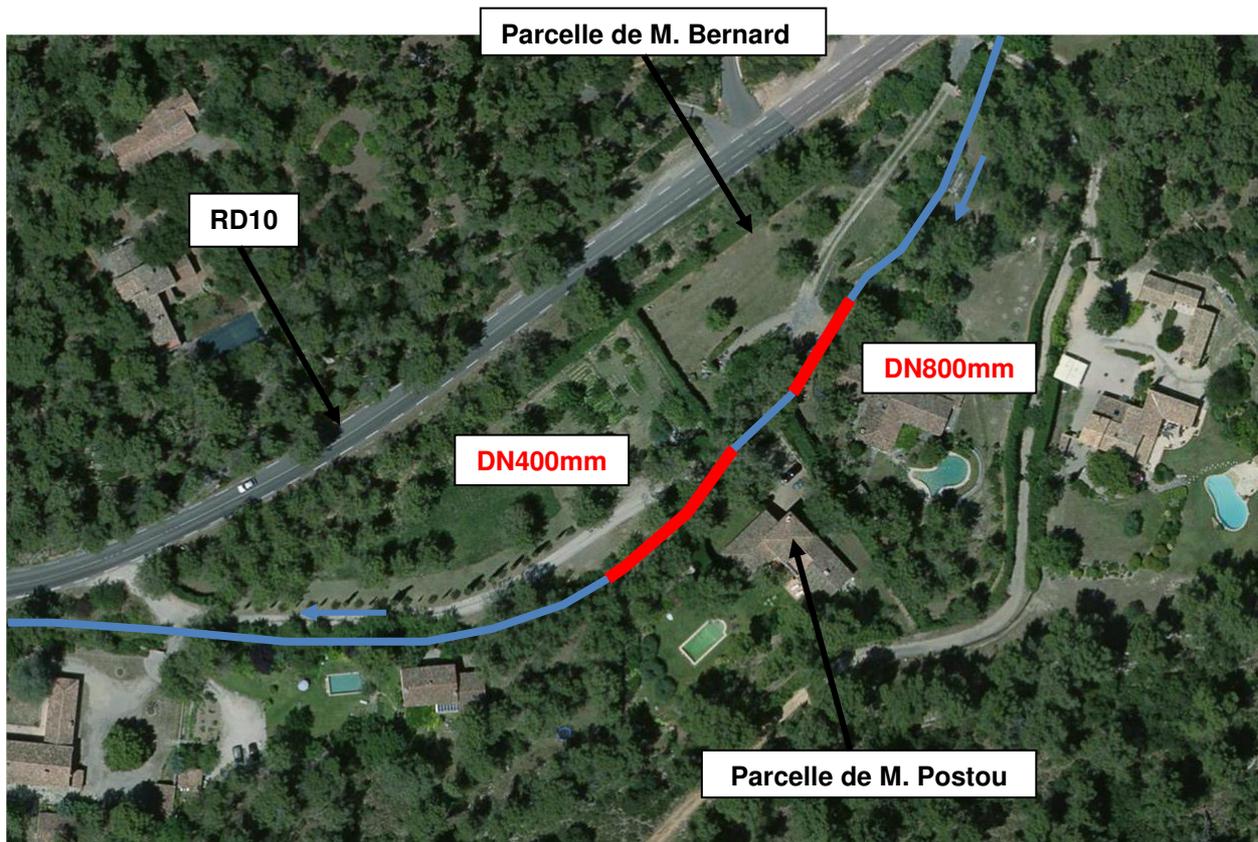


Fig. 1 : Configuration du cours d'eau sur le secteur du Mas du Cris



Fig. 2 : Réduction de section du cours d'eau

Chemin du vallon de Keyrie : le chemin est situé sur un axe d'écoulement et draine des écoulements de part et d'autres de la voie. Des problèmes de ruissellement à ce niveau ont été repérés.

Chemin de la Garenne (coté chemin des Savoyards) : des problèmes de ruissellement ont été notés à ce niveau par la passé.

Quartier des Bonfillons : des problèmes de ruissellement ont été notés au niveau du chemin de l'infernet.

Chemin du Plan de Lorgue : des problèmes de ruissellement ont été notés en amont de ce chemin.

3 ANALYSE HYDRAULIQUE GLOBALE DU SITE

3.1 DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Le secteur d'étude est situé dans une région dont le climat est méditerranéen : les fréquentes sécheresses estivales et les orages très violents en sont les traits les plus connus.

Les pluies (au regard de la lame d'eau annuellement précipitée) sont relativement peu abondantes, de l'ordre de 600 mm par an en moyenne, et réparties sur une soixantaine de jours. Elles sont très irrégulières tant d'un mois à l'autre que d'une année à l'autre.

Les principaux apports proviennent de violentes averses à la fin de l'été ou au début de l'automne. Le climat méditerranéen se caractérise en effet par l'existence de pluies localisées de très forte intensité (plus de 300 mm en quelques heures) qui provoquent souvent des inondations brèves et catastrophiques.

Les précipitations maximales sur des courtes durées (c'est à dire des pas de temps inférieurs à la journée) constituent des données fondamentales lorsqu'il s'agit de prévoir le comportement de petits bassins versants sensibles aux précipitations orageuses très intenses, mais d'assez courte durée.

Ces données peuvent être estimées à partir de rares postes d'observation équipés de pluviographes ou de stations automatiques permettant l'analyse des précipitations à des pas de temps inférieurs à la journée. Les stations pour lesquelles ces données sont accessibles ne sont pas toujours les plus représentatives du secteur d'étude (altitude, exposition), mais il est considéré que les ajustements statistiques donnés par la station météorologique d'Aix-en-Provence (Gallice) sont représentatives de la zone d'étude. Ces données pluviométriques ont été validées par les services instructeurs et ont été utilisées pour l'élaboration du schéma pluvial d'Aix-en-Provence.

Les quantiles de pluie sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Durée	Période de retour					
	2 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
6 min	12.3	14.6	17.4	19.4	21.0	23.7
15 min	18.1	24.4	29.6	33.0	37.3	44.7
30 min	24.2	36.0	44.3	49.3	57.8	72.0
1 h	28.7	51.5	64.6	73.7	89.4	116.2
2 h	34.8	60.8	84.0	100.3	121.5	164.5
3 h	39.0	67.0	90.5	107.0	128.0	170.6
6 h	47.3	79.1	102.6	119.6	140.1	181.6
12 h	57.5	93.4	116.5	133.6	153.3	193.3
24 h	69.8	110.4	132.1	149.3	167.8	205.7

Tableau 1 : Précipitations maximales journalières en mm (station d'Aix-en-Provence – période d'observation : 1979 – 2009 / Schéma pluvial d'Aix-en-Provence)



3.2 CONTEXTE HYDRAULIQUE

La majorité des vallons qui incisent le relief de la commune de Saint-Marc-Jaumegarde s'écoulent vers le Nord, dans des zones sans enjeux.

Deux axes d'écoulement sont recensés au sud, sur les secteurs plus urbanisés de la commune :

- A l'Est de la Mairie, un axe longe la RD10 puis la traverse avant de rejoindre la retenue du barrage de Bimont,
- A l'Ouest de la Mairie, le ruisseau de Prignon longe également la RD10 en direction d'Aix-en-Provence. Ce cours d'eau rejoint la Torse qui elle-même se jette dans l'Arc en aval du Pont des Trois Sautets.

Ces axes sont représentés sur la page suivante.



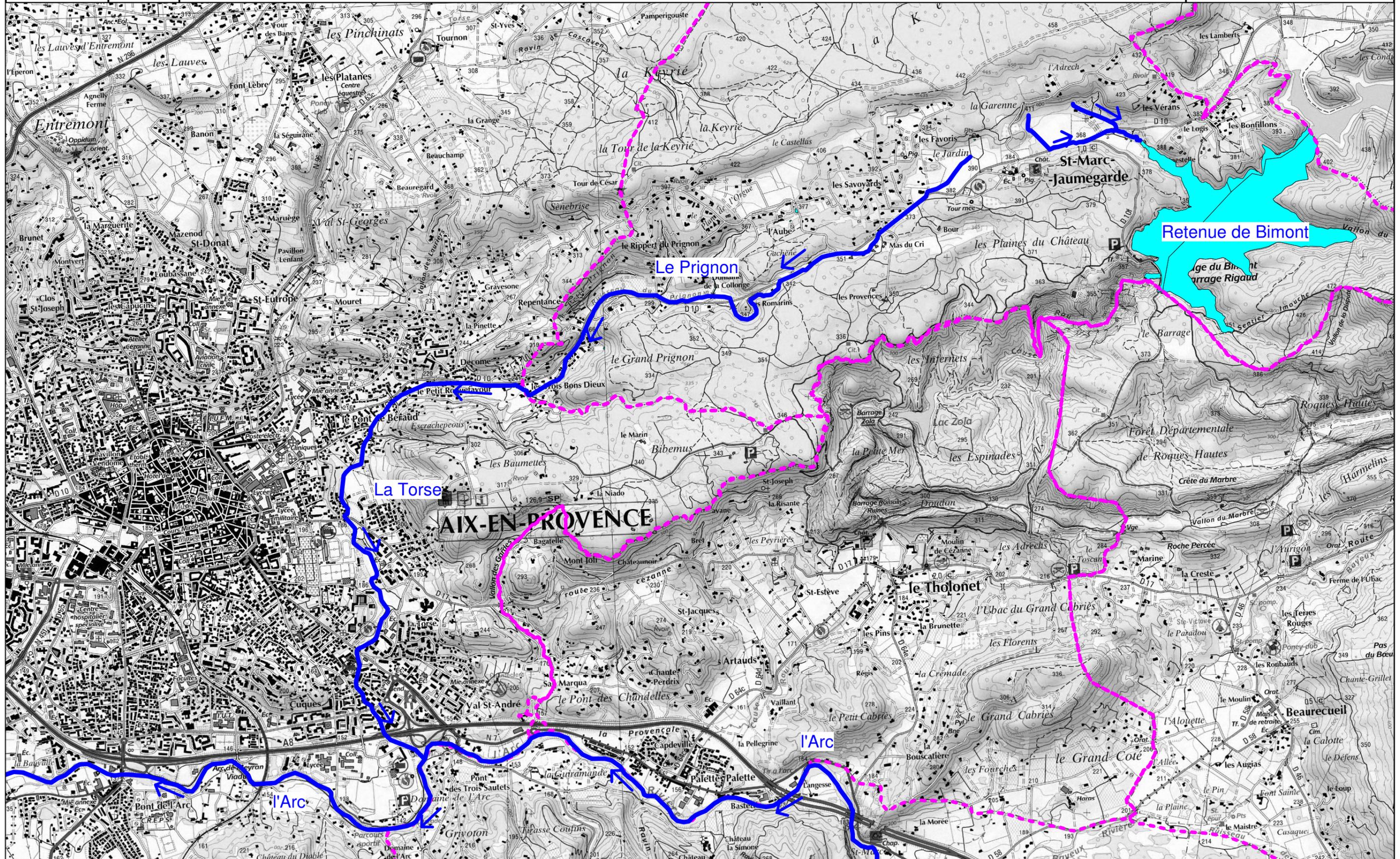
Schéma Eaux Pluviales de Saint-Marc-Jaumegarde

Réseau superficiel principal

Etude N° MM3391 - Avril 2016

Echelle : 1 / 25 000

Fond de plan : IGN



4 DIAGNOSTIC QUANTITATIF DES ECOULEMENTS : ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

4.1 ANALYSE HYDROLOGIQUE

4.1.1 MODELE PLUIE-DEBIT

L'analyse hydrologique a été réalisée à partir d'une modélisation de la transformation pluie-débit par le logiciel Mike-Urban développé par la société DHI.

Ce modèle permet de calculer les hydrogrammes générés par chaque sous-bassin versant de la zone d'étude.

4.1.1.1 Présentation générale du modèle pluie-débit

Le secteur est composé en majorité de bassins versant ruraux et de quartiers résidentiels épars, dont l'imperméabilisation est faible. La méthode de transformation pluie-débit utilisée est ainsi la méthode « aire-temps » qui consiste à faire évoluer dans le temps le pourcentage de la surface du bassin versant contribuant au ruissellement à l'exutoire, en fonction de la forme du bassin versant. Les paramètres utilisés pour cette méthode sont :

- la surface
- le coefficient de ruissellement
- le temps de concentration
- la courbe aire-temps
- Les pertes initiales par infiltration
- Un coefficient de réduction, coefficient global de pertes (par micro-stockage, évaporation,...)

4.1.1.2 Description des sous-bassins versants

La zone d'étude, représentant une superficie d'environ 453 ha, a été découpée en 102 sous-bassins versants en fonction :

- De la topographie (à partir de l'IGN 1/25000 et du MNT),
- De la structure du réseau pluvial,
- De la connaissance du fonctionnement hydrologique du secteur.

Le découpage en sous-bassins versants est présenté en annexe 1, ainsi que les caractéristiques de chaque sous-bassin versant en annexe 2.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques hydrologiques par grands bassins versants considérés dans le modèle hydraulique présenté par la suite.

Dénomination	Exutoire	Surface (ha)	Nombre de sous bassins versants	Taille moyenne des sous bassins versants (ha)	Pente moyenne (%)	Coefficient de ruissellement moyen (%)	
						T = 10 ans	T = 100 ans
Bimont	Retenue du barrage de Bimont	94	24	3.9	11.4	19	34
Prignon	Cours d'eau du Prignon	359	78	4.6	11.9	24	38

Tableau 2 : Caractéristiques des principaux-bassins versants

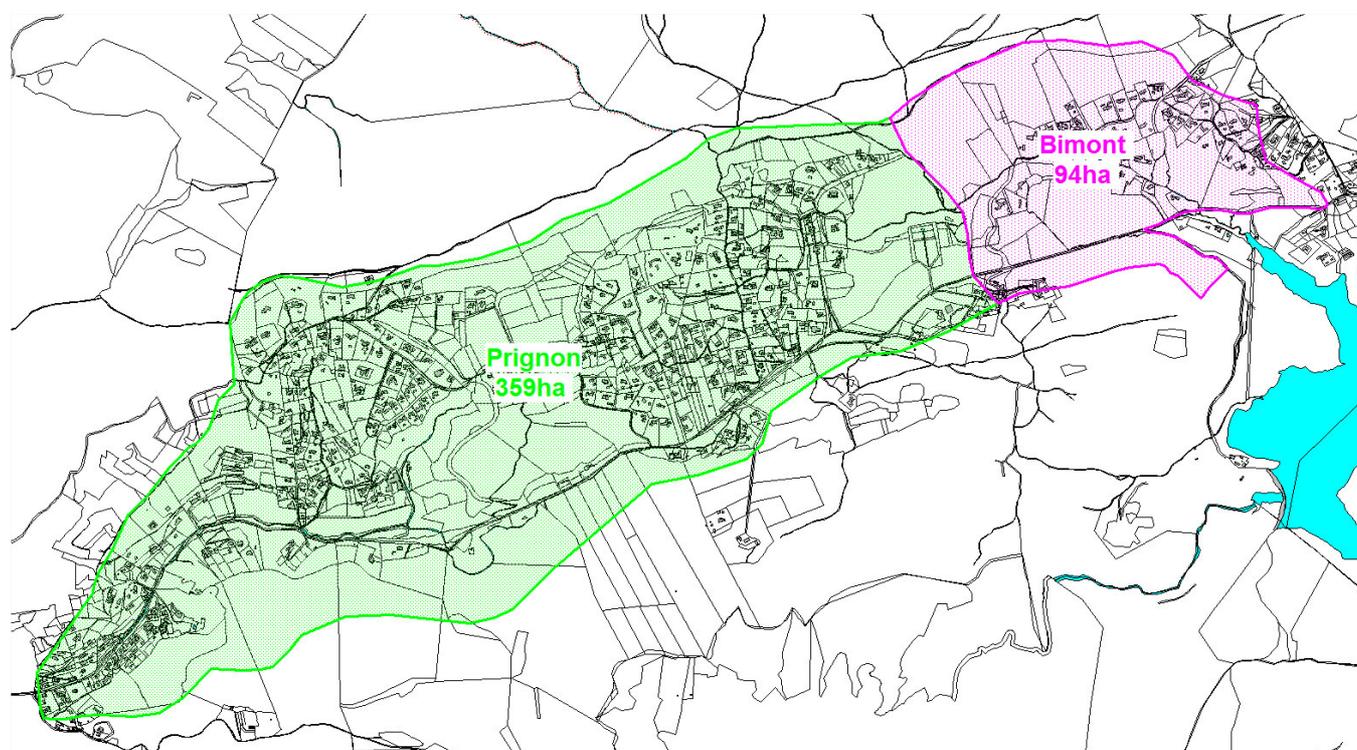


Fig. 4 : Carte des bassins versants étudiés

Les caractéristiques géomorphologique des sous-bassins versants ont été déterminées à l'aide d'un outil SIG (Mapinfo) :

- surface : calculée sur SIG
- longueur : tracée manuellement selon la topographie puis mesurée sur SIG
- pente moyenne : calculée sur SIG à partir des altitudes des points hauts et bas déterminées à partir du MNT



Le temps de concentration a été calculé en fonction de la vitesse des écoulements sur le plus long chemin hydraulique.

Les coefficients de ruissellement des sous-bassins versants ont été calculés de la manière suivante :

- l'application d'un coefficient de 100% sur les surfaces de toitures (issues du cadastre),
- l'application d'un coefficient de 90 % pour l'occurrence 10 ans et 100 % pour l'occurrence 100ans sur les surfaces des principales voiries (extraites des vues aériennes),
- l'application d'un coefficient de ruissellement au reste du sous-bassin versant ; ce coefficient de ruissellement est issu d'un découpage du secteur d'étude en zones d'occupation du sol considérées comme uniformes.

Le zonage d'occupation du sol est basé sur la reconnaissance du terrain et l'observation des photographies aériennes.

