

### 4.3 PARAMÈTRES DE MODÉLISATION PAR SOUS-BASSIN VERSANT ET PAR TRONÇON

#### 4.3.1 CURVE NUMBER ET TEMPS DE RÉPONSE PAR SOUS-BASSIN VERSANT

Les paramètres de production des sous-bassins versants sont consignés dans le tableau suivant :

Id	Cours d'eau	Nœud exutoire	Sous BV	Superficie (km2)	Curve Number	Temps de réponse (min)
MAUR_010	Ruisseau de la Maure	MAUR_010	Pansard	5.7	84	77
PEOU_010	Ruisseau du Jas de Péou	PEOU_010	Maravenne	3.7	82	51
GAYO_010	Vallon des Gayouflières	GAYO_010	Maravenne	2.1	84	33
GAYO_020	Vallon des Gayouflières	MARA_010	Maravenne	0.2	85	13
MARA_010	Maravenne	MARA_010	Maravenne	0.2	76	10
VALC_010	Ruisseau de Valcros	VALC_010	Maravenne	0.6	85	25
VALC_020	Ruisseau de Valcros	MARA_020	Maravenne	0.4	86	26
TAMA_010	Ruisseau de Tamary	TAMA_010	Maravenne	2.1	82	46
TAMA_020	Ruisseau de Tamary	TAMA_020	Maravenne	1.1	84	33
VALA_010	Valat	TAMA_010	Maravenne	0.8	84	26
VAUS_010	Vausselle	TAMA_035	Maravenne	0.6	84	25
TAMA_030	Ruisseau de Tamary	TAMA_035	Maravenne	0.9	82	29
TAMA_040	Ruisseau de Tamary	TAMA_040	Maravenne	0.3	84	16
MOUI_010	Mouisson	TAMA_040	Maravenne	0.8	85	30
MARA_020	Maravenne	MARA_020	Maravenne	5.1	83	63
MARA_030	Maravenne	MARA_030	Maravenne	1.2	81	38
TAMA_050	Ruisseau de Tamary	TAMA_055	Maravenne	0.8	83	29
SANG_010	Ruisseau du Sanglier	TAMA_055	Maravenne	0.3	84	20
LAPI_010	Ruisseau du Lapin	TAMA_060	Maravenne	0.3	83	20
TAMA_080	Ruisseau de Tamary	TAMA_080	Maravenne	1.2	80	39
VALL_010	Valletane	VALL_010	Maravenne	0.2	84	15