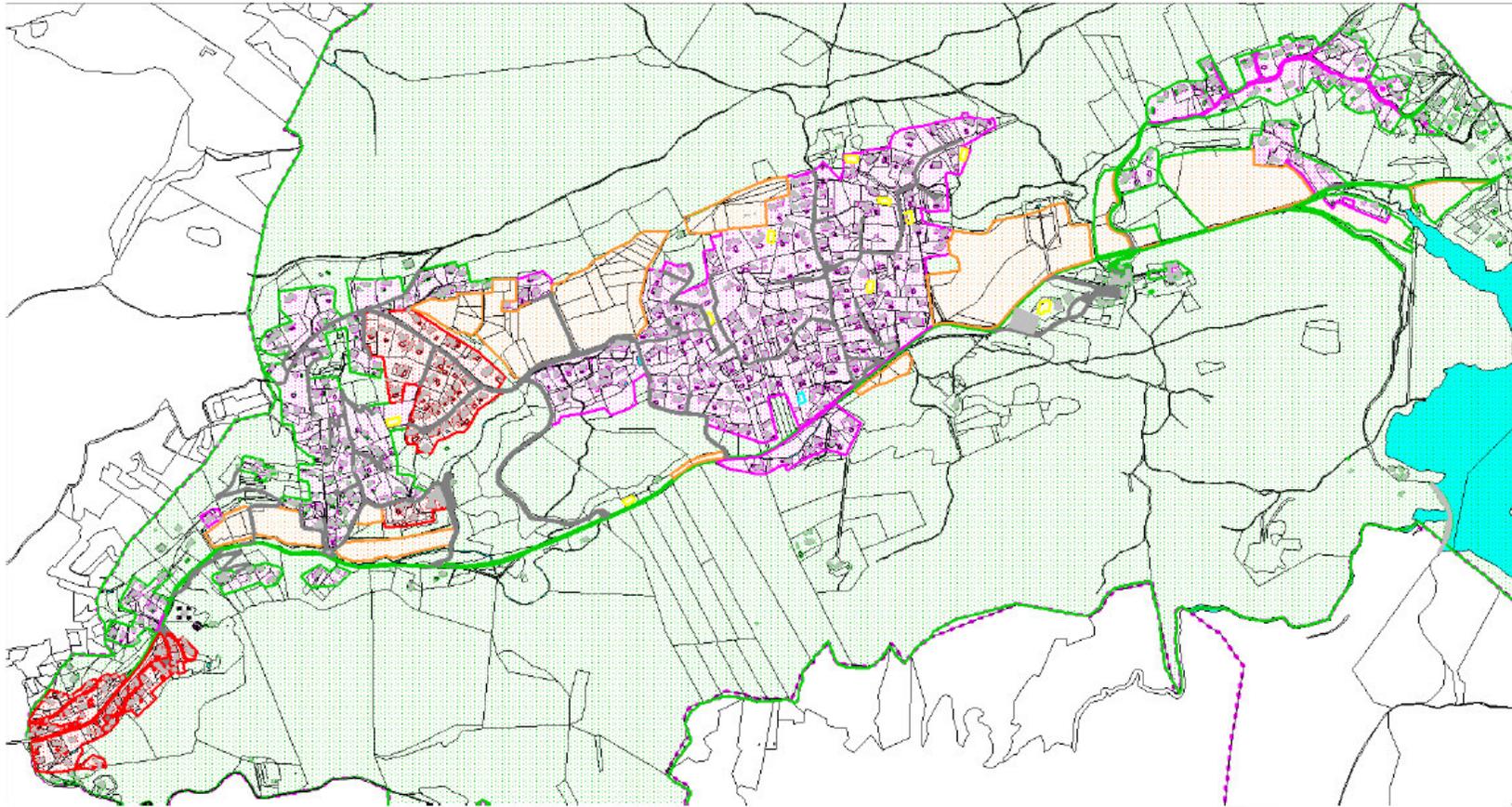


Fig. 5 : Coefficients de ruissellement à l'état actuel d'urbanisation



4.1.2 DEFINITION DES PLUIES DE PROJET

Les pluies de projet utilisées sont des pluies de Desbordes, c'est-à-dire de forme doublement triangulaire, avec un pic centré.

Ce sont des pluies représentatives d'un épisode orageux d'une durée donnée, au sein duquel l'intensité est plus intense pendant une courte période.

De manière générale, on estime que la pluie faisant le plus réagir un bassin versant doit avoir une période intense de l'ordre du temps de concentration du bassin versant et une durée totale égale à 4 fois cette période intense.

Pour les pluies courtes néanmoins, on conservera une durée de pluie d'au minimum 2 heures, ce qui est plus représentatif des pluies réelles observées dans la région.

Trois pluies sont testées pour évaluer la sensibilité du modèle selon la durée de la pluie ; les hyétogrammes ont été construits à partir des coefficients de Montana de la station pluviométrique d'Aix-en-Provence :

- pluie 1 : pluie de durée 2 h et de période intense 10 minutes,
- pluie 2 : pluie de durée 2 h et de période intense 20 minutes,
- pluie 3 : pluie de durée 4 h et de période intense 1 heure.

Il ressort de la comparaison des débits de pointe générés sur les différents sous bassins versant que la pluie 1 génère des débits de pointe globalement plus importants sur la majorité des bassins versants. La pluie retenues est donc la pluie de type 1.

La pluie de projet a été testée pour l'occurrence 10 ans et 100 ans. Les hyétogrammes sont présentés sur la figure suivante.

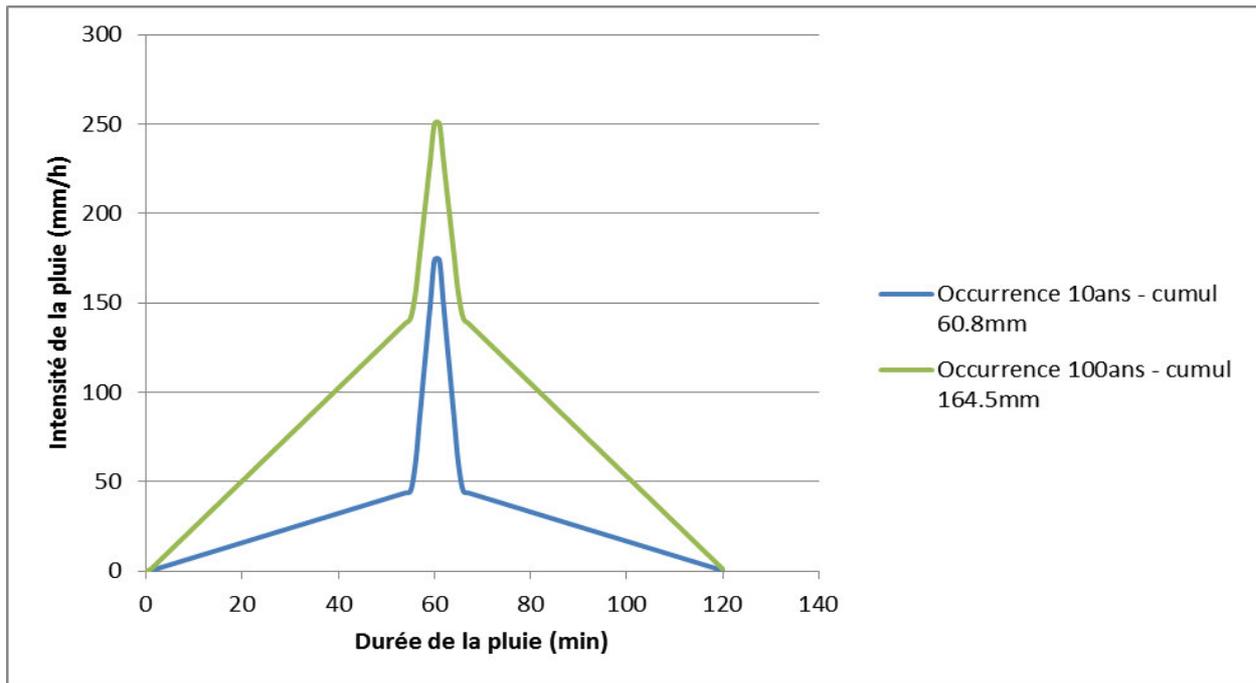


Fig. 6 : Hyetogrammes des pluies de projet

4.1.3 RESULTATS DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT

Les résultats de la modélisation pluie-débit, en termes de débit de pointe généré par chaque sous-bassin versant, sont présentés dans les tableaux en annexe 3.

4.2 MODELISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU PLUVIAL

4.2.1 GENERALITES

4.2.1.1 Caractéristiques du réseau pluvial

Chaque nœud de calcul est caractérisé par les paramètres suivants :

- Type de nœud (regard, bassin, exutoire,...),
- Cote du terrain naturel au droit du nœud (extraite du MNT),
- Cote du radier du nœud (différence en la cote de terrain extraite du MNT et la profondeur mesurée lors des reconnaissances de terrain),
- Diamètre du regard, pris égal au maximum des collecteurs raccordés au nœud, sans descendre en-dessous de 0.8 m.

Chaque tronçon de réseau est caractérisé par les paramètres suivants :

- 
- Nœud amont et nœud aval
 - Forme (circulaire, rectangulaire, ovoïdale, fossé de formes variables ...)
 - Dimensions
 - Longueur
 - Cotes du fil d'eau à l'extrémité amont et aval
 - Coefficient de rugosité (Manning)

4.2.1.2 Limites du modèle hydraulique

Il faut souligner que le réseau pluvial a été modélisé en considérant les conditions optimales d'écoulement, à savoir :

- Existence et bon fonctionnement des ouvrages de collecte ; les débits générés par les sous-bassins versants (qui tiennent compte de diverses pertes par infiltration ou micro-stockage notamment) sont entièrement injectés dans le réseau,
- Absence de dépôt dans les canalisations,
- Absence d'embâcle,
- Aucune contrainte aval aux exutoires.

4.2.2 PRESENTATION DU MODELE

4.2.2.1 Délimitation du modèle

Un seul modèle hydraulique a été réalisé pour l'ensemble du secteur d'étude à enjeux. Il s'étend sur l'ensemble du réseau pluvial drainant les zones semi-urbaines jusqu'aux exutoires au milieu naturel ou jusqu'en aval des habitations.

Le synoptique du réseau pluvial modélisé est présenté sur la figure suivante.

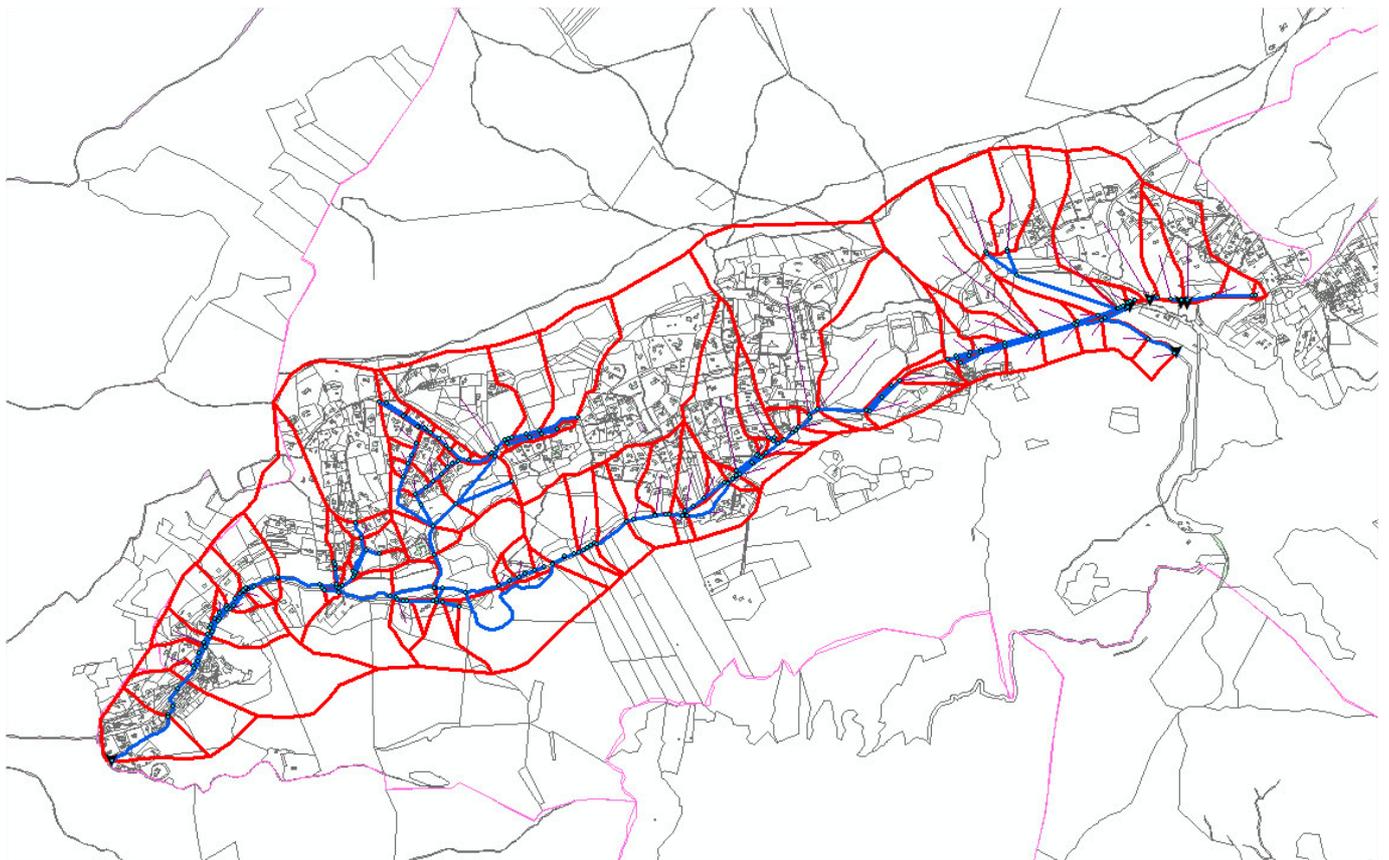


Fig. 7 : Synoptique du réseau pluvial modélisé

4.2.2.2 Adaptation du modèle pour la gestion des débordements

Lors du calcul hydraulique, lorsque la ligne d'eau dépasse le terrain naturel au droit des nœuds, le modèle considère par défaut que l'eau est stockée temporairement dans un cylindre fictif au-dessus du regard, jusqu'à être ravalée par le réseau à la décrue.

En réalité, dans le cas d'un réseau situé dans une rue présentant une pente significative, les eaux ne stagnent pas au-dessus du regard mais s'écoulent dans la rue.

Ainsi, pour représenter au mieux les écoulements en cas de saturation du réseau, plusieurs approches ont été utilisées :

- des tronçons ont été rajoutés au modèle pour représenter les écoulements dans les rues,
- sur les fossés modélisés, les profils en travers ont été élargis pour inclure les routes ou terrains riverains et canaliser l'ensemble des écoulements ; cela permet de répondre à l'objectif d'évaluation des débits sur ces tronçons, et notamment à l'aval de ces tronçons lorsqu'ils rejoignent des zones bâties, sans pour autant permettre un diagnostic fin de l'aléa inondation le long de ces axes d'écoulement.

4.3 RESULTATS DE LA MODELISATION – DIAGNOSTIC DU RESEAU EXISTANT

4.3.1 CARTOGRAPHIE DES RESULTATS

Les résultats des modélisations hydrauliques sont présentés sur les cartographies données en annexe 4 :

- diagnostic pour la pluie de projet décennale, planches 0 à 6
- diagnostic pour la pluie de projet centennale, planches 0 à 6

La figure suivante présente un extrait de cette cartographie. Il est précisé les informations suivantes :

- le nom des sous-bassins versants
- le caractère débordant ou non au droit des nœuds de calcul : un nœud est dit débordant lorsque la ligne d'eau calculée dépasse le terrain naturel pris en compte au droit du nœud.
- le taux de remplissage des collecteurs enterrés ; cet indicateur n'est pas fourni pour les collecteurs à ciel ouvert où il n'a pas de sens en termes de distinction entre écoulement libre et écoulement en charge.
- le débit de pointe dans le réseau pluvial (conduites et fossés).
- le débit de pointe ruisselé dans les rues intégrées au modèle.

Legende

- Aucun débordement
- Débordement en surface
- 1.4 Débit max dans le réseau (m3/s)
- 1.4 Ruissellement en surface (débit max ruisselé en m3/s)
- Ecoulement à ciel ouvert
- ▭ Sous-bassin versant
- Taux de remplissage des conduites enterrées**
- <10% (écoulement très faible / conduite non modélisée)
- 10 à 80 % (écoulement à surface libre)
- 80 à 100 % (conduite en charge)
- >100% (conduite saturée)
- ▼ Exutoire au milieu naturel

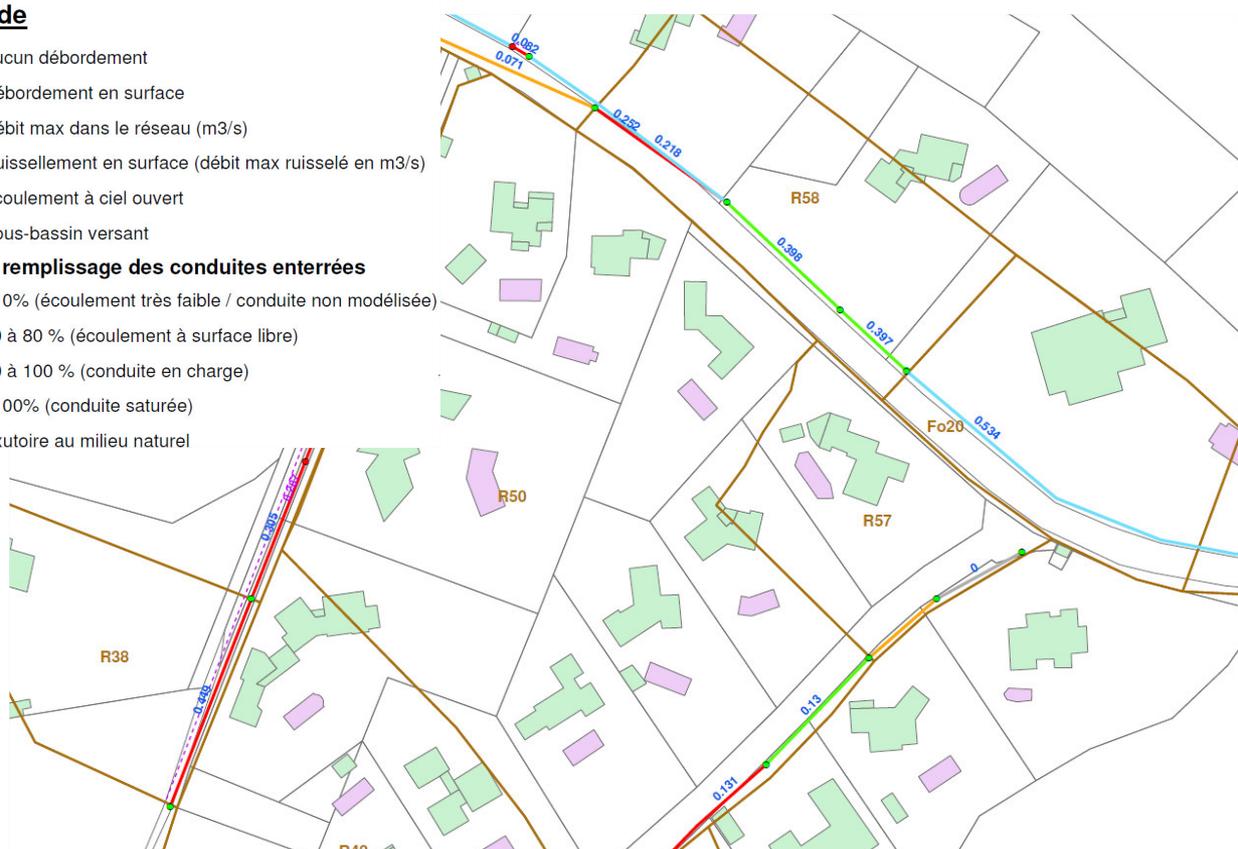


Fig. 8 : Extrait de la cartographie des résultats de la modélisation hydraulique



4.3.2 PRINCIPAUX DESORDRES RESSORTANT DES SIMULATIONS

Dès la pluie de projet décennale, certaines branches ou ouvrage de rétablissement du réseau sont saturées, du fait de diamètres insuffisants et/ou de pentes trop faibles.

Selon la profondeur du réseau, la saturation des collecteurs peut entraîner des refoulements en surface. Ces débordements, qui génèrent principalement des ruissellements dans les rues, rejoignent le réseau en aval.

4.3.2.1 Croisement RD10 / route du plan de Lorgue

Le Prignon longe la RD10 sous forme principalement de fossés et d'ouvrage de rétablissement sous accès routiers. Au niveau du croisement avec la route du plan de Lorgue, le cours d'eau est busé par un réseau circulaire de 800mm de diamètre sur une centaines de mètres.

Il ressort de la modélisation que cette buse DN800mm est saturée, entraînant des débordements sur la chaussée.

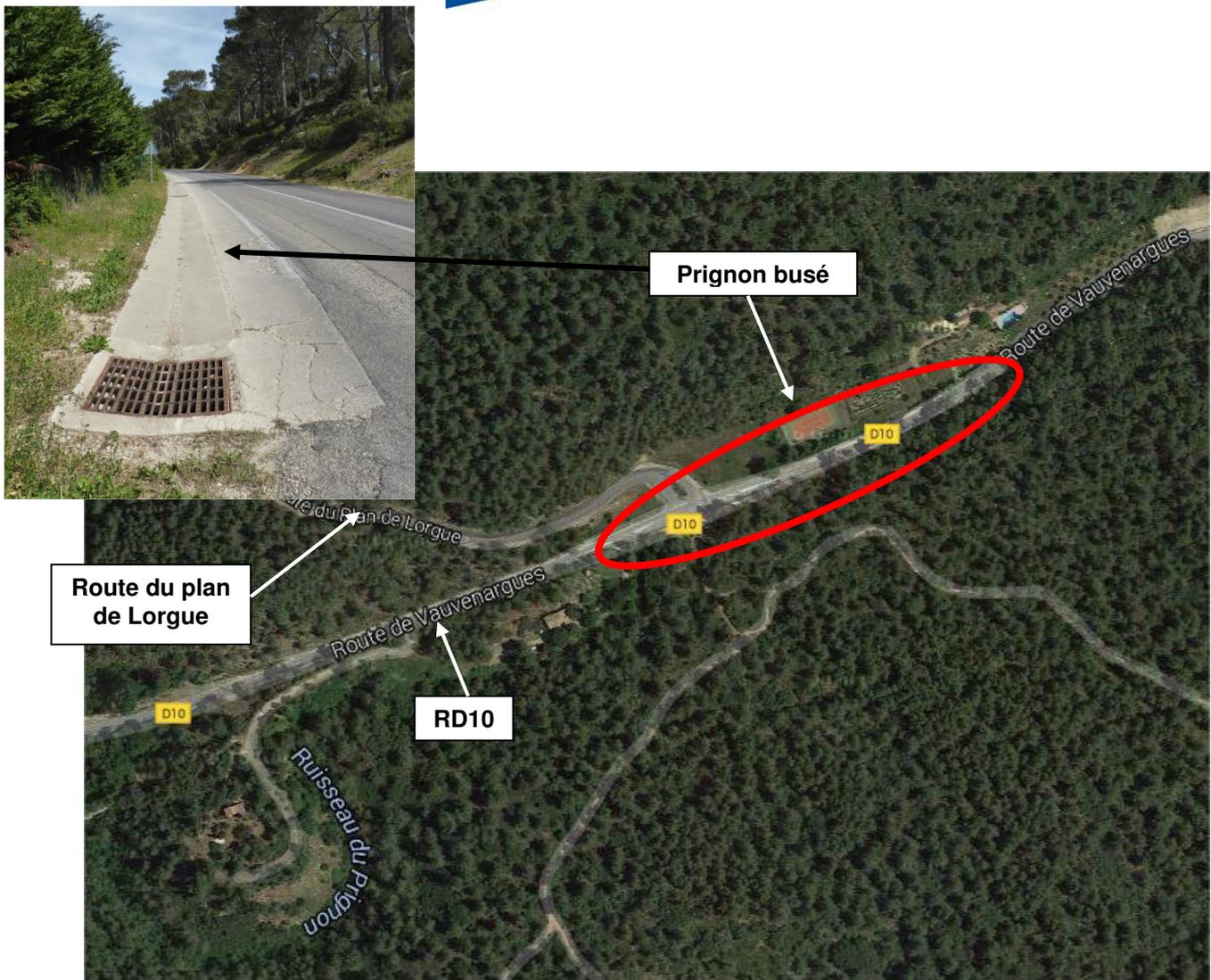


Fig. 9 : Croisement entre la RD10 et la route du Plan de Lorgue

4.3.2.2 Chemin du Vallon de Keyrie

Le chemin du vallon de Keyrie fait office d'axe d'écoulement relativement important (bassin versant collecté d'environ 26ha). Actuellement, les eaux sont collectées par un réseau enterré de faible diamètre : 300mm.

Ce réseau est ainsi rapidement saturé. Les eaux ruissellent alors notamment sur la chaussée où des désordres récurrents ont été notés. Dans le cas d'un épisode décennal, environ les 3/4 du débit ruissellent sur la chaussée.

La topographie étant bien marquée sur le secteur avec une pente relativement importante au niveau de l'axe d'écoulement (environ 10%), il ne peut y avoir de stagnation d'eau importante et les écoulements rejoignent le Prignon en contre-bas.

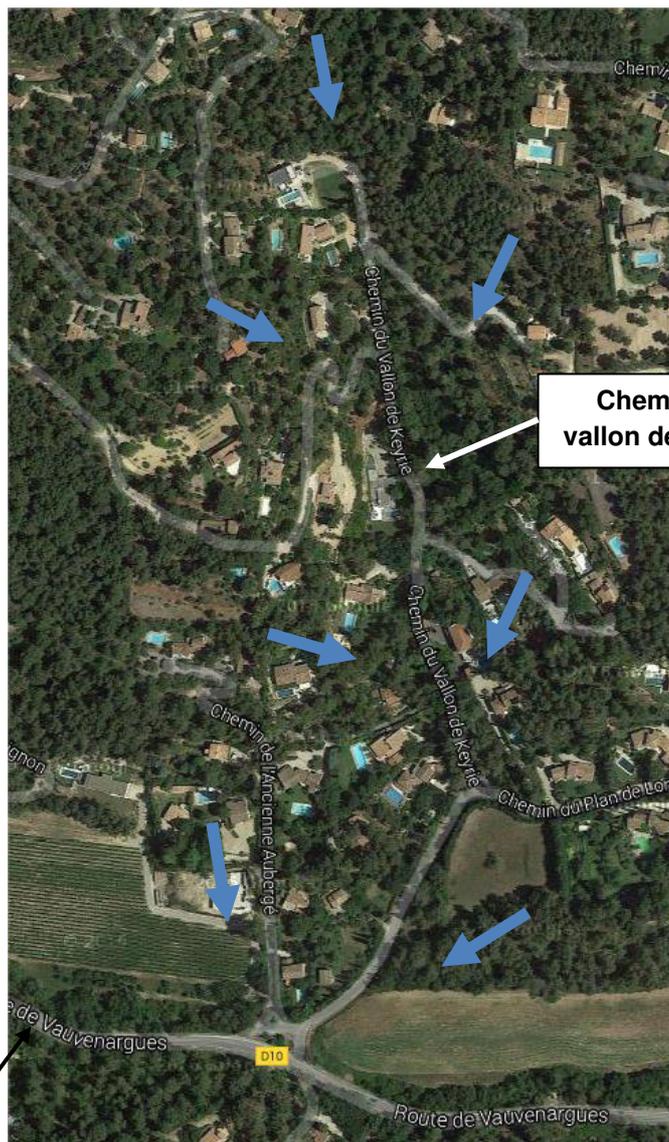


Fig. 10 : *Chemin du vallon de Keyrie*

4.3.2.3 Secteur Mas du Cris / quartier les Provence

Comme attendu suite aux témoignages des habitants, les ouvrages de rétablissement sur le Prignon au niveau des parcelles de M. Bernard et de M. Postou sont limitants (cf. chapitre 2), notamment la buse DN400mm à l'entrée de la parcelle de M. Postou.

A noter également que le deuxième ouvrage de franchissement en amont de la parcelle de M. Bernard (DN400mm) est également limitant pour des occurrences faibles (laisse passer moins d'un tiers du débit décennal). Cette situation a été notée par M. Bernard qui indique des débordements récurrents à ce niveau.

4.3.3 DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE DE REGULATION DES DEBITS

Un seul ouvrage enterré avec un orifice de régulation des débits est recensé au niveau du giratoire récent des Savoyards, sur la RD10. Cet aménagement a été réalisé par la CPA et la Conseil Départemental en 2014.

Il est implanté sur l'axe d'écoulement du Prignon qui prend sa source quelques centaines de mètres en amont. A l'entrée du giratoire, deux canalisations DN400mm font la connexion entre le fossé amont et un collecteur DN1200mm implanté sous le giratoire. Ce collecteur se rejette ensuite dans un second fossé quelques mètres en aval, longeant la RD10.

Au milieu du rond-point, au niveau d'un regard de visite, un orifice de 600mm de diamètre permet la régulation des écoulements. Il est également muni d'une surverse de sécurité de 1.5m de longueur.

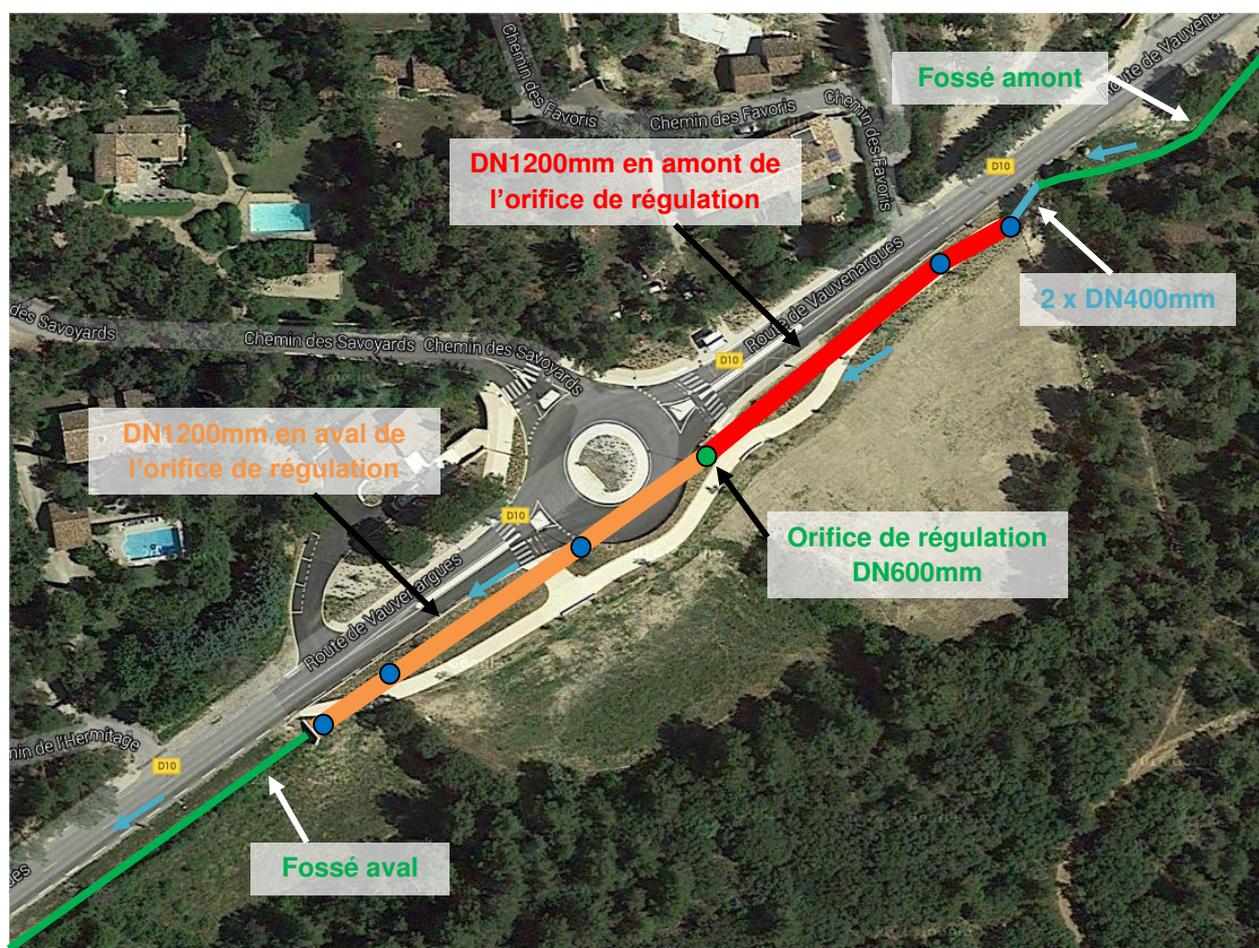


Fig. 11 : Vue aérienne au niveau du giratoire et de l'ouvrage de régulation

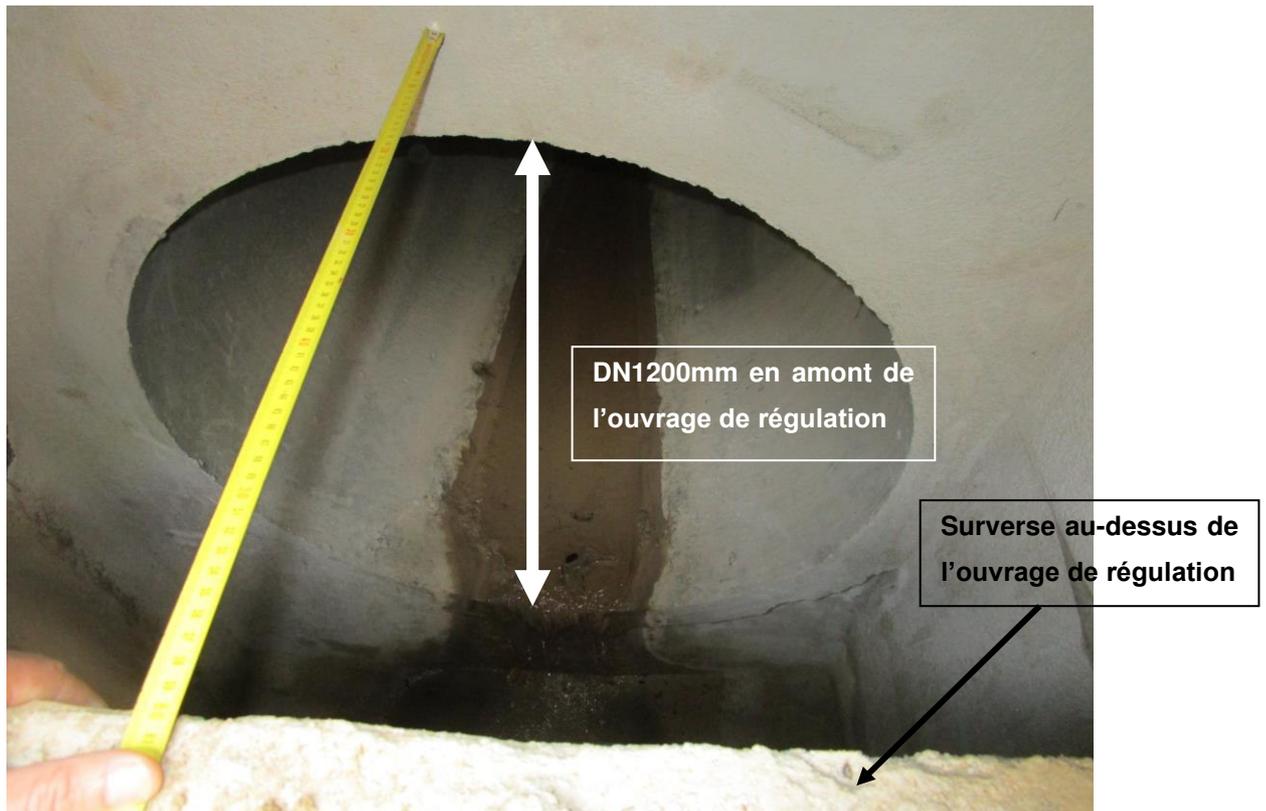


Fig. 12 : Arrivée du DN1200 en amont de l'ouvrage de régulation

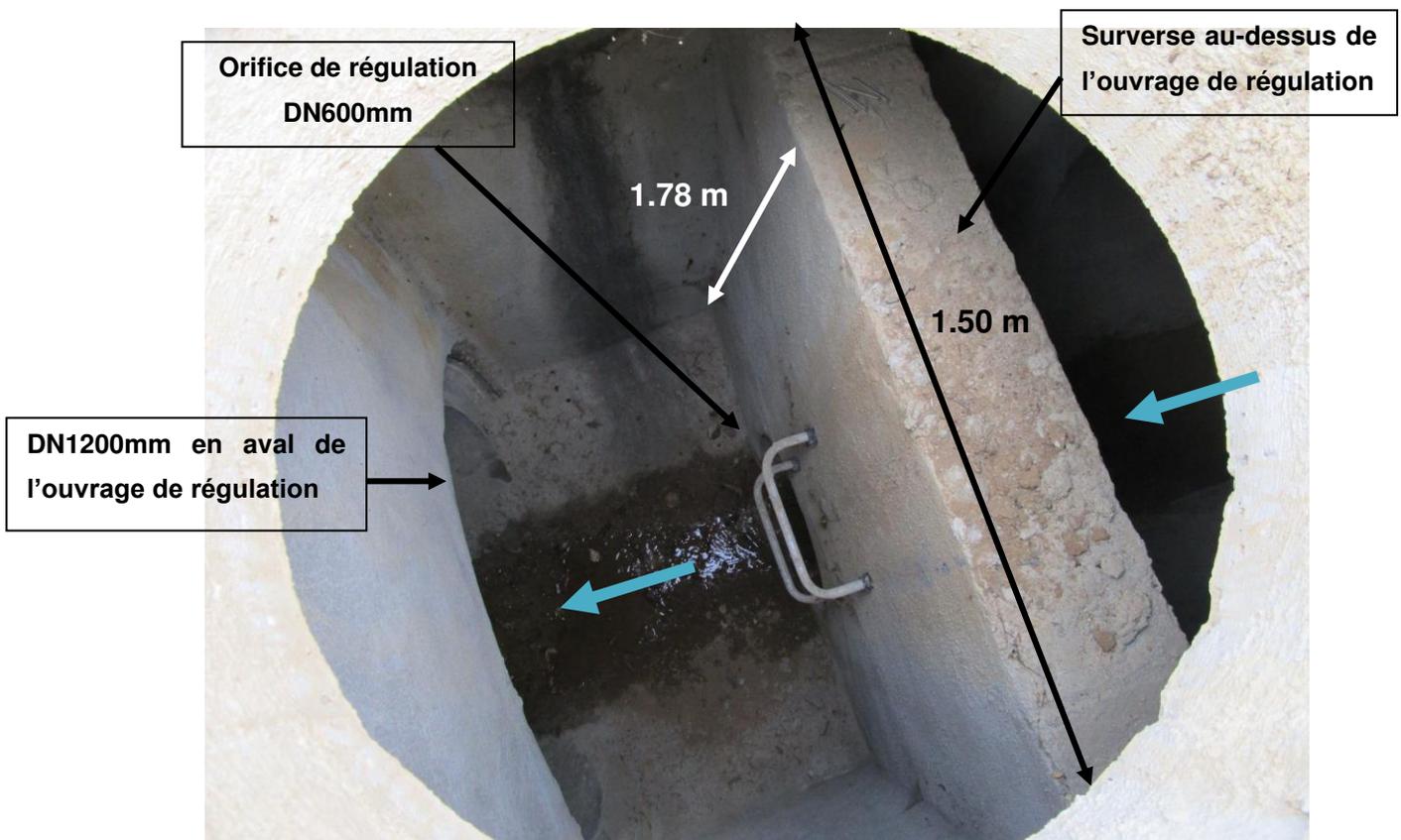


Fig. 13 : Ouvrage de régulation au niveau du giratoire



La modélisation hydraulique a permis d'évaluer le fonctionnement de cet ouvrage existant sur le réseau pluvial. Il en ressort ainsi que l'ouvrage est saturé dès la pluie décennale.