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Id	Cours d'eau	Nœud exutoire	Sous BV	Superficie (km2)	Curve Number	Temps de réponse (min)
GALI_010	Galinette	GALI_010	Maravenne	2.2	84	60
CHEV_020	Ruisseau du Chevreuil	MARA_055	Maravenne	0.4	75	44
MARA_050	Maravenne	MARA_050	Maravenne	0.4	70	35
HONO_010	Saint Honoré	HONO_010	Maravenne	0.4	79	27
VALN_010	Val Rose Nord	VALN_015	Maravenne	1.2	81	41
VALS_010	Val Rose Sud	VALN_015	Maravenne	0.6	80	34
HONO_020	Saint Honoré	HONO_020	Maravenne	0.1	75	28
VALN_020	Val Rose Nord	HONO_020	Maravenne	0.1	82	34
MARA_040	Maravenne	MARA_040	Maravenne	0.2	74	31
MARA_060	Maravenne	MARA_060	Maravenne	0.2	73	28
GIVA_010	Givaudanne	GIVA_010	Maravenne	0.3	77	26
CHAT_010	Chateauvert	CHAT_010	Maravenne	0.3	77	22
VALL_020	Valletane	MARA_050	Maravenne	0.3	76	29
CHEV_010	Ruisseau du Chevreuil	CHEV_010	Maravenne	0.3	85	16
GAMB_010	Vallon de Gambet	GAMB_010	Pansard	0.5	84	25
GAMB_020	Vallon de Gambet	GAMB_020	Pansard	3.4	83	56
MAUR_020	Ruisseau de la Maure	PANS_005	Pansard	1.7	81	39
PANS_010	Pansard	PANS_010	Pansard	1.3	81	36
CAST_010	Ruisseau du Castellat	CAST_010	Pansard	7.0	80	82
CAST_020	Ruisseau du Castellat	PANS_015	Pansard	0.2	80	17
PANS_020	Pansard	PANS_020	Pansard	2.9	80	49
ANGU_010	Anguille	PANS_025	Pansard	3.1	83	51
PANS_030	Pansard	PANS_030	Pansard	4.0	81	57
GAUT_010	Gautabry	PANS_040	Pansard	1.7	80	43
SALE_010	Salerne	PANS_040	Pansard	0.8	76	24
PANS_040	Pansard	PANS_040	Pansard	0.1	66	26
PANS_050	Pansard	PANS_050	Pansard	0.1	69	19
VILS_010	Village Vacances Sud	PANS_062	Pansard	0.3	81	22
PANS_060	Pansard	PANS_060	Pansard	1.1	79	39
VILN_010	Village Vacances Nord	PANS_060	Pansard	0.2	81	18
ECUR_01	Ecureuil	PANS_062	Pansard	0.7	81	31
VALE_010	Valentines	PANS_065	Pansard	0.4	76	27
JASH_010	Haut Jasson	PANS_065	Pansard	0.7	78	34
JASB_010	Bas Jasson	PANS_067	Pansard	0.3	76	26
PANH_010	Haut Pansard	PANS_067	Pansard	0.3	78	21
PANM_010	Moyen Pansard	PANS_067	Pansard	0.2	76	22
JOUA_010	Jouasse	PANS_068	Pansard	0.4	77	39
HONO_030	Saint Honoré	MARA_060	Maravenne	0.2	78	32
PANS_070	Pansard	PANS_070	Pansard	0.9	74	69
OLYM_010	Olympe	OLYM_010		0.3	72	52
PANS_090	Pansard	PANS_090	Pansard	0.4	72	76

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Id	Cours d'eau	Nœud exutoire	Sous BV	Superficie (km2)	Curve Number	Temps de réponse (min)
PANS_080	Pansard	PANS_080	Pansard	0.4	72	61
CHAT_020	Chateauvert	CHAT_020	Maravenne	0.3	71	49
CHAT_030	Chateauvert	CHAT_030	Maravenne	0.5	69	76
CHAT_040	Chateauvert	CHAT_040	Maravenne	0.2	70	51
HONO_040	Honoré	HONO_040	Maravenne	0.3	78	41
CARO_010	Caroubier	HONO_040	Maravenne	0.5	81	28
CHAT_050	Chateauvert	MARA_072	Maravenne	0.1	74	52
GROT_010	Les Grottes	GROT_010		1.4	79	56
ARGE_010	Argentière	ARGE_010		0.4	80	33
GROT_020	Les Grottes	GROT_020		0.2	72	26
MARA_090	Maravenne	MARA_090	Maravenne	0.2	81	61
GINO_010	Ginouvier	PANS_050	Pansard	1.5	80	35
PANB_010	Bas Pansard	PANS_068	Pansard	0.9	77	35
APPI_010	Ruisseau de l'Appie	APPI_010		13.9	82	128
TAMA_070	Ruisseau de Tamary	TAMA_070	Maravenne	1.3	81	32
TAMA_060	Ruisseau de Tamary	TAMA_060	Maravenne	0.2	80	21
MARA_080	Maravenne	MARA_080	Maravenne	0.6	71	54
MARA_070	Maravenne	MARA_070	Maravenne	1.0	77	82
HONO_050	Honoré	MARA_065	Maravenne	0.1	80	28
GIVA_020	Givaudanne	MARA_062	Maravenne	0.3	74	38

Tableau 4 : Paramètres de modélisation pluie-débit des sous-bassins versants

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

### 4.3.2 TEMPS DE PROPAGATION ET AMORTISSEMENT

Les paramètres de propagation des biefs sont consignés dans le tableau suivant :

Noeud_ amont	Noeud_ aval	Longueur_ m	Alt_point_ haut_m	Alt_point_ bas_m	penne moyenne (m/m)	V (m/s)	Muskingum K	Muskingum X
MAUR_010	PANS_005	1890	133	95	0.020	1.93	0.33 H	0.5
GAMB_010	GAMB_020	1955	188	115	0.037	2.63	0.25 H	0.5
GAMB_020	PANS_005	929	115	95	0.022	2.00	0.15 H	0.5
PANS_005	PANS_010	515	95	85	0.019	1.89	0.09 H	0.5
PANS_010	PANS_015	540	85	78	0.013	1.51	0.12 H	0.5
PANS_015	PANS_020	445	78	73	0.011	1.40	0.11 H	0.5
PANS_020	PANS_025	597	73	68	0.008	1.19	0.17 H	0.5
CAST_010	PANS_015	1300	100	78	0.017	1.75	0.25 H	0.5
PANS_025	PANS_030	1688	68	50	0.011	1.36	0.41 H	0.5
PANS_030	PANS_040	671	50	45	0.007	1.12	0.20 H	0.5
PANS_040	PANS_050	581	45	40	0.009	1.21	0.16 H	0.5
PANS_050	PANS_060	452	40	36	0.009	1.23	0.12 H	0.5
PANS_060	PANS_062	314	36	35	0.003	0.77	0.14 H	0.5
PANS_062	PANS_065	576	35	31	0.007	1.08	0.18 H	0.5
PANS_065	PANS_067	557	31	27	0.007	1.10	0.17 H	0.5
PANS_067	PANS_068	394	27	22	0.013	1.49	0.09 H	0.5
PANS_068	PANS_070	746	22	17	0.007	1.06	0.23 H	0.5
PANS_070	PANS_080	502	17	10	0.014	1.58	0.11 H	0.5
PANS_080	PANS_090	1355	10	9	0.001	0.55	0.82 H	0.5
PANS_090	MARA_075	49	9	8	0.020	1.94	0.05 H	0.5
MARA_075	MARA_080	808	8	4	0.005	0.92	0.29 H	0.5
MARA_080	MARA_090	262	4	2	0.008	1.14	0.08 H	0.5

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Noeud_ amont	Noeud_ aval	Longueur_ m	Alt_point_ haut_m	Alt_point_ bas_m	penne moyenne (m/m)	V (m/s)	Muskingum K	Muskingum X
TAMA_010	TAMA_020	552	131	111	0.036	2.59	0.07 H	0.5
TAMA_020	TAMA_030	315	111	100	0.035	2.55	0.05 H	0.5
TAMA_030	TAMA_035	249	100	97	0.012	1.45	0.06 H	0.5
TAMA_035	TAMA_040	675	97	83	0.021	1.96	0.11 H	0.5
TAMA_040	TAMA_050	113	83	79	0.035	2.56	0.05 H	0.5
TAMA_050	TAMA_055	353	79	76	0.008	1.20	0.10 H	0.5
TAMA_055	TAMA_055	252	76	71	0.020	1.91	0.05 H	0.5
TAMA_060	TAMA_070	795	71	62	0.011	1.40	0.19 H	0.5
TAMA_080	MARA_030	723	46	39	0.010	1.29	0.19 H	0.5
GAYO_010	MARA_010	580	158	123	0.060	3.33	0.06 H	0.5
PEOU_010	MARA_010	295	135	123	0.041	2.73	0.05 H	0.5
MARA_010	MARA_020	3382	123	62	0.018	1.82	0.62 H	0.5
VALC_010	MARA_010	703	123	88	0.050	3.00	0.08 H	0.5
MARA_020	MARA_030	1755	62	40	0.013	1.48	0.39 H	0.5
GALI_010	MARA_045	1156	60	30	0.026	2.20	0.17 H	0.5
MARA_030	MARA_045	521	40	30	0.019	1.88	0.09 H	0.5
MARA_045	MARA_050	359	30	29	0.003	0.74	0.16 H	0.5
VALL_010	MARA_050	1147	71	29	0.037	2.60	0.15 H	0.5
MARA_060	MARA_062	229	25	22	0.013	1.52	0.05 H	0.5
MARA_062	MARA_065	196	22	20	0.010	1.33	0.05 H	0.5
MARA_055	MARA_060	417	28	25	0.007	1.10	0.13 H	0.5
MARA_050	MARA_055	155	29	28	0.006	1.04	0.05 H	0.5
GIVA_010	MARA_062	673	38	22	0.024	2.11	0.11 H	0.5
CHEV_010	MARA_055	1021	63	28	0.034	2.52	0.13 H	0.5
HONO_010	HONO_025	348	42	37	0.014	1.60	0.07 H	0.5
VALN_015	HONO_025	514	42	35	0.014	1.55	0.11 H	0.5