Dans le cas d'une occurrence décennale, le débit entrant au niveau de l'ouvrage de régulation est de $1.3\text{m}^3/\text{s}$, le débit de fuite maximal est de $1.05\text{ m}^3/\text{s}$ et le débit maximal déversé de $0.25\text{m}^3/\text{s}$.

Dans le cas d'une occurrence centennale, le débit entrant au niveau de l'ouvrage de régulation est de $3\text{m}^3/\text{s}$, le débit de fuite maximal est de $1.16\text{ m}^3/\text{s}$ et le débit maximal déversé de $1.83\text{m}^3/\text{s}$.

4.3.4 BILAN DES REJETS AUX EXUTOIRES

Le tableau suivant présente les rejets du réseau aux exutoires. A noter que ces résultats ne tiennent pas compte des éventuels rejets se produisant par ruissellement suite aux débordements du réseau en amont des exutoires.

Bassin versant	Nom exutoire	Type d'ouvrage	Q10 (m^3/s)	Q100 (m^3/s)
Prignon	Exutoire Prignon	Fossé	7.15	37.33
Bimont	Exutoire 1	DN500	0.51	1.98
	Exutoire 2	DN400	0.23	0.69
	Exutoire 3	DN500	0.97	3.13
	Exutoire 4	Dalot 0.5x0.5m	0.72	4.25
	Exutoire 5	Fossé	1.03	4.89

Tableau 3 : Bilan des rejets aux exutoires

5 PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

5.1 GENERALITES

Hormis certains ouvrages ponctuels sur le réseau, trois secteurs principaux présentent des dysfonctionnements (cf. Chapitre 4.3.2).

Il peut alors être proposé un recalibrage des réseaux de ces secteurs. A noter que :

- Ce type d'aménagement permet d'améliorer la capacité d'écoulement dans le réseau et donc de supprimer les mises en charge et les éventuels refoulements en surface.
- Le recalibrage de réseaux insuffisants peut entraîner une augmentation des débits de pointe et une accélération des écoulements, qui peuvent reporter les désordres vers l'aval.
- Le recalibrage des réseaux se fait généralement en lieu et place de l'existant et ne nécessite donc généralement pas d'emprise foncière supplémentaire.

Le dimensionnement de ces aménagements a été effectué à l'aide du modèle pluie-débit du réseau pluvial de la commune, réalisé sous Mike-Urban dans le cadre du diagnostic du réseau actuel. Le modèle existant a été repris de façon à intégrer les aménagements envisagés et à les optimiser.

A noter que le projet de règlement pluvial prévoit que toute nouvelle imperméabilisation du sol fasse l'objet d'une compensation vis-à-vis du ruissellement dans les zones urbanisées ou à urbaniser (période de retour d'au moins 30ans). Il n'est donc pas considéré de modification des sols dans le modèle.

Pour les nouvelles conduites proposées, le coefficient de rugosité (Strickler) a été pris à 75, ce qui correspond à des conduites en béton neuf ou en PEHD.

Le calage altimétrique proposé pour l'aménagement de collecteurs a été défini en fonction des contraintes de raccordement amont et aval et de façon à assurer, dans la mesure du possible, une couverture minimale de 80 cm au-dessus des buses et de 50 cm au-dessus des cadres.

5.2 PRESENTATION DES AMENAGEMENTS PROPOSES

L'ensemble des aménagements proposés ci-après ne relèvent pas d'une obligation de réalisation suite à l'élaboration de cette étude mais permettraient, si des travaux venaient à être envisagés sur le secteur, d'améliorer la situation actuelle (débit de dimensionnement décennal).

A noter également que les ouvrages proposés peuvent éventuellement être remplacés par des ouvrages de gabarits différents mais de capacités équivalentes.

5.2.1 CROISEMENT ENTRE RD10 ET ROUTE DU PLAN DE LORGUE

Il s'agit de redimensionner le réseau existant pour un évènement décennal ($Q_{10ans}=2.9m^3/s$). L'ouvrage à mettre en place est un cadre de dimensions $L=1.10m$; $H=1.10m$ ($p = 1.8\%$). Dans ce cas, le taux de remplissage est de 65%. A noter que la mise en place d'un ouvrage de capacité inférieure entraine des débordements en surface.

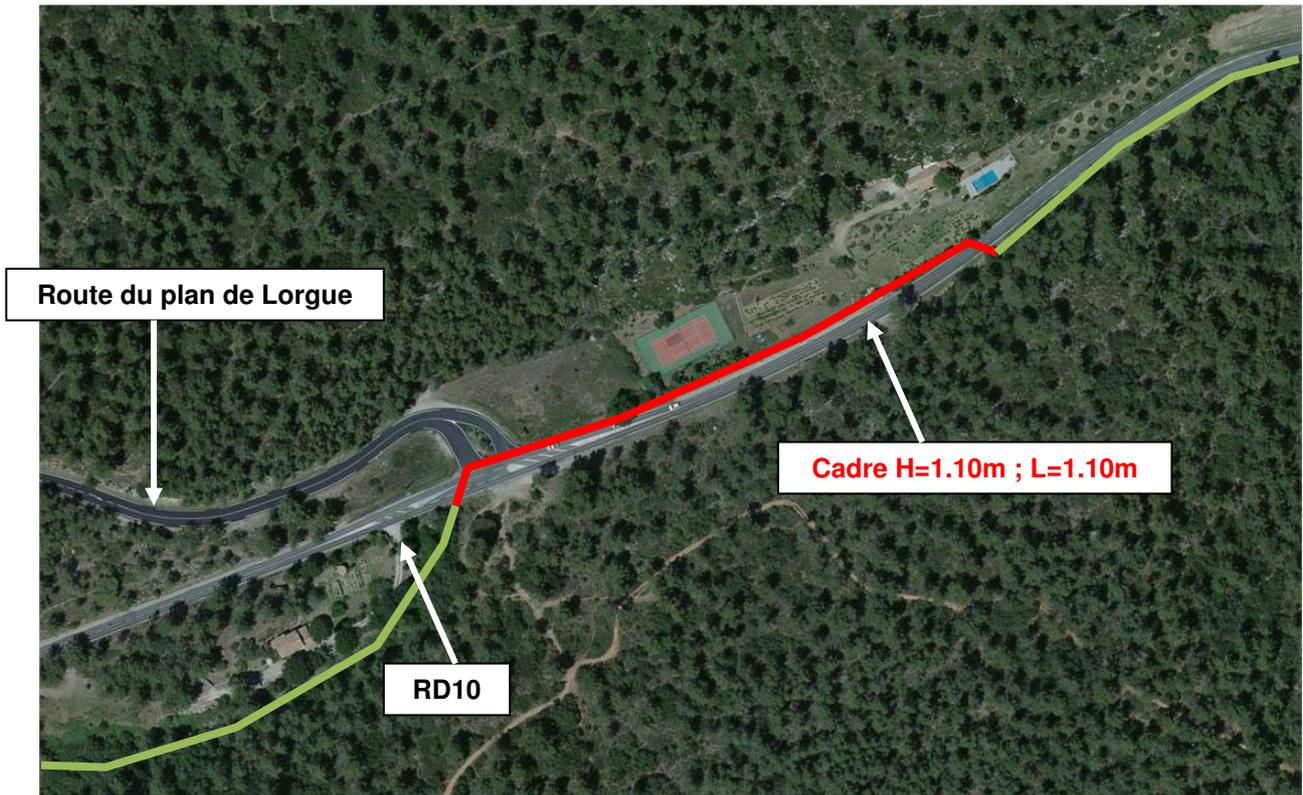


Fig. 14 : Réseau proposé au croisement RD10 / route du Plan de Lorgue

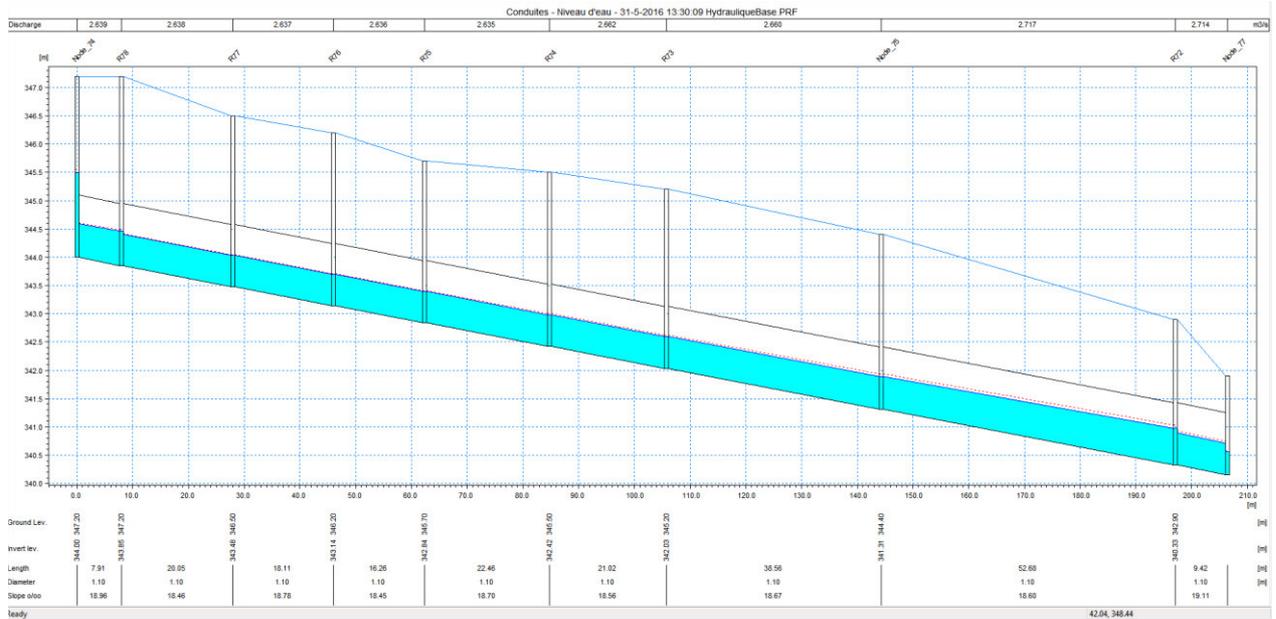


Fig. 15 : Profil en long du nouveau réseau proposé

5.2.2 CHEMIN DU VALLON DE KEYRIE

Il s'agit de redimensionner le réseau existant pour un évènement décennal ($Q_{10} = 1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ en aval). L'ouvrage à mettre en place est une buse DN600mm en amont (jusqu'à l'ouvrage de traversée du chemin existant) et une buse DN800mm en aval ($p=6\%$). Dans ce cas, le taux de remplissage est de 70% à 100%.

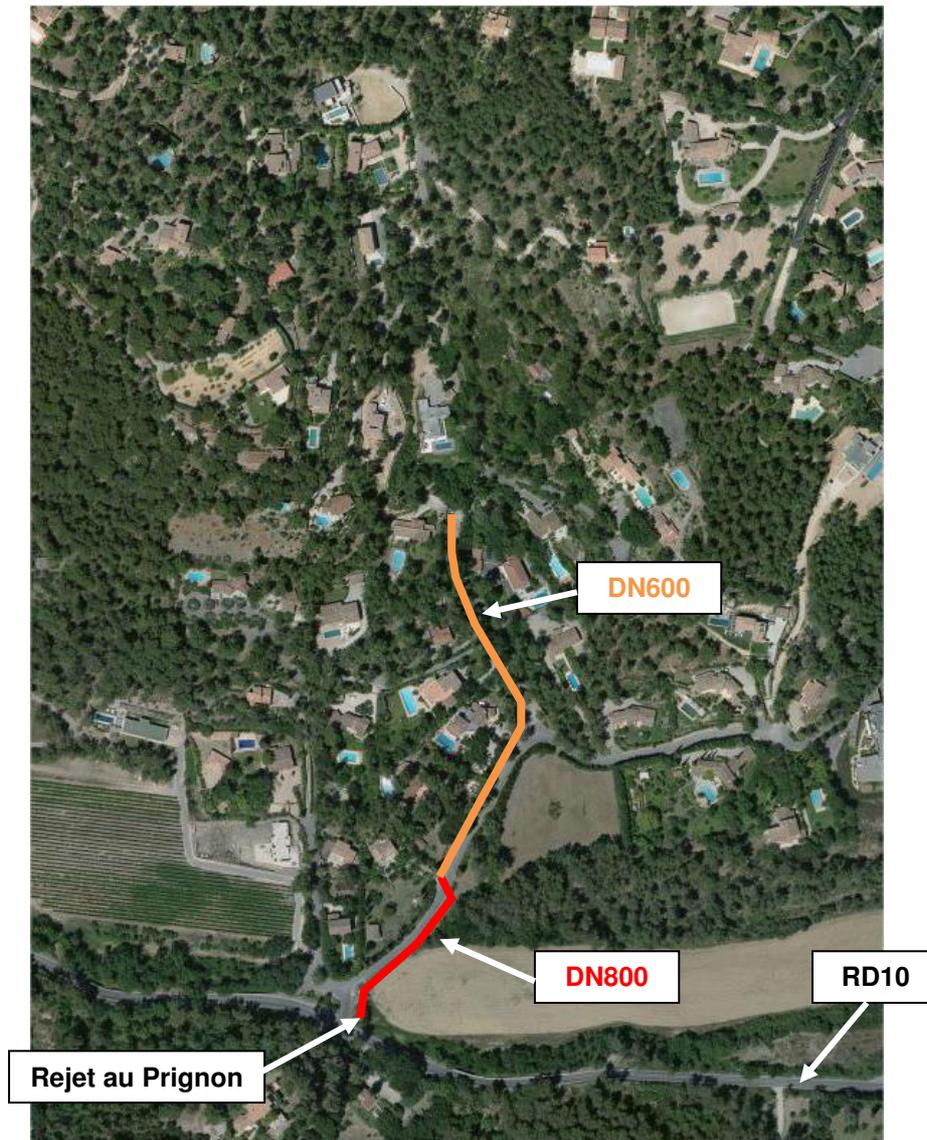


Fig. 16 : Réseau proposé au chemin du vallon de Keyrie

A noter que des avaloirs/grilles devront être intégrés au réseau afin de faciliter l'engouffrement des eaux dans celui-ci.

5.2.3 SECTEUR DU MAS DU CRIS (QUARTIER LES PROVENCES)

Afin de permettre un meilleur transit des écoulements pour des occurrences courantes, il peut être proposé notamment de remplacer en priorité les deux buses DN400mm existantes (celle en amont de la parcelle de M.Bernard et celle sur la parcelle de M.Postou). Le DN800mm et le cadre existant sont également limitant pour un épisode décennal ($Q_{10\text{ans}}=2.5\text{m}^3/\text{s}$).

Les ouvrages proposés sont les suivants d'amont en aval :

- Un cadre H=0.8m ; L=1.20m (en lieu et place du DN400mm existant)
- Un cadre H=0.8 ; L=1.20m (en lieu et place du cadre L=1.10m ; H=0.55m)
- Un cadre H=0.8m ; L=1.20m (en lieu et place du DN800mm existant)
- Un cadre H=0.8m ; L=1.20m (en lieu et place du DN400mm existant)

Le taux de remplissage de ces ouvrages est alors proche de 100%.