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Noeud_ amont	Noeud_ aval	Longueur_ m	Alt_point _haut_m	Alt_point_ bas_m	penne moyenne (m/m)	V (m/s)	Muskingum K	Muskingum X
HONO_ 025	HONO_ 030	192	35	33	0.010	1.34	0.05 H	0.5
HONO_ 030	HONO_ 040	388	33	26	0.018	1.82	0.07 H	0.5
HONO_ 040	MARA_ 065	418	26	20	0.014	1.60	0.09 H	0.5
MARA_ 065	MARA_ 070	764	20	17	0.004	0.84	0.30 H	0.5
MARA_ 070	MARA_ 072	945	17	10	0.007	1.12	0.28 H	0.5
MARA_ 072	MARA_ 075	330	10	8	0.006	1.01	0.11 H	0.5
CHAT_ 010	CHAT_0 20	721	38	27	0.015	1.66	0.15 H	0.5
CHAT_ 020	CHAT_0 30	854	27	20	0.008	1.18	0.24 H	0.5
CHAT_ 030	CHAT_0 40	487	20	12	0.016	1.73	0.09 H	0.5
CHAT_ 040	MARA_ 072	276	12	10	0.007	1.11	0.08 H	0.5
GROT_ 010	GROT_ 020	480	12	7	0.010	1.34	0.12 H	0.5
TAMA_ 070	TAMA_ 080	987	62	46	0.016	1.71	0.19 H	0.5

## 5 CALAGE DU MODÈLE SUR LA CRUE DE JANVIER 2014

Le déroulement de la crue de janvier 2014 a été appréhendé à partir de plusieurs sources :

- Analyse bibliographique de l'étude « Retour d'Expérience des intempéries sur le département du Var du 19 janvier 2014, Caractérisation hydraulique de l'événement », réalisée en octobre 2014 par le CEREMA, la DREAL, et l'ORRM (étude REX janvier 2014) ;
- Enquêtes de terrain et recueil de témoignages effectués par SAFEGE au cours de l'année 2015.

### 5.1 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES DISPONIBLES

Les données de pluie que nous avons utilisées dans la modélisation pluie-débit sont issues de l'étude REX janvier 2014.

Il s'agit des pluies calculées par bassin versant, à partir de la lame d'eau radar Météo-France disponible sur ces secteurs.

Les hyétoigrammes des pluies de bassin utilisées pour le Maravenne et le Pansard sont présentés ci-dessous.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

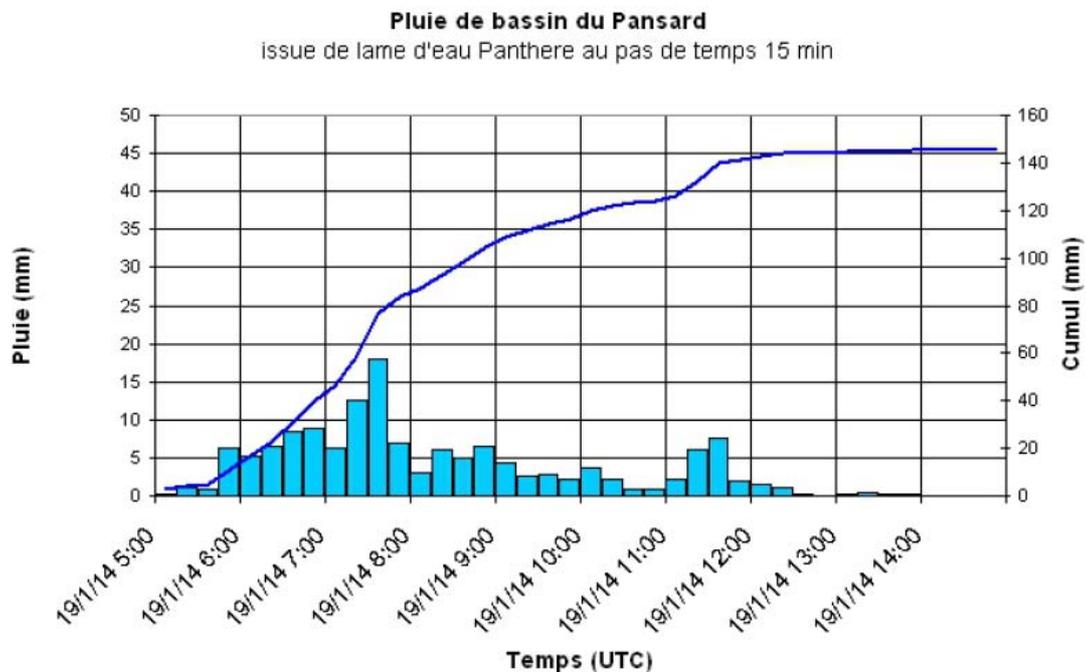
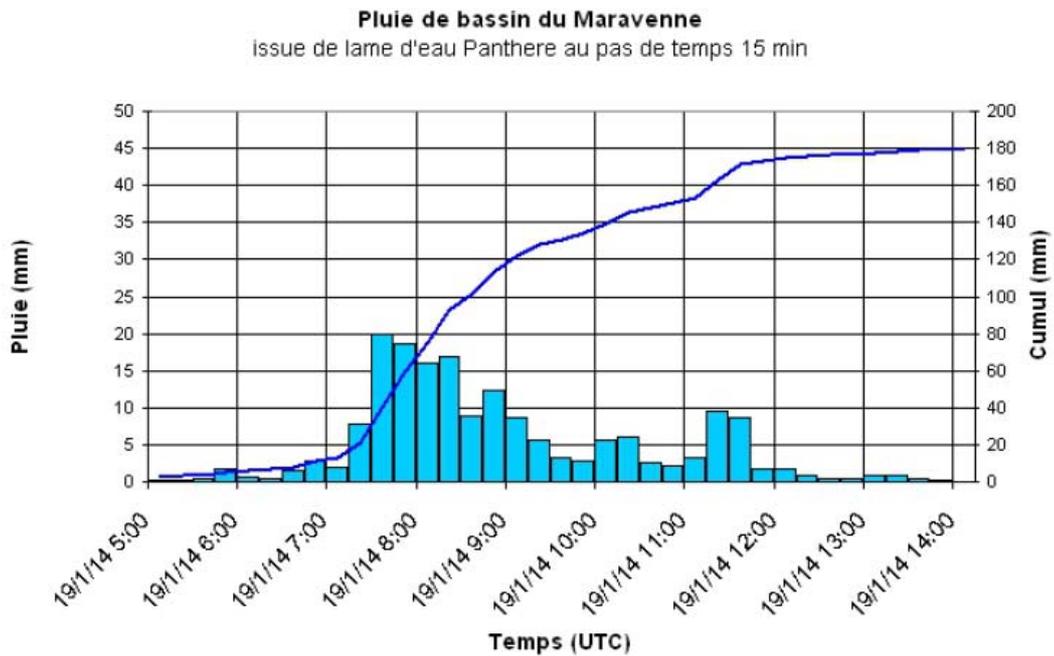