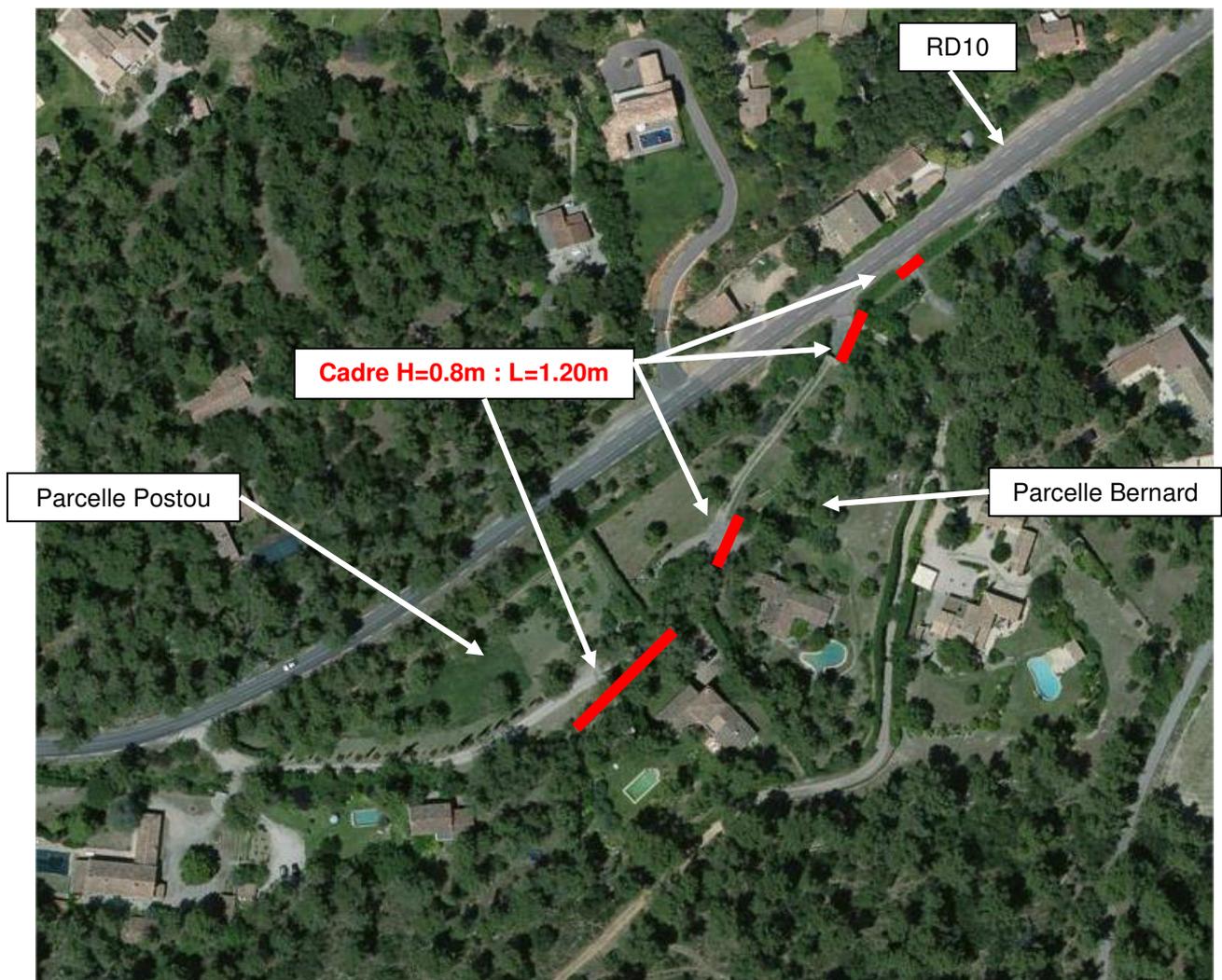


Fig. 17 : Réseau proposé au Mas du Cris

A noter également que ces aménagements ponctuels n'ont pas d'impacts sur les débits à l'exutoire du Prignon.

Enfin, ce secteur du Mas du Cris a fait l'objet d'une modélisation des écoulements du cours d'eau et d'une cartographie des aléas (cf. chapitre 7).



6 CARTOGRAPHIE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

6.1 MOYENS UTILISÉS

La cartographie hydrogéomorphologique a été réalisée par photo-interprétation stéréoscopique de photographies aériennes prêtées par la DDTM des Bouches-du-Rhône. Les jeux de photographies utilisés sont les missions Aériel de 1985 et 1990 au 1/20 000. La stéréoscopie permet de voir le relief des zones couvertes par ces photographies. Les cartographies réalisées ont ensuite été vérifiées sur le terrain.

Afin de garantir le maximum de qualité à la numérisation, les cartes minutes ont été directement réalisées sous SIG lors de la phase d'analyse stéréoscopique. Cette procédure permet d'éviter des erreurs de report liées à la numérisation des planches papiers par une tierce personne et permet de passer plus de temps à la réalisation de la photo-interprétation et aux contrôles de la cartographie sur le terrain. Elle permet en outre une meilleure précision de la cartographie grâce à une numérisation à une échelle de l'ordre du 1 / 5 000 au 1 / 2 500, et aux facilités offertes par le SIG de jouer avec différents fonds de plans lorsque le besoin s'en fait sentir. En l'occurrence ce travail a été réalisé en utilisant prioritairement le fond Ortho de 2014 qui permet la plus grande précision, le MNT à pas de 5 m, le Scan 25, ainsi que le cadastre fournis par le mandataire.

La cartographie produite utilise donc le fond Ortho ou le cadastre comme fond de référence et affiche une précision globale du 1/5 000 à minima, et souvent supérieure, notamment dans les zones urbaines. Cette notion de précision s'entend par rapport au report des formes identifiées sur les photographies ou sur le terrain, et non quant à la nature même des limites (cf. page suivante paragraphe sur les structures morphologiques).

6.2 PRINCIPE ET RESUME DE L'APPROCHE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

L'approche hydrogéomorphologique est basée sur l'observation naturaliste des champs d'inondation résultant du fonctionnement des cours d'eau. Elle consiste à délimiter les unités géomorphologiques significatives du fonctionnement hydrologique du système alluvial, soit :

- le lit mineur, localisé entre les berges, comprenant le lit d'étiage. Il contient naturellement les écoulements ordinaires voire les crues très fréquentes.
- le lit moyen résultant du débordement des crues relativement fréquentes, schématiquement annuelles à décennales en principe (mais pouvant être portées en réalité, pour l'état actuel, à vingtennales, trentennales..., voire moins fréquentes encore lorsque des aménagements hydrauliques conséquents, tels que des recalibrages, ou encore que des incisions récentes et



entretiens ont modifié les écoulements naturels). En termes hydrodynamique, cet espace correspond généralement à la zone de mobilité historique du cours d'eau ; c'est-à-dire à l'espace de divagation du lit mineur. Le risque érosif dû aux écoulements en crue y est élevé.

- le lit majeur submersible par des crues rares à exceptionnelles (décennale à centennale et au-delà). Toutefois en l'absence de lit moyen marqué dans la topographie, le lit majeur peut également accueillir des écoulements de crues fréquentes.

Dans certains cas, il est possible de distinguer un lit majeur exceptionnel qui comme son nom l'indique, n'est normalement inondé par débordement du cours d'eau principal que lors de crues exceptionnelles. De façon plus rare, sur certains cours d'eau où la terrasse würmienne tend à plonger progressivement sous la plaine alluviale moderne suite à une remontée du niveau de base, des lambeaux de terrasse peuvent être inondés par débordement.

Dans le cas présent, les canaux et fossés qui peuvent être assimilés à des lits mineurs ne sont pas systématiquement cartographiés.

L'ensemble de ces unités hydrogéomorphologiques forme « la plaine alluviale fonctionnelle », façonnée au fil des temps récents par les cours d'eau. Ces unités physiques sont généralement séparées les unes des autres par des talus qui délimitent l'enveloppe de différents champs d'inondation : un talus net constitue une limite précise, à quelques mètres près, tandis qu'un talus peu net (profil convexo-concave) indique souvent une zone de raccord progressif (entre le lit majeur et l'encaissant par exemple) et donc une moindre précision de l'information que peut apporter l'analyse hydrogéomorphologique.

Les unités hydrogéomorphologiques sont normalement étagées, de sorte que les plus fréquemment inondables sont plus basses que les moins fréquemment inondables. Des exceptions à cette règle existent toutefois sur les cônes de déjection et lits en toit, formes convexes de plaines alluviales où le lit mineur se trouve perché au-dessus du lit majeur.

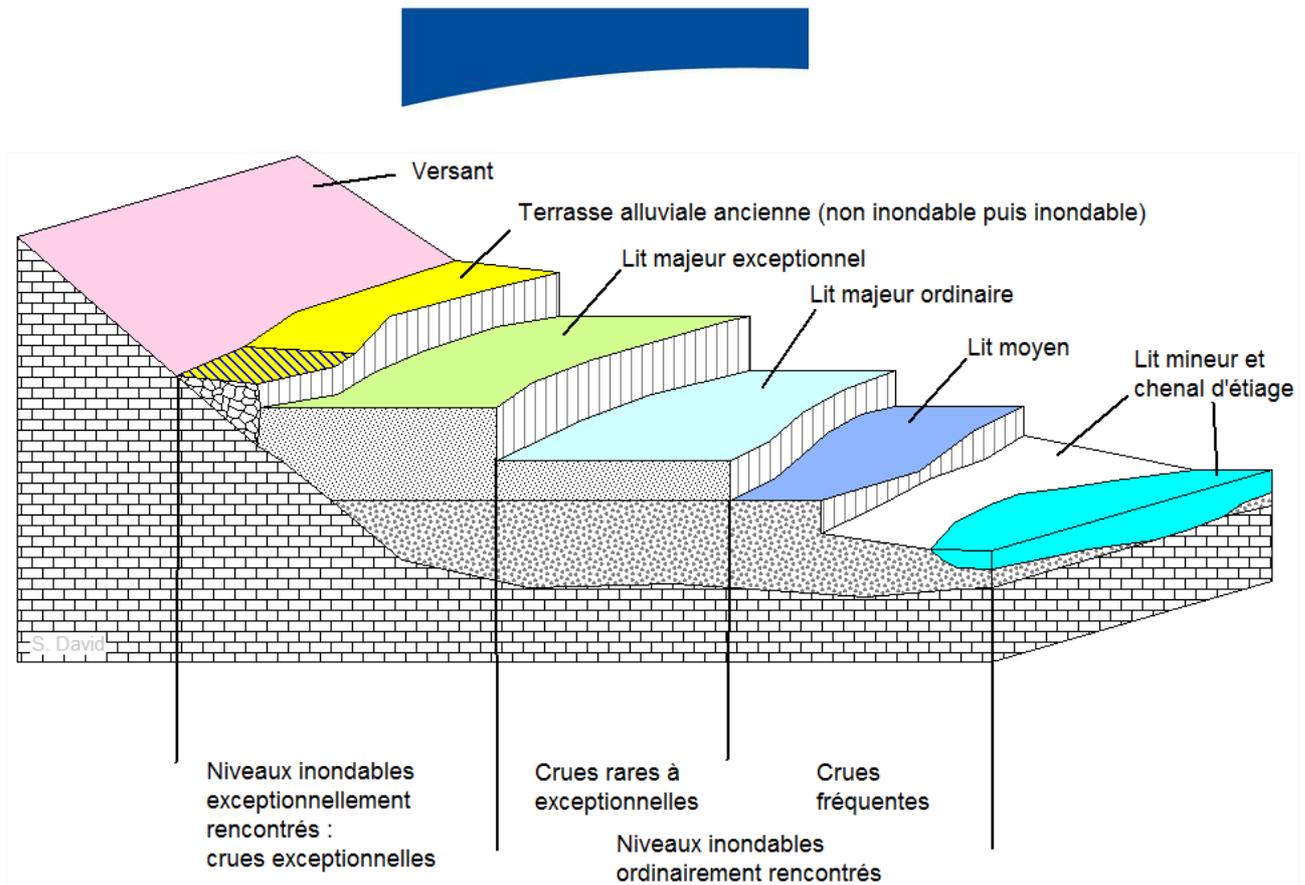


Fig. 18 : *Représentation schématique de l'étagement normal des unités hydrogéomorphologiques*

Au sein des lits moyens et majeurs, des axes secondaires d'écoulement en crue sont également distingués. Ces informations apportent une dimension hydrodynamique importante à une bonne appréciation du risque inondation car à proximité de ces axes, les vitesses sont généralement plus rapides et les hauteurs d'eau plus importantes que dans le reste de la plaine alluviale (hors lit mineur).

Une certaine imprécision peut également apparaître lorsque la plaine alluviale présente un relief très doux, ce qui rend plus difficile la délimitation du lit majeur au contact des reliefs encaissants, ou la délimitation entre les différents lits. Dans ce cas, l'identification des unités hydrogéomorphologiques peut s'appuyer sur des critères autres que la topographie tels que la sédimentologie, voir des éléments de l'occupation du sol, celle-ci étant souvent en lien direct avec l'inondabilité (implantation du bâti, organisation du parcellaire, disposition des réseaux de drainage...).

L'écoulement naturel des crues peut être fortement perturbé par les aménagements anthropiques tels que les digues, les remblais et terrassements divers, les recalibrages ... C'est pourquoi la cartographie s'attache, dans la mesure où ils sont perceptibles sur les couples stéréoscopiques, à répertorier les aménagements significatifs. Toutefois, **il n'est normalement pas tenu compte de l'incidence de ces aménagements**. L'objectif de la cartographie hydrogéomorphologique est autant que possible de retranscrire les **enveloppes naturelles** des crues. Un remblai d'infrastructure barrant une vallée va



par exemple avoir tendance à augmenter les niveaux d'eau en amont (surinondation) alors qu'un lit mineur recalibré tendra à diminuer les débordements.

Les éléments de ce paragraphe ont été donnés à titre pédagogique et informatif afin que le lecteur puisse appréhender au mieux la méthode utilisée. Sur le territoire communal, il n'existe aucun grand cours d'eau présentant cette configuration étagée classique, mais seulement des vallons secs intermittents, qui relèvent plus de la problématique ruissellement que débordement de cours d'eau. Compte tenu de la configuration du fond du vallon du Prignon, largement aménagé, le parti a été pris de le catégoriser dans la problématique débordement de cours d'eau. Pour mémoire nous rappelons que la dichotomie ruissellement/débordement ne reflète que partiellement la complexité des configurations naturelles, et qu'entre les cas typiques, moult situations assurent la transition, de sorte qu'il est parfois nécessaire de trancher plus ou moins arbitrairement en se fondant sur des critères annexes. Dans le cas du Prignon, le fond de vallon paraît largement réorganisé par des aménagements, certainement depuis des décennies, et un fossé assure aujourd'hui le rôle de lit mineur.

❖ **Prise en compte des zones inondables par ruissellement par l'approche hydrogéomorphologique**

La méthode hydrogéomorphologique a été principalement cadrée pour la cartographie des zones inondables des organismes fluviaux qui sont ordinairement « opposées » aux zones inondables dites « pluviales ». Or la frontière entre le fluvial et le pluvial est souvent mince et l'écoulement fluvial est généralement la somme d'écoulements pluviaux. Basée sur une discipline scientifique, la géomorphologie, qui étudie la formation des reliefs, l'analyse hydrogéomorphologique est tout à fait adaptée à l'étude du risque dit « pluvial » du moment qu'il laisse une trace géomorphologique.

Ainsi les petits vallons secs qui participent pourtant au réseau hydrographique sont souvent qualifiés de risque pluvial alors qu'ils sont morphologiquement des modelés fluviaux élémentaires, au sein desquels les dynamiques d'incision/sédimentation ne façonnent pas les différents lits qu'on peut retrouver pour les organismes fluviaux de plus grande importance. Autre particularité, l'interaction avec les dynamiques colluvionnaires d'évolution des versants fortement présentes à cette échelle, se traduit souvent par des limites externes en biseau beaucoup moins nettes.

Il convient aussi de préciser que la cartographie des zones de ruissellement n'est jamais exhaustive puisque ce phénomène est omniprésent. Partant de ce constat, il faut garder à l'esprit qu'**il n'existe pas de zones dénuées de risque d'inondation.** Le but de la cartographie hydrogéomorphologique appliquée au ruissellement est de distinguer les zones où il peut **naturellement s'accumuler et se concentrer**, c'est-à-dire les fonds de vallon, qui rassemblent les ruissellements en provenance des versants. Sur les différents types de ruissellement identifié, diffus et concentré, c'est donc ce dernier qui est étudié. Le ruissellement diffus qui se produit sur toute surface et concerne tous les encaissements jouxtant fonds de vallons et vallées n'est pas identifié spécifiquement sur les cartes

hydrogéomorphologiques (un taxon transparent zones de production de ruissellement rappelle son existence sur les cartes d'aléas).

Il peut arriver qu'un ou des vallons débouche(nt) sur des zones planes en pentes douces, nommées glacis, ou glacis-cône lorsqu'elles présentent une topographie convexe, sur lesquelles les ruissellements en crue peuvent prendre un aspect plus aréolaire que concentré et s'étaler largement (pouvant s'apparenter à du ruissellement en nappe), d'où un aspect très dilaté des zones inondables. Les limites y sont encore plus ténues que dans les vallons simples.

Concernant cette thématique du ruissellement, différents taxons ont donc été cartographiés :

- Les zones de concentration et d'accélération des ruissellements, qui sur la commune regroupent les formes suivantes :
 - des vallons en berceau évasés,
 - des vallons secs ou intermittents, encaissés et à forte pente longitudinale, à fond en V. Là deux taxons différencient les vallons les plus pentus et étroits (ruissellements très concentrés) des autres (ruissellements concentrés).
- Les zones de ruissellement en nappe et les zones de divergence et d'étalement des ruissellements, où les eaux ruisselantes sont susceptibles de prendre maintes directions divergentes en fonction de la micro-topographie locale et des obstacles rencontrés, et ont tendance à s'étaler en faibles lames d'eau (écoulement en nappe).
- En amont des vallons bien formés, les têtes de vallons et micro-formes de vallons primaires (micro-talwegs) ont été identifiées à titre d'information par une flèche (verte pointillée), symbolisant les zones privilégiées de concentration au sein des zones de production du ruissellement. Dans la majorité des cas elles peuvent être associées à des ruissellements diffus, au sein desquels peuvent survenir ponctuellement des rigoles d'érosion hydrique.
- Au sein des zones de ruissellement, les axes potentiels de plus fortes vitesses et les traces d'érosion hydrique (rigoles d'érosion) observés sur les photographies aériennes et sur le terrain (flèche axe de ruissellement en vert)



Exemple de tête de vallon en berceau très peu marquée. Cliché S.David

❖ Prise en compte des zones d'érosion hydrique par l'approche hydrogéomorphologique

Sur certains versants, il est possible de distinguer des « badlands », c'est-à-dire des terrains affectés par un ravinement intense. Le nombre de ravins les parcourant peut être important et ce phénomène d'érosion hydrique dû au ruissellement sur des terrains qui y sont fortement sensibles peut générer de nouveaux ravins. Les phénomènes d'érosion hydrique affectant ces terrains peuvent conduire à affouiller les fondations de constructions s'y trouvant mais également à déposer des matériaux produits par l'ablation des zones ravinées. Les terrains affectés par ce phénomène sont principalement des terrains argileux ou marneux. Les terrains pouvant y être soumis ont été délimités sur la base d'une présence de marques visibles d'érosion hydrique à partir de la photo-interprétation stéréoscopique. Ce recensement et cette délimitation ne sont pas exhaustives (la reconquête forestière en cours masque de plus en plus ces formes). Et ce d'autant que des terrains a priori sensibles et préservés jusque-là peuvent être affectés, en cas de déboisement notamment.



Fig. 19 : *Paysage de badlands (cliché S. David)*

6.3 VALIDITE, INTERETS ET LIMITES DE L'APPROCHE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

La cartographie hydrogéomorphologique des zones inondables a fait l'objet de validations sur plusieurs cours d'eau, par comparaison des limites de ces zones inondables avec des événements de crues historiques survenus ultérieurement. Ces comparaisons ont permis d'en valider la pertinence qui lui vaut d'être reconnue en France comme une des approches permettant de connaître le risque d'inondation, en complément des approches historique et hydraulique.

Par rapport à l'approche hydraulique qui étudie et cartographie les caractéristiques des zones inondées pour des débits de crue donnés, auxquels sont souvent associés des périodes de retour, l'approche hydrogéomorphologique ne produit qu'une carte de zones inondables constituant une



enveloppe des crues sans distinction des périodes de retour et sans valeurs quantifiées. Elle est donc censée contenir toutes les gammes de crue, dont les crues exceptionnelles, et de permettre d'apprécier le fonctionnement global en crue. Les unités hydrogéomorphologiques cartographiées sont le résultat du façonnage du relief par les crues passées et intègrent une certaine variabilité spatio-temporelle des conditions d'écoulement. Les sections d'écoulement en lit mineur, leur encombrement et l'état d'occupation du sol qui détermine la rugosité font partie de ces variables.

Compte tenu de ces constats, il n'est donc pas anormal que les cartographies hydrogéomorphologique et hydraulique ne concordent souvent pas dans la mesure où elles délivrent des informations différentes mais complémentaires du phénomène inondation. On gardera également à l'esprit que les enveloppes de ces unités constituent une photographie de la somme des événements passés et ne tiennent pas compte de l'occupation humaine. Il est donc tout à fait possible que des débordements aient lieu au-delà des limites identifiées, soit à cause d'ouvrages anthropiques modifiant les conditions d'écoulement localement, soit si des évolutions morphologiques majeures surviennent.

En matière de cartographie des zones de ruissellement, plus récemment expérimentée par approche hydrogéomorphologique, des modélisations hydrauliques sur la base d'événements pluvieux historiques ont permis d'en valider la pertinence, notamment à représenter des phénomènes complexes comme des divergences d'écoulement.

La vision globale du phénomène apportée par la cartographie hydrogéomorphologique constitue une base intéressante, voire indispensable dans bien des cas, à l'étude du risque inondation. Elle se révèle notamment très complémentaire de l'approche hydraulique qu'elle peut guider dans ses besoins en topographie et méthodes de modélisation nécessaires à une bonne retranscription des phénomènes, surtout dans les cas complexes.

Remarque : Les limites identifiées par la cartographie présentent, au-delà de l'échelle de travail, une précision plus ou moins grande en fonction des variables géomorphologie-lithologie-occupation du sol :

- Géomorphologie : plus l'organisme fluvial sera important, plus les limites externes auront de chances d'être constituées par des talus nets ; à contrario sur les formes primaires que sont les vallons affectés par des risques de ruissellement, les raccords avec l'encaissant sont souvent concaves et les limites en plan peu précises.
- Lithologie : la dureté des roches sous-jacentes et leur réponse interne aux processus d'érosion conditionnent fortement le type de limite que l'on peut trouver entre l'encaissant et la plaine alluviale. Ainsi en fonction du soubassement, on pourra trouver des secteurs aux limites plus nettes que d'autres.

- 
- Occupation du sol : l'urbanisation mais aussi les pratiques agricoles tendent fréquemment à perturber, niveler, voire masquer les limites entre les unités hydrogéomorphologiques ou avec l'encaissant, introduisant une marge d'erreur potentielle non négligeable.

6.4 PRINCIPES DE TRANSCRIPTION DE LA CARTOGRAPHIE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE EN CARTE D'ALÉAS À DIRE D'EXPERT

La cartographie hydrogéomorphologique n'étant pas directement transcribable d'un point de vue réglementaire, une qualification de l'aléa s'avère nécessaire afin de fournir les bases du zonage réglementaire.

Deux secteurs à enjeux ont fait l'objet de modélisation hydraulique par Ingerop. Le reste du territoire fait l'objet d'un aléa issu d'une analyse hydrogéomorphologique, qualitatif (et ponctuellement semi-quantitatif), que l'on pourrait aussi qualifier de « à dire d'expert ». Il retranscrit à la fois l'intensité et l'occurrence des phénomènes au sens hydrogéomorphologique.

- **Aléa modéré** : intensité modérée des phénomènes et/ou probabilité d'atteinte modérée
- **Aléa fort** : intensité forte des phénomènes et/ou probabilité d'atteinte forte

La cartographie des aléas ne peut pas être considérée comme exhaustive tant en terme de limites des zones que de qualification des aléas (par exemple des talus qui devraient être normalement classés en aléa fort ont pu ne pas être distingués, ou un secteur classé en aléa modéré – ou en dehors- peut être affecté par un aléa fort, s'il survient un événement exceptionnel ou si la configuration du site est fortement affectée temporairement, par exemple par des embâcles). Des diagnostics à l'échelle de projets particuliers sont à ce titre fortement recommandables bien qu'ils ne puissent pas non plus garantir l'absence de sinistres. Les cartographies et recommandations formulées ne peuvent pas garantir l'absence de sinistres mais ont plutôt vocation à les minimiser et se situent donc dans une approche de réduction de la vulnérabilité des enjeux bâtis existants et à venir.

D'autres approches (quantitatives) complémentaires sont possibles, mais n'ont pas été retenues à ce niveau d'études et peuvent par la suite être envisagées.

Cette méthodologie d'appréciation qualitative des aléas est bien différente de l'approche traditionnelle des aléas, basée sur l'utilisation de modèles mathématiques. Chacune possède ses atouts et limites. La modélisation permet d'appréhender plus finement les hauteurs et vitesses attendues pour un événement dit de référence (de période de retour centennal ou supérieur d'après le cadre législatif), mais ne tiendra pas compte des problématiques de mobilité latérale ou verticale, des risques d'embâcles, ainsi que des aspects morphodynamiques (érosions, micro-mouvements de terrain), et conservera une forte part d'interprétation (au niveau de l'hydrologie, puis entre les profils en travers

(pour les modèles 1D). A contrario l'approche hydrogéomorphologique des aléas tient compte de la mobilité, de la morphodynamique, des évolutions à court ou moyen terme, des risques d'embâcles, et apprécie les aléas dans leur globalité en terme d'intensité et de fréquence, mais ne peut rattacher une enveloppe d'inondation à une occurrence de crue, ni fournir de quantification précise des hauteurs/vitesses. L'usage actuel qui tend à se répandre est de réserver l'approche hydraulique bien plus coûteuse aux zones à enjeux et/ou complexes où l'approche hydrogéomorphologique trouve ses limites (grands aménagements, topographies fortement perturbées ...).

Plusieurs taxons sont cartographiés : aléa fort, modéré.

La cartographie hydrogéomorphologique fournit des indications suffisantes, concernant l'intensité des phénomènes d'inondation pour discrétiser des zones d'aléa fort au sein de l'emprise de zones inondables identifiée en première phase :

- Les lits mineurs et moyens étant connus pour être fréquemment submergés et avec des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement généralement supérieures aux zones de ruissellement ou lits majeurs, ils sont qualifiés par un aléa fort. Un risque morphodynamique lié aux phénomènes d'érosion de berge, d'incision ou de dépôts terrigènes y est également présent.

- les vallons resserrés et étroits, car les vitesses et hauteurs d'eau peuvent y être plus fortes que dans des parties plus larges où l'eau peut s'étaler. De plus, la moindre construction faisant obstacle à l'écoulement dans ces zones peut, d'elle-même, se mettre en danger en aggravant l'aléa naturel. La diminution de la section d'écoulement provoquée par la construction entraîne en effet de façon quasi systématique une augmentation des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement.



Exemple d'érosion dans un talus transversal à l'écoulement justifiant une transcription en aléa fort aux abords des talus (cliché S. David)

- certains points bas au sein des vallons évasés,

- une bande d'aléa fort est mise de part et d'autre des talus perpendiculaires au sens d'écoulement dans les vallons bien formés, car ils sont, lors d'épisodes pluvieux, soumis à des phénomènes de chutes d'eau pouvant avoir des vitesses d'écoulements importantes. Des glissements de terrain au niveau des talus ainsi que des ruptures de remblais ou digues peuvent également se produire. En amont des remblais ou digues, le risque de stockage de l'eau en crue contribue parfois à étendre la zone d'aléa fort pour des raisons de hauteurs d'eau pouvant être importantes du fait de l'obstacle faisant office de retenue.

Pour étayer l'expertise hydrogéomorphologique, et dans la mesure où une information topographique simplifiée était disponible, des calculs hydrauliques sommaires ont été réalisés à l'aide de la formule de Manning-Strickler et de débits de crue centennaux dont les ordres de grandeur ont été évalués par la formule rationnelle (méthodologie préconisée par le guide PPR Ruissellement notamment dans les zones sans enjeux). La donnée topographique utilisée est le MNT à pas de 5 m des Bouches-du-Rhône, c'est-à-dire une donnée peu précise, qui ne permet que de donner des approximations. Près d'une vingtaine de points de calculs ont été effectués, de façon privilégiée sur les vallons les plus importants, ou à proximité d'enjeux (cf. carte ci-dessous).

La grille d'aléa ruissellement en vigueur dans le Bouches-du-Rhône distingue deux classes d'aléas (fort et modéré). Lorsqu'une quantification type modélisation hydraulique est mise en œuvre, l'aléa est considéré comme fort dès lors qu'on dépasse 0.5 m de hauteur d'eau ou la vitesse d'1m/s. Ces mêmes bases ont été utilisées lors de ces approches quantitatives sommaires.

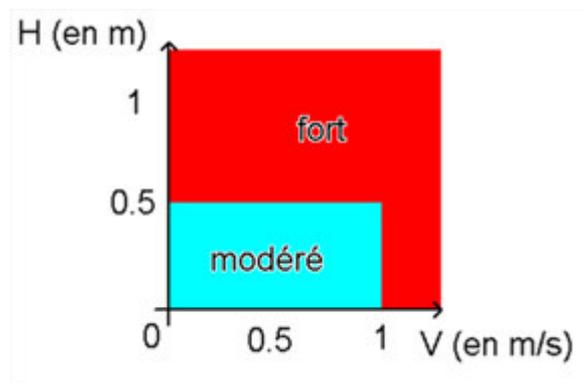


Fig. 20 : Grille d'aléa

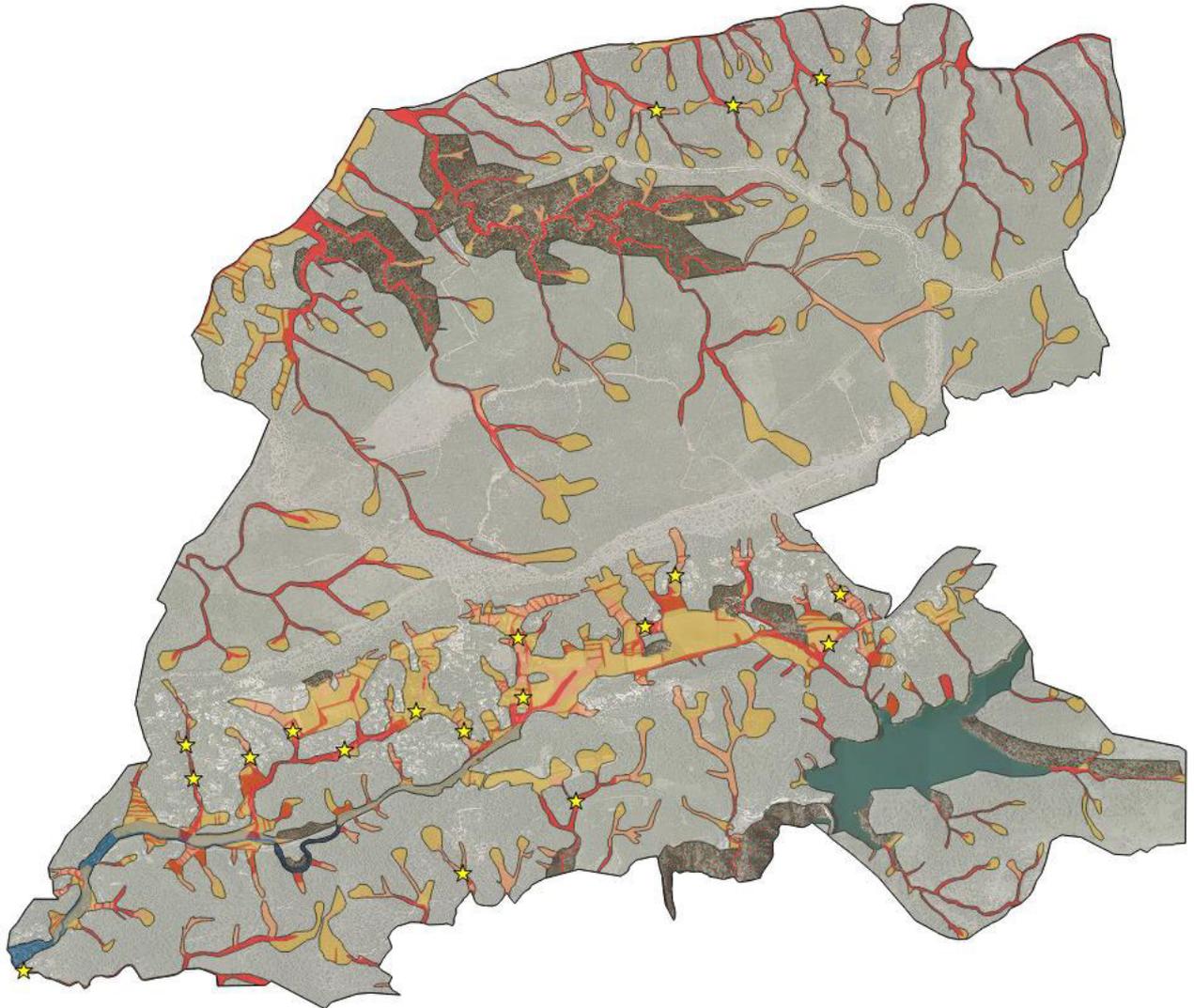


Fig. 21 : Carte de localisation des points de calculs sommaires

Les zones de badlands soumises ou susceptibles d'être soumises à des ravinelements intenses des terrains sous l'effet du ruissellement ne sont pas qualifiées en terme d'intensité, cette problématique nécessitant également une approche géotechnique.

Le parti a été pris d'élaborer une unique carte d'aléa intégrant les approches hydrogéomorphologiques et hydrauliques des aléas. Les aléas inondation par ruissellement ou par débordement n'y sont pas différenciés, dans la mesure où sur le Prignon, on est encore dans une problématique très proche du ruissellement.

6.5 RESULTATS

6.5.1 CONTEXTE

Le territoire communal de Saint Marc Jaumegarde est situé entre le bassin d'Aix-en-Provence à l'ouest et le massif de la Sainte Victoire à l'Est. Plusieurs entités paysagères, géologiques et géomorphologiques se distinguent :

- au nord, le plateau de la Keyrié est constitué essentiellement de calcaire résistant jurassique du Kimméridgien (qui est une puissante formation de 500 m datant de l'ère secondaire). C'est une unité bien individualisée qui présente une pente générale vers le nord, limitée au sud par un escarpement de faille assurant un contact abrupt avec le bassin miocène de St Marc. Il est parcouru de nombreux vallons secs qui s'encaissent profondément au nord de la commune. L'occupation du sol y est exclusivement naturelle.
- Au sud-est, des collines boisées à fortes pentes, dans lesquelles s'incisent de profonds vallons, s'étendent sur cette même formation calcaire (gorges des Infernets, SE du lac du Bimont).
- Entre les deux, des terrains molassiques plus tendres du miocène (ère tertiaire, datant du Tortonien marin) affleurent. Ils forment une surface sub-horizontale qui a été facilement sculptée par l'érosion en collines aux pentes moyennes, et dans laquelle s'inscrit notamment la petite vallée du Prignon. Localement, en fond de vallon, l'érosion a dégagé des terrains sous-jacents du Callovien (jurassique) constitués de marnes et calcaires argileux, qui sont sensibles et donnent fréquemment naissance à des paysages de Bad Lands (évoqués au chapitre précédent). L'urbanisation se concentre sur le flanc nord de la vallée du Prignon, essentiellement sous la forme de mitage.

6.5.2 COMMENTAIRE DE CARTE, POINTS PARTICULIERS

La grande majorité de la commune est occupée par des collines à l'occupation naturelle, qui sont incisées par des vallons intermittents s'encaissant en règle générale assez rapidement. Leurs zones inondables sont circonscrites, le raccord avec le versant encaissant étant fréquemment abrupt. Aucun enjeu n'est recensé dans ces secteurs.

Le cœur de la commune, entre le Plan de l'Orgue et les Bonfillons, présente une configuration de petites collines découpées de très nombreux vallons. La nature tendre des terrains molassique se traduit par des vallons au fond plat ou en berceau très évasé, et assez larges. Certains de ces vallons ont été aménagés en restanques successives pour les besoins de l'agriculture, et présentent désormais un profil en long typique en escalier. Les bassins versants collectés étant de faible superficie, les débits possibles restent modérés dans les parties amont et la largeur suffisante des



fonds de vallons permet un certain étalement des eaux de ruissellement. Les calculs hydrauliques sommaires réalisés ont permis de confirmer que sauf configuration locale particulière, on pouvait attendre pour un événement d'ordre centennal, des hauteurs d'eau limitées. Les vitesses également devraient rester modérées dans l'ensemble (<1m/s), mis à part quelques secteurs.

Vers le Plans de l'Orgue, les Savoyards, le Jardin et à l'ouest des Vérans, plusieurs vallons sont coalescents, d'où des emprises de zones inondables très étendues. Traditionnellement ces espaces sont cultivés et ont été préservés de l'urbanisation. Ils peuvent être assimilés à des zones d'expansion de crue pour les ruissellements.

Le vallon descendant du lieu-dit la Garenne possède plusieurs exutoires possibles, et les eaux de ruissellement peuvent éventuellement rejoindre l'interfluve qui sépare les vallons du Prignon et de Ginestelle, et basculer vers l'un ou l'autre en fonction de contraintes locales. Entre les lieux-dits la Garenne et Vérans, on trouve les principales formations de Bad Lands situées à proximité d'enjeux (habitations, voies de circulation). Aux quartiers Bonfillons et Vérans, un nombre très limité de maisons est concerné, et elles sont placées en tête de vallon (là où l'aléa est donc moindre). A noter le restaurant l'Oustau situé hors zone inondable en l'état actuel, mais directement en face du débouché d'un petit vallon, dont les écoulements doivent effectuer un coude à 90 ° pour se diriger vers le SE. L'évolution des berges dans ce secteur ainsi que du fond du vallon est à surveiller afin de prévenir toute mise en danger potentielle du site (érosion de la rive, ou exhaussement local du fond par accumulation entraînant la diminution de la capacité d'écoulement ...).