Figure 10 : Hyétogrammes des pluies de bassin de janvier 2014 pour le Maravenne et le Pansard

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Les cumuls maximaux correspondants sont les suivants :

Tableau 5 : Cumuls maximaux de pluie sur le Pansard et le Maravenne lors de l'événement de janvier 2014

	BV du Maravenne	BV du Pansard
Cumul de pluie du 1 au 31 janvier 2014	329 mm	286 mm
Cumul de pluie du 19 janvier 2014	179 mm	143 mm
Cumuls maximaux		
max1h	72 mm	46 mm
max2h	109 mm	73 mm
max3h	127 mm	93 mm
max4h	143 mm	110 mm
max6h	171 mm	136 mm
max12h	179 mm	143 mm
max24h	179 mm	143 mm

Cumuls pluviométriques maximaux sur les BV du Pansard et du Maravenne en janvier 2014

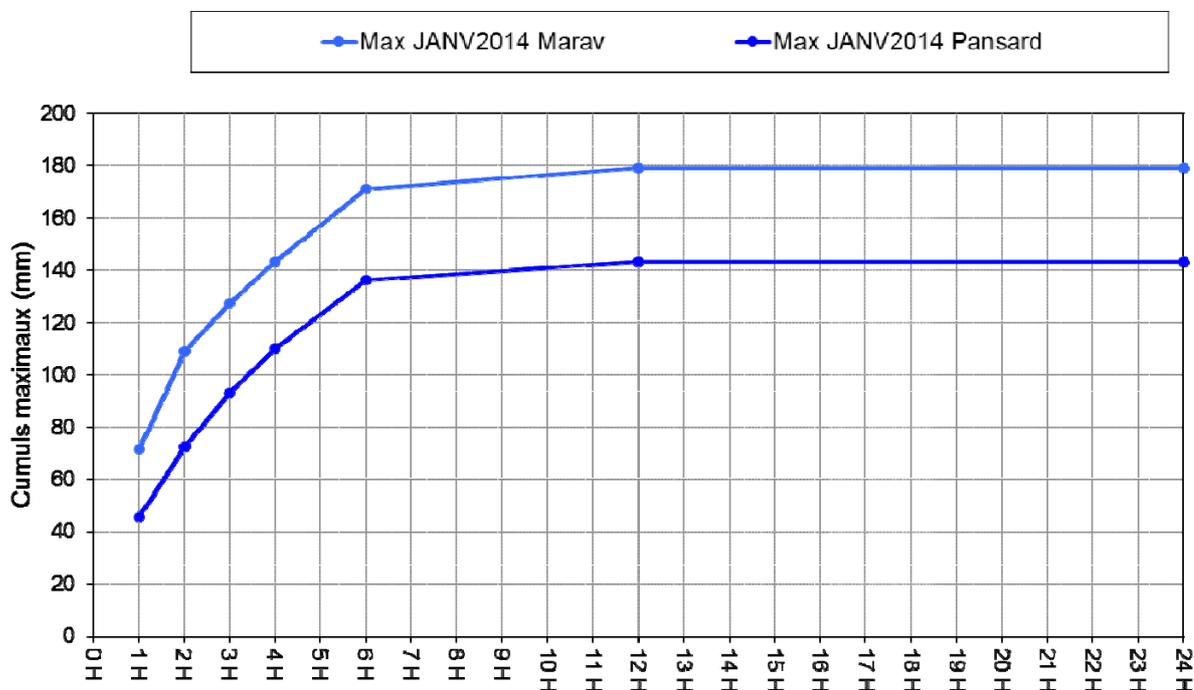


Figure 11 : Cumuls maximaux de pluie sur le Pansard et le Maravenne lors de l'événement de janvier 2014

En janvier 2014, le bassin versant du Maravenne a reçu plus de pluie que le bassin versant du Pansard, quelle que soit la durée considérée. On pressent donc que les débits du Maravenne, au moins en valeurs spécifiques, ont été plus importants que ceux du Pansard lors de la crue de janvier 2014.