Le Prignon constitue le drain principal dans ce secteur. Il a formé un grand vallon, orienté est-ouest, qui s'encaisse rapidement entre les collines. Le fond de vallée présente un profil assez plat, et une largeur assez homogène (entre 40 et 60 m). Les écoulements sont canalisés par un fossé probablement aménagé par l'homme de longue date (visible sur la carte d'état-major dressée en 1862), et assurant la fonction de lit mineur. Il n'est pas souvent localisé aux points les plus bas du vallon, de sorte qu'il est fréquemment un peu perché. Le Prignon s'écoule sur des calcaires gris à chailles du Carixien, qui affleurent fréquemment sur les abords du fond de vallée, et fortement visibles au méandre des Romarins où le cours d'eau s'encaisse plus profondément en de petites « gorges ».

Un barrage a été installé sur ce site privilégié qui constitue un point de contrôle hydraulique. En amont, le lit mineur est couvert sur environ 250 m et un risque de débordement pour cause d'embâcle est identifié à l'entrée de la partie souterraine. En aval des « gorges », la vallée s'étend de nouveau, légèrement plus large qu'en amont, et le Prignon reçoit notamment le vallon affluent de l'Aube, lequel possède déjà une certaine taille et draine (à la confluence avec le Prignon) plus de 90 ha.

Les principaux enjeux recensés en zone inondable sont situés :

- Au quartier des Favoris (amont du Prignon)
- Au quartier des Savoyards (amont du vallon de l'Aube)
- Au quartier des Trois Bons Dieux, où de nombreux bâtiments sont implantés dans le fond de vallée du Prignon.
- La maison de retraite, est située dans un très petit vallon, dont la forme est accentuée par les décaissements réalisés à l'occasion de sa construction. Si l'aléa potentiel y reste très modéré, le parking en contre bas est situé dans une zone à risque beaucoup plus important (aval du vallon de l'Aube)

6.6 CROISEMENT ALEAS/ENJEUX

Le croisement entre les aléas cartographiés par l'approche hydrogéomorphologique et le projet de zonage de PLU a été réalisé et étudié. Située globalement en position d'interfluve, la commune compte surtout des vallons drainant de faibles superficies, où les calculs sommaires ont permis d'établir qu'en cas d'évènement centennal ils sont pour la plupart affectés par des vitesses et hauteurs faibles à moyennes, et donc un aléa modéré. Très peu de secteurs à enjeux actuels ou futurs se trouvent qualifiés en aléa fort ruissellement. Pour ces quelques points particuliers, il apparaît suite à de récentes discussions avec le pôle Risques de la DDTM, que l'approche hydrogéomorphologique peut être pertinente et suffisante si les configurations locales permettent de qualifier aisément l'aléa, ce qui est le cas ici.

Les secteurs les plus exposés sur le Prignon sont étudiés par Ingerop avec une modélisation hydraulique, et il ne semble pas nécessaire, sauf volonté express de la commune ou demande spécifique de la DDTM, de prévoir d'études complémentaires.

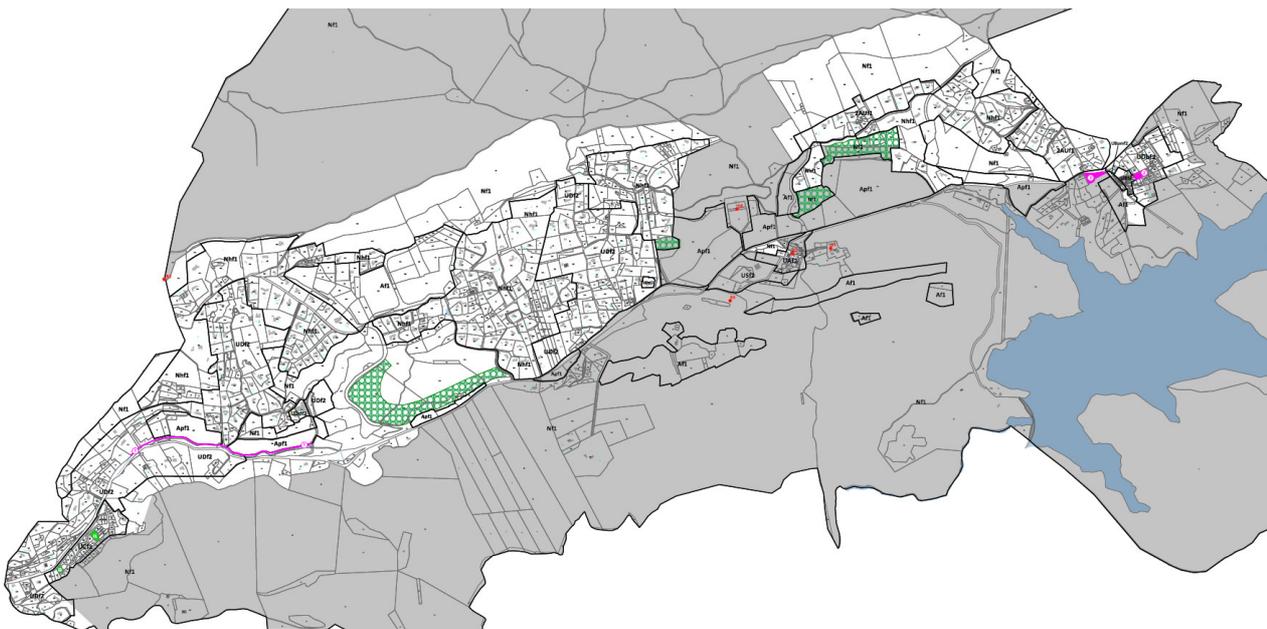


Fig. 22 : *Projet de zonage PLU à la date de réalisation de l'étude*

7 MODELISATION HYDRAULIQUE DU PRIGNON

Compte tenu des enjeux observés, notamment dans sa partie aval, le niveau d'aléa du Prignon a été affiné par une modélisation hydraulique des écoulements dans certains secteurs.

- Secteur Les Savoyards / Mas du Cri
- Secteur Le Petit Prignon / Les Trois Bons Dieux

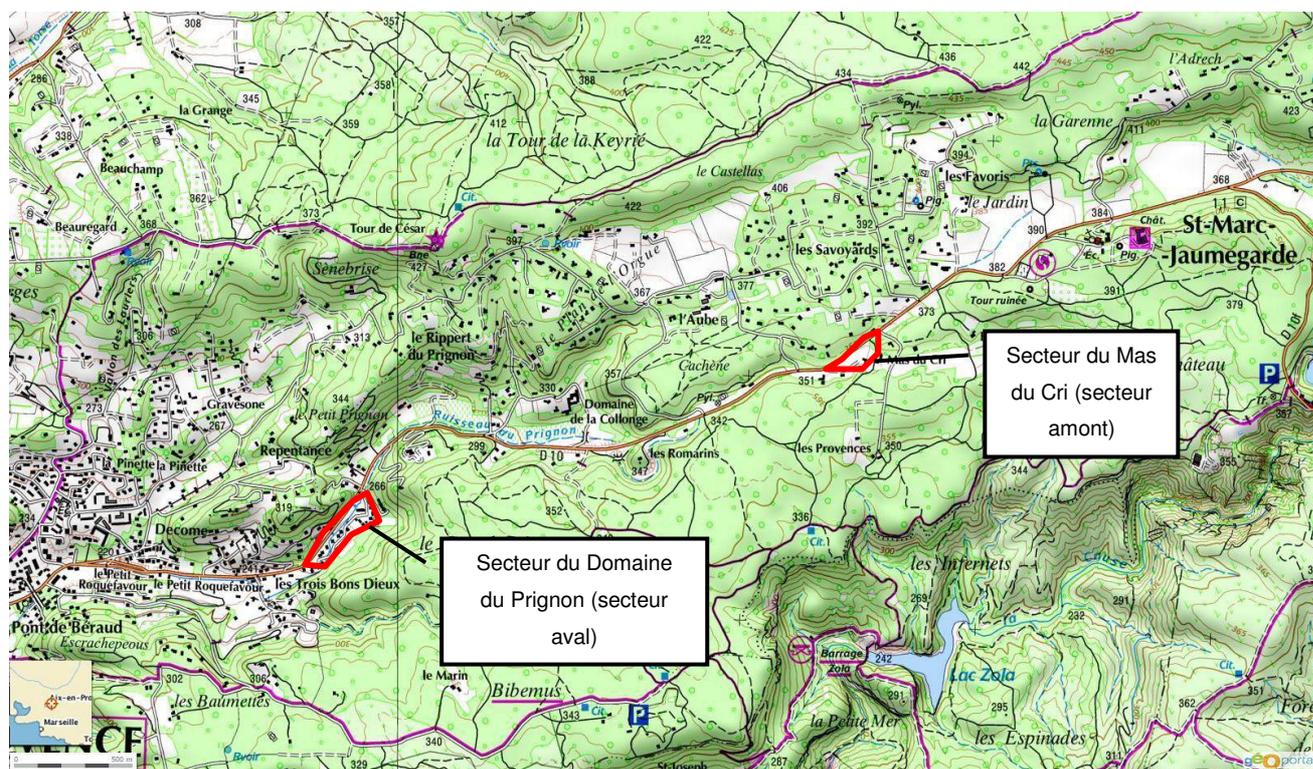


Fig. 23 : Localisation des secteurs à enjeux

À l'ouest de la commune, se trouve le secteur du Domaine du Prignon. Il correspond à un lotissement (Domaine du Prignon) dont certaines habitations sont situées aux abords immédiats du lit mineur du Prignon.

Le secteur à enjeux du Mas du Cri est localisé environ à 2 km en amont du Domaine du Prignon. Plusieurs propriétés bâties sont installées en bordure du Prignon qui présente à cet endroit l'aspect d'un fossé partiellement busé.

7.1 DEBITS DE REFERENCE

Le débit de référence centennal du Prignon a été établi sur la base de la méthode rationnelle et de la pluviométrie retenue pour l'élaboration du schéma pluvial.

Les temps de concentration ont été définis par plusieurs méthodes de calcul hydrologiques :

- la formulation de Ventura,
- la formulation de Passini,
- la méthode du guide du SETRA (consistant à diviser le chemin hydraulique du bassin versant en des tronçons de pente homogène et à calculer un temps d'écoulement sur chaque tronçon par une relation entre la pente et la vitesse, différente selon si les écoulements sont diffus ou concentrés).

Ces trois méthodes ont permis de définir dans un premier temps un intervalle de validité.

Les caractéristiques du bassin versant du Prignon sont les suivantes :

Caractéristiques du bassin versant		Prignon aval rd point du quartier des Savoyards	Prignon exutoire
Superficie	ha	94.90	359.60
Longueur	m	1740.00	4855.00
Pente moyenne	%	5.2	4.2
C ruissellement centennal	%	33	33
Cote exutoire (mini)	m	353.00	240.50
cote maxi	m	443	443
Temps de concentration	min	37	73
Q100	m ³ /s	13.2	40.2
Débit pseudo spécifique (Q/S^{0.8})	m ³ /s/km ^{20.8}	13.8	14.4

Tableau 4 : Caractéristiques et débits du Prignon

L'ordre de grandeur des débits pseudo spécifiques obtenus est cohérent avec la nature et la taille du bassin versant dans la région.

A noter également que cette méthode de calcul (rationnelle) donne des débits du même ordre de grandeur que ceux calculés avec la modélisation Mike Urban (respectivement 12.1 m³/s et 37.3m³/s), tout en étant sécuritaire.

7.2 MODELISATION DES ECOULEMENTS



7.2.1 METHODOLOGIE GENERALE

Le calcul des lignes d'eau du Prignon est réalisé par la mise en œuvre du modèle unidimensionnel HEC-RAS 4.1.0 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). Ce code de calcul a été développé par la cellule hydrologique de l'US Army Corps of Engineers (USA).

Sa finalité est de modéliser les écoulements en régime permanent, rapidement ou graduellement varié en prenant en compte :

- des écoulements en régime fluvial ou torrentiel,
- des écoulements noyés ou dénoyés sur les seuils et déversoirs,
- le franchissement d'ouvrages de traversée,
- les pertes de charge singulières,

Les calculs sont conduits en considérant des conditions normales d'écoulement ; l'hypothèse de formation d'embâcles n'est donc pas retenue.

Notons que le charriage de débris divers en cas de crue et les phénomènes d'embâcles ne sont pas pris en compte dans la modélisation. Notons également que, par hypothèse, les calculs sont réalisés à fond fixe. Aucune modélisation du transport sédimentaire ni aucune variation du fond du lit n'est modélisée dans la présente étude.

7.2.2 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

7.2.2.1 Modèles numériques de terrain

Le MNT fourni par la CPA donne un point topographique tous les 5 m avec une précision altimétrique de 15 cm.

7.2.2.2 Levés terrestres

Des levés terrestres des profils en travers du lit mineur et des ouvrages ont été réalisés en 2016 par INGEROP. Ces levés ont été rattachés au même repère de nivellement que le MNT CPA.

7.3 CONSTRUCTION DU MODELE

7.3.1 MODELE 1D – LIT MINEUR ET LIT MAJEUR

Le modèle 1D (unidimensionnel) du lit mineur des différents cours d'eau a été établi sous le logiciel HEC-RAS. La géométrie du cours d'eau est définie par son profil en long et ses différents profils en travers.

Deux tronçons du Prignon ont été modélisés :

- Secteur quartier des Savoyards : 800 m
- Secteur aval : 800m

Au total, le modèle est constitué de 35 profils en travers, sur un linéaire total de 1.6 km de cours d'eau, ce qui représente une interdistance moyenne entre profils d'environ 50 m. Ce modèle comporte également 11 ouvrages hydrauliques (ponts, seuils, etc...).

7.3.2 COEFFICIENT DE RUGOSITE

Un coefficient de rugosité a été attribué en fonction de l'occupation du sol. Les coefficients de rugosité retenus pour chaque type d'occupation du sol sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Occupation du sol	Coefficient de rugosité
Zones boisées	10
Zones urbanisées / jardins	15
Routes /prairies	35

Tableau 5 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur

Les coefficients de rugosité retenus dans les lits mineurs sont les suivants :

Type de surface	Coefficient de rugosité
Lit naturel fortement encombré	15
Lit naturel moyennement	30
Lit bétonné	40

Tableau 6 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur

Il est important de rappeler que les bâtiments ont été intégrés au modèle hydraulique en tant qu'obstacle à l'écoulement des crues (mise hors d'eau). Le coefficient de rugosité retenu en lit majeur intègre ainsi les différentes occupations du sol rencontrées et la prise en compte des effets d'obstacles des différents éléments (mobilier urbain, murets, etc...).

Le coefficient de rugosité retenu en lit mineur traduit plusieurs éléments (sinuosité, rugosité de fond, présence plus ou moins importante de végétation).

7.3.3 CONDITIONS AUX LIMITES

7.3.3.1 Condition amont

Compte tenu de la longueur limitée des modèles et de l'absence d'affluent significatifs sur les secteurs modélisés, les injections de débit se font ponctuellement en amont du modèle.

Le calcul est réalisé en régime permanent. Les débits centennaux calculés précédemment ont été modélisés.

7.3.3.2 Condition aval

Une loi hauteur – débit est calculée en fonction de la géométrie de ce profil et de la pente du tronçon aval. Elle correspond à une condition libre d'écoulement des eaux.

7.4 RESULTATS DES SIMULATIONS

Les résultats de la simulation sont présentés en annexe.

7.5 CARTOGRAPHIE DES ALEAS

A partir des résultats de la modélisation, la cartographie des aléas (annexe 8) a été réalisée en croisant les paramètres hauteur d'eau et vitesse suivant la grille suivante :

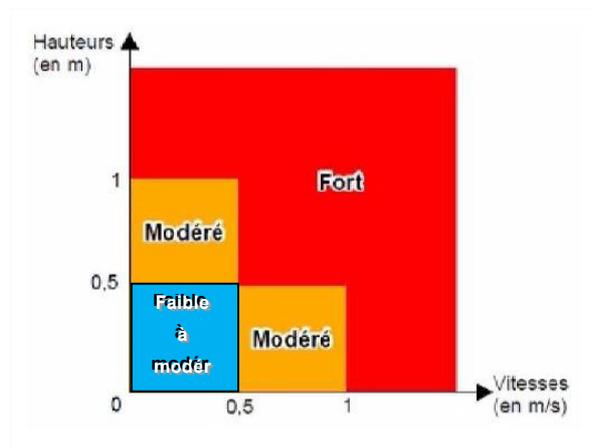


Fig. 24 : Aléa de référence – Source DDTM 13

Note : le logiciel HEC-RAS permet de discrétiser la vitesse au droit d'un profil en travers. Les paramètres ont été interpolés entre chaque profils en travers en prenant en compte les informations du MNT CPA





8 ANNEXE 1 : DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS





9 ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Etat actuel									
Nom du BV	Surface (m ²)	Point haut (mNGF)	Point bas (mNGF)	Longueur (m)	Pente (/1000)	Cr10ans (%)	Cr30ans (%)	CR100ans (%)	Cimp (%)
R57	3448.3	384	374	85.5	116.9	49.2	53.6	61.6	30.2
R50	18956.3	388	366	232.6	94.6	41.2	45.7	54.3	16.9
R42	9450.3	379.5	365	160.5	90.3	45.2	49.6	57.8	23.4
R44	16488.3	401	380	254.2	82.6	39.5	44.1	53.0	14.5
R39	7054.1	388	379	143.0	62.9	36.1	40.7	49.8	11.8
R38	3742.0	385	377	101.4	78.9	23.3	28.0	37.5	5.5
R45	669.3	392	389	71.8	41.8	57.4	62.4	70.1	45.5
R48	5616.2	396.5	387	142.9	66.5	39.5	44.0	52.7	14.0
R58	5054.9	389	384	120.3	41.6	36.1	41.0	50.3	9.8
Fo20	4430.8	386.5	373	117.0	115.4	43.1	47.6	56.0	20.0
Fo21	9094.1	419	392.5	220.9	119.9	26.3	31.0	40.2	8.1
Fo22	1114.3	401	392	113.9	79.0	50.6	55.6	63.8	35.1
R62	2466.5	379	367	111.6	107.5	38.3	43.2	51.5	31.0
Bu14	217104.8	422	322	727.3	137.5	21.1	25.8	35.2	8.7
Bu2	76552.1	446	365	606.7	133.5	16.7	21.6	31.1	6.0
R119	42564.9	441	365	534.0	142.3	14.3	19.2	29.0	3.2
R117	176350.9	462	364	830.8	118.0	16.5	21.3	30.9	5.5
Bu5	55992.8	464	413	459.2	111.1	13.1	18.0	27.8	2.5
Bu4	80262.1	464	413	433.1	117.7	10.5	15.5	25.5	0.4
Fo1	12859.1	407	368	176.1	221.4	10.4	15.4	25.3	0.5
Bu1	2380.8	391	374	79.8	213.1	21.2	26.1	35.4	13.9
AR116	2954.5	370	366.5	83.1	42.1	20.7	25.6	35.1	7.2
Fo6	19943.6	403	378	268.1	93.2	29.8	34.3	42.7	23.0
R111	1108.8	392	385	65.2	107.3	47.9	52.9	60.6	47.0
Fo7	1955.2	402	387	95.8	156.5	37.3	42.2	50.4	33.8
Fo5	19364.4	404	374	233.9	128.2	15.8	20.7	30.3	6.6
Fo4	18295.3	403	370	239.5	137.8	13.9	18.9	28.6	4.9
R112	14927.9	408	385	287.8	79.9	22.6	27.6	37.2	7.1
Fo8	6087.3	388.5	378	165.8	63.3	22.5	27.5	37.3	5.5
Fo9	34340.3	414	374	566.5	70.6	14.1	19.1	29.0	2.9
Fo10	156838.6	451	373	947.0	82.4	12.6	17.5	27.4	1.8
R113	29197.9	388	369.5	392.8	47.1	20.1	25.1	35.1	0.2
R114	13151.7	408	368	205.5	194.7	15.7	20.7	30.3	7.2
R115	128770.3	462.5	367	919.9	103.8	16.7	21.6	31.4	3.8
Fo2	5197.1	373	368	184.3	27.1	20.9	25.9	35.8	1.2
BR116	9252.8	374	366.5	212.3	35.3	27.1	32.1	41.3	15.1
Fo3	19182.9	408	369	288.7	135.1	14.7	19.7	29.4	5.9
Bu3	15827.3	410	372	217.9	174.4	13.9	18.9	28.6	4.8