### 5.2 CONDITIONS INITIALES

Lors de l'évènement pluvieux de janvier 2014, les quatre barrages implantés sur les bassins versants du Pansard et du Maravenne étaient pleins. Cette condition a été intégrée aux paramètres initiaux de la simulation pluie-débit.

Par ailleurs, au vu du cumul pluviométrique important (environ 150 mm) tombé en janvier, avant la crue du 19, nous avons considéré que les sols étaient déjà saturés en eau avant la survenue de l'évènement pluvieux du 19 janvier.

### 5.3 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Les résultats de la simulation pluie-débit de l'évènement du 19 janvier 2014 sont présentés ci-dessous :

Tableau 6 : Débits de pointe simulés pour la crue du 19 janvier 2014

Bassin versant	Maravenne	Vallon du Tamary	Pansard	Maravenne après confluence
Débit de pointe (m3/s)	321	119	213	523
Heure du débit de pointe	19/01/2014 10:45	19/01/2014 09:15	19/01/2014 11:25	19/01/2014 10:55
Surface du bassin versant (km2)	34	11	41	75
Débit de pointe spécifique (m3/s/km2)	9	11	5	7
Débit de pointe pseudo-spécifique (m3/s/km <sup>1,6</sup> )	19	18	11	16

Les débits de pointe pseudo-spécifiques sont très élevés, en particulier celui du Maravenne, qui a approché **19 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>**.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Tableau 7 : Volumes et Coefficients d'écoulement de la crue de janvier 2014

Bassin versant	Maravenne	Pansard
Lame précipitée (mm) le 19/01/2014	179	143
Volume de crue (millions de m3)	5	4
Lame écoulée (mm)	137	108
Coefficient d'écoulement	77%	75%

Sur l'ensemble de la crue, on estime qu'environ 75% de la pluie a participé à l'écoulement dans les cours d'eau.