Etat actuel									
Nom du BV	Surface (m ²)	Point haut (mNGF)	Point bas (mNGF)	Longueur (m)	Pente (/1000)	Cr10ans (%)	Cr30ans (%)	CR100ans (%)	Cimp (%)
Fo11	16312.3	403	389	288.5	48.5	24.3	29.1	38.1	17.5
R107	37483.3	402	381	431.4	48.7	33.9	38.7	46.9	33.7
Fo27	9510.2	390.5	381	420.8	22.6	25.7	30.7	40.2	8.6
Bu6	220331.9	428	378	795.7	62.8	15.9	20.9	30.8	0.9
R106	357086.3	443	378	976.1	66.6	16.2	21.0	30.6	4.8
Bu7	12914.5	389	376	267.3	48.6	15.3	20.3	30.0	5.8
R102	20811.3	386	373	212.2	61.3	20.0	24.9	34.3	8.2
R96	32537.0	403	375	458.8	61.0	25.9	30.6	39.7	13.8
R94	9445.8	382	367.5	248.2	58.4	23.2	28.2	37.7	10.6
Bu8	17588.7	377	363.5	278.9	48.4	12.9	17.9	27.8	1.7
Bu18	2597.3	377	368.5	92.6	91.8	34.2	39.0	47.5	25.0
R93	113269.3	419.5	364	740.3	75.0	23.5	28.2	37.4	10.6
R91	6754.1	370	362	147.7	54.2	29.5	34.0	42.9	14.4
R88	41227.0	370	354.5	337.4	45.9	18.4	23.3	33.0	3.2
R90	8581.3	379	358	212.8	98.7	28.4	33.0	41.8	16.8
R85	31840.0	384	356	406.1	68.9	17.9	22.8	32.4	5.6
R84	10721.3	365	352	161.1	80.7	19.1	23.9	33.4	7.0
R83	41166.2	384	351	419.0	78.8	20.6	25.3	34.6	8.0
R79	55764.6	379	349	440.3	68.1	18.9	23.8	33.3	7.5
Bu9	52993.5	373	346	378.3	71.4	13.4	18.4	28.1	3.5
R74	38772.5	372	344	380.9	73.5	11.5	16.5	26.4	2.0
R72	71112.2	367.5	342	403.2	63.2	11.9	16.9	26.7	2.8
R70	5349.8	359.5	342	127.6	137.2	24.2	29.2	38.3	17.7
R67	16095.2	360	337	193.7	118.7	16.2	21.2	30.8	7.7
R65	7019.5	358	332	144.6	179.8	17.8	22.8	32.3	9.8
Fo12	151122.5	359	315	857.4	51.3	10.3	15.3	25.3	0.4
Bu10	355445.2	433.5	358	1366.2	55.3	19.8	24.5	33.9	7.1
Bu21	102426.1	422.5	372	654.2	77.2	15.6	20.6	30.5	0.8
Fo30	3546.8	377	372	136.3	36.7	56.5	60.7	67.2	53.1
Bu20	3934.2	376	368	154.6	51.7	33.2	38.1	46.8	24.1
Bu19	66816.8	419	368.5	487.3	103.6	17.3	22.3	32.1	2.9
R64	155262.8	419	366	599.5	88.4	19.9	24.7	34.4	4.0
Fo19	51422.7	366.5	331	289.3	122.7	16.7	21.6	31.2	4.9
R49	43325.6	382	321	338.0	180.5	19.4	24.2	33.6	5.9
R51	31240.8	365	314	273.2	186.7	28.7	33.3	42.0	18.5
Bu26	6330.2	349	317	204.5	156.5	14.0	19.0	28.8	5.0
R52	42871.8	354	315	442.4	88.1	10.2	15.2	25.2	0.3
Fo15	88926.4	363.5	308	521.6	106.4	13.0	18.0	27.8	3.8
Fo13	7666.4	344	310	177.7	191.3	16.3	21.1	30.5	7.4
R37	19358.7	351	310	240.5	170.5	10.9	15.9	25.8	1.0
Fo14	27857.1	328	303	240.4	104.0	21.2	26.2	35.7	8.2



Etat actuel									
Nom du BV	Surface (m ²)	Point haut (mNGF)	Point bas (mNGF)	Longueur (m)	Pente (/1000)	Cr10ans (%)	Cr30ans (%)	CR100ans (%)	Cimp (%)
R35	12700.4	365	315	177.8	281.2	29.5	34.1	42.7	18.3
Fo18	13326.7	362	311	186.1	274.1	24.9	29.7	38.8	12.7
Bu13	5654.3	317	302	154.7	97.0	34.5	38.9	47.1	24.6
Bu12	14767.1	330	302	229.6	121.9	28.9	33.7	43.0	7.8
R34	4056.9	312	298	138.1	101.3	26.6	31.4	40.3	16.0
Fo16	111728.9	351	297	504.3	107.1	12.8	17.8	27.7	1.9
Fo17	16422.1	367	299	267.7	254.0	24.0	28.6	37.7	10.9
Bu11	2247.5	306	297	89.4	100.7	27.5	32.1	40.9	15.6
Bu16	178404.1	427	286	774.5	182.1	16.6	21.5	31.1	5.0
Bu17	54307.3	354	278	418.5	181.6	17.0	22.0	31.6	5.5
R27	5601.1	320	282	150.1	253.2	23.3	28.2	37.3	15.9
R23	5436.2	315	277	120.3	315.8	21.7	26.5	35.5	13.4
Fo23	20310.6	341	276.5	284.1	227.0	14.2	19.1	28.7	5.0
R15	1485.3	278	269	99.3	90.6	32.3	37.3	45.9	27.7
AR18	40162.7	342	269	376.9	193.7	14.9	19.8	29.4	5.0
BR18	36052.9	343	268	302.4	248.0	14.0	18.9	28.6	3.4
R6	23110.3	319	266	325.6	162.8	20.1	24.7	33.9	8.6
Fo24	163997.3	348.5	258	838.9	107.9	15.3	20.2	29.9	4.5
Fo25	86085.0	333	252.5	418.0	192.6	20.1	25.0	34.5	6.3
Foexu	77154.3	314	250	405.6	157.8	30.3	35.0	44.2	11.2
Bu15	2438.5	323	298	62.4	400.5	28.4	33.4	42.3	22.5
R21	3093.7	293	273.5	106.4	183.3	12.9	17.9	27.7	3.6
R9	18465.3	320	266	228.5	236.4	14.9	19.8	29.5	3.3



10 ANNEXE 3 : DEBITS DE POINTE DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Le tableau ci-dessous donne le débit de pointe propre à chaque sous-bassins versants. Les débits au niveau du réseau, prenant en compte l'ensemble des apports et la propagation des écoulements dans le réseau, sont donnés sur les plans en annexe 4.

BV	Qp (10ans)	Qp (100ans)
AR116	0.026	0.065
AR18	0.239	0.74
BR116	0.091	0.228
BR18	0.208	0.646
Bu1	0.022	0.053
Bu10	1.316	5.304
Bu11	0.027	0.058
Bu12	0.176	0.398
Bu13	0.085	0.167
Bu14	1.338	4.1
Bu15	0.03	0.065
Bu16	0.912	3.143
Bu17	0.349	1.041
Bu18	0.037	0.077
Bu19	0.379	1.241
Bu2	0.439	1.377
Bu20	0.054	0.115
Bu21	0.516	1.794
Bu26	0.038	0.114
Bu3	0.091	0.284
Bu4	0.276	1.184
Bu5	0.252	0.9
Bu6	0.76	3.344
Bu7	0.072	0.231
Bu8	0.078	0.292
Bu9	0.219	0.861
Fo1	0.058	0.204
Fo10	0.599	2.417
Fo11	0.152	0.375
Fo12	0.36	1.937
Fo13	0.054	0.146
Fo14	0.223	0.603
Fo15	0.356	1.43
Fo16	0.418	1.753
Fo17	0.172	0.388



BV	Qp (10ans)	Qp (100ans)
Fo18	0.145	0.324
Fo19	0.313	0.957
Fo2	0.042	0.112
Fo20	0.083	0.155
Fo21	0.102	0.229
Fo22	0.025	0.045
Fo23	0.119	0.365
Fo24	0.733	2.694
Fo25	0.63	1.771
Fo27	0.075	0.217
Fo3	0.113	0.353
Fo30	0.08	0.145
Fo4	0.105	0.328
Fo5	0.126	0.356
Fo6	0.225	0.516
Fo7	0.032	0.062
Fo8	0.058	0.142
Fo9	0.179	0.601
Foexu	0.803	1.973
R102	0.151	0.426
R106	1.435	5.452
R107	0.436	1.003
R111	0.023	0.042
R112	0.138	0.343
R113	0.208	0.598
R114	0.09	0.25
R115	0.628	2.221
R117	0.971	3.13
R119	0.23	0.749
R15	0.021	0.043
R21	0.017	0.054
R23	0.051	0.121
R27	0.057	0.131
R34	0.047	0.102
R35	0.154	0.34
R37	0.087	0.303
R38	0.038	0.088
R39	0.102	0.213
R42	0.193	0.342
R44	0.246	0.53
R45	0.017	0.029
R48	0.089	0.185



BV	Qp (10ans)	Qp (100ans)
R49	0.336	0.883
R50	0.312	0.624
R51	0.371	0.814
R52	0.163	0.657
R57	0.074	0.133
R58	0.073	0.154
R6	0.186	0.491
R62	0.041	0.08
R64	0.81	2.706
R65	0.054	0.142
R67	0.104	0.311
R70	0.056	0.128
R72	0.247	1.076
R74	0.184	0.611
R79	0.325	1.052
R83	0.291	0.824
R84	0.082	0.224
R85	0.21	0.612
R88	0.222	0.707
R9	0.12	0.341
R90	0.103	0.225
R91	0.075	0.176
R93	0.698	2.273
R94	0.088	0.216
R96	0.299	0.767





11 ANNEXE 4 : RESULTATS DES MODELISATIONS A L'ETAT ACTUEL DU RESEAU







12 ANNEXE 5 : NOTICE SIG

La cartographie hydrogéomorphologique et Hydraulique de la commune a été réalisée sous Q.GIS et plusieurs tables vectorielles (.shp) ont été constituées.

Toutes les tables sont construites à l'identique, les tables attributaires contenant les champs suivants :

- Identifiant : numéro unique d'objet
- Type : codification relative à la nature de l'objet
- Libellé : nature de l'objet en toute lettre
- Nom de l'étude, du maître d'ouvrage, du producteur
- Date : date de la dernière modification.

Libellé de la table	Type d'objets	Contenu
S_INON	Surfaciques	Unités hydrogéomorphologiques 01 : Lit mineur 02 : Lit moyen 03 : Lit majeur 05 : Zones de ruissellements concentrés 06 : Zones de ruissellements à dynamiques divergentes, ou de ruissellements en nappe 08 : Zones de ruissellements très concentrés 09 : Lac 10 : Zones de production du ruissellement
L_MORPHO	Linéaires	Structures morphologiques 01 : Pied de versant 02 : Talus net 03 : Talus peu net
L_GEOM	Linéaires	Éléments d'hydrodynamique 01 : Lit mineur (linéaire) ou drain 02 : Axe de crue 04 : Glacis, glacis-cône, cône 05 : Tête de vallon, micro-vallons 06 : Axe de ruissellement
L_ANTHRO	Linéaires	Éléments anthropiques perturbateurs 01 : Remblai d'infrastructure 02 : Zone, chemin ou route décaissé 03 : Ouvrage de franchissement 04 : Merlon, digue 06 : Barrage 07 : Lit mineur couvert
S_ANTHRO	Surfaciques	Éléments anthropiques 01 : Remblai
S_ALEAMH	Surfaciques	Zonage d'aléas inondation par débordement issus des modélisations hydrauliques d'Ingerop modifiées par Géorives 01 : Aléa fort 02 : Aléa modéré 04 : Aléa faible à modéré 03 : Aléa résiduel
S_ALEAHGM	Surfaciques	Zonage d'aléas inondation (par débordement ou ruissellement confondus) issus de l'étude hydrogéomorphologique 01 : Aléa fort 02 : Aléa modéré 03 : Aléa érosion hydrique



13 ANNEXE 6 : LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS DU PRIGNON





Fig. 25 : Localisation des profils en travers sur le secteur Les Savoyards / Mas du Cris

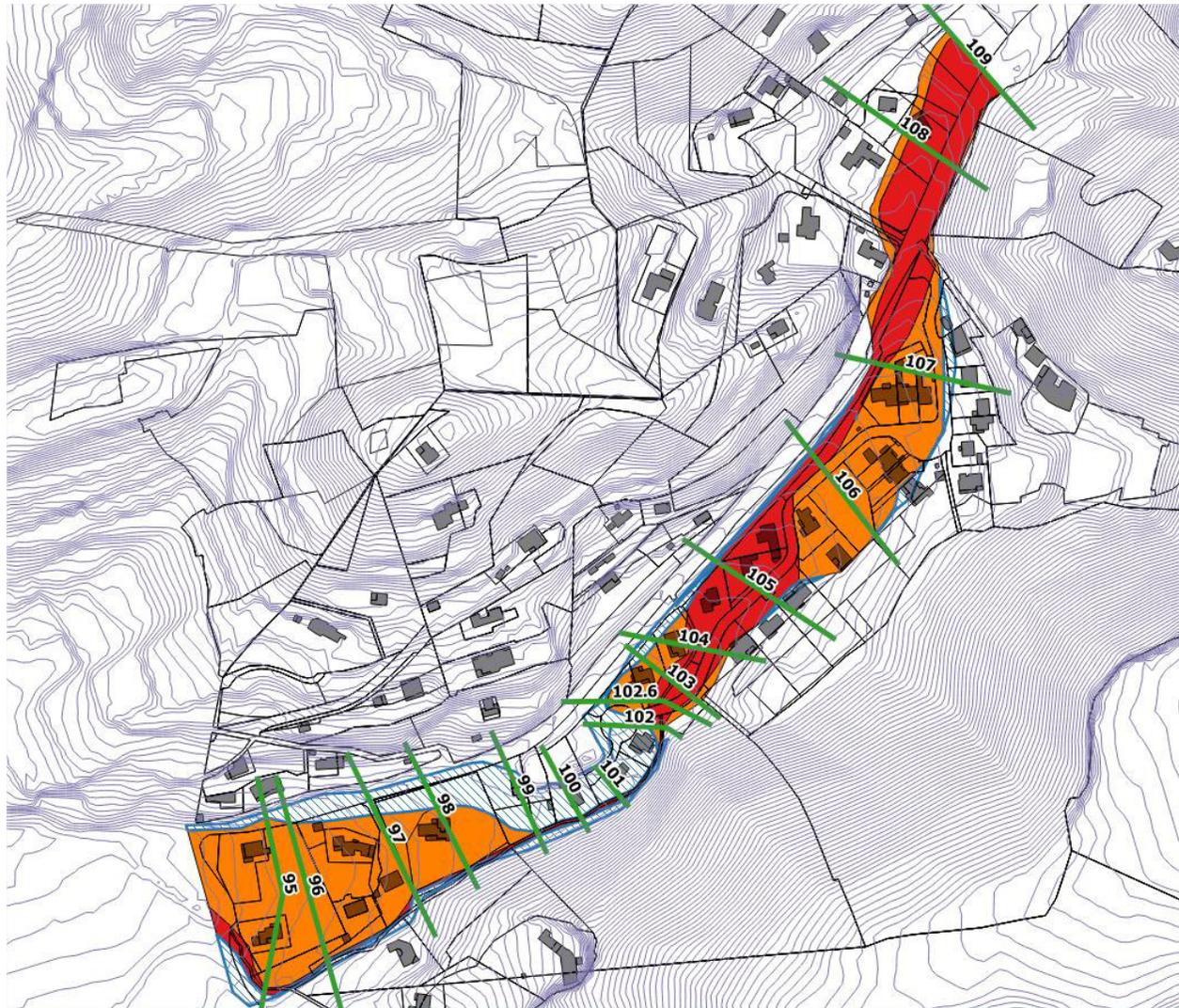


Fig. 26 : Localisation des profils en travers sur le secteur le Petit Prignon / Les Trois Bons Dieux



14 ANNEXE 7 : COTES DE REFERENCE – RUISSEAU DU PRIGNON – CRUE CENTENNALE

Secteur Les Savoyards / Mas du Cris			Secteur Petit Prignon / Les Trois Bons Dieux		
Numéro Profil	Q Total	Cote surface libre	Numéro Profil	Q Total	Cote surface libre
	(m3/s)	(m NGF)		(m3/s)	(m NGF)
217	13.2	376.23	109	40.24	272.24
216	13.2	367.27	108	40.24	270.4
215	13.2	364.71	107	40.24	263.73
214	13.2	364.27	106	40.24	259.06
213	13.2	363.13	105	40.24	256.45
212	13.2	363.27	104	40.24	254.36
211	13.2	362.16	103	40.24	253.66
210	13.2	362.21	102.6	40.24	253.54
209	13.2	358.56	102	40.24	251.81
208	13.2	358.72	101	40.24	249.91
207	13.2	357.34	100	40.24	248.98
206	13.2	356.34	99	40.24	247.96
205	13.2	355.16	98	40.24	246.41
204.6	13.2	354.94	97	40.24	244.71
204.4	13.2	354.5	96	40.24	243.21
204	13.2	353.83	95	40.24	242.21
203	13.2	353.37			
202.6	13.2	353.31			
202	13.2	352.5			
201	13.2	349.47			





15 ANNEXE 8 : CARTE DES ALEAS INONDATIONS PAR RUISSELLEMENT OU DEBORDEMENT DE COURS D'EAU