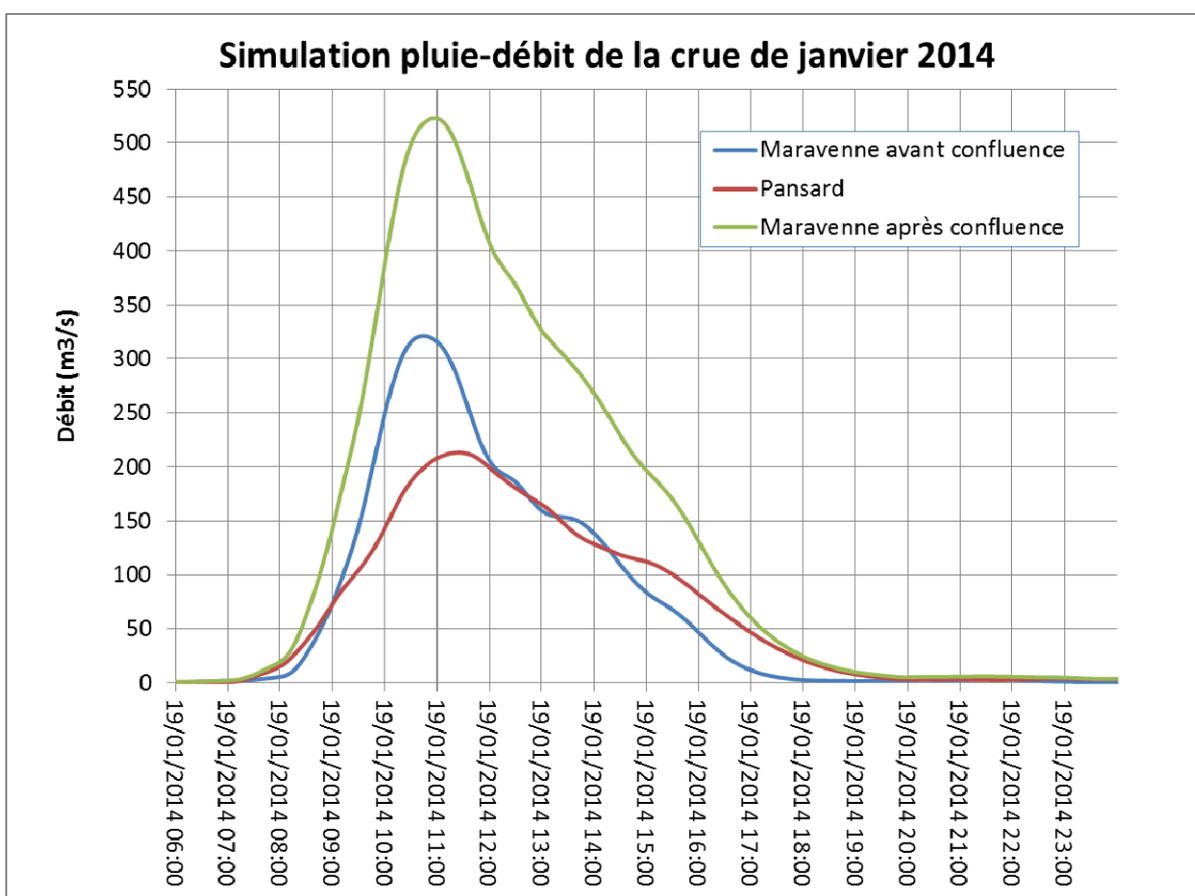


Figure 12 : Simulation pluie-débit de la crue de janvier 2014

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

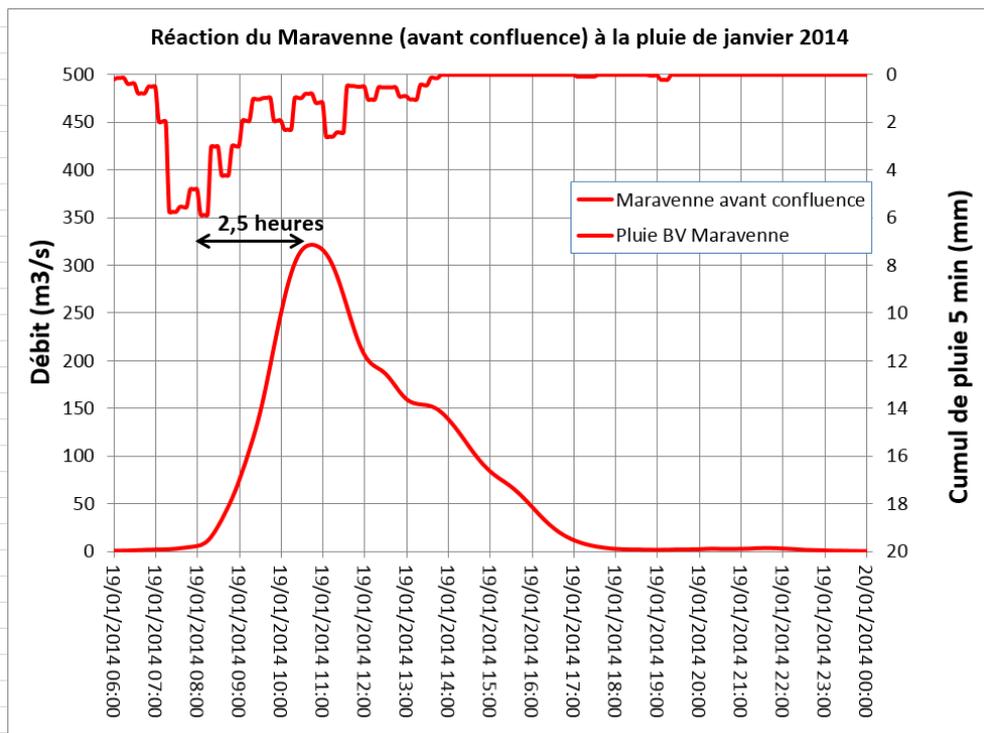


Figure 13 : Réaction du Maravenne à la pluie du 19 janvier 2014

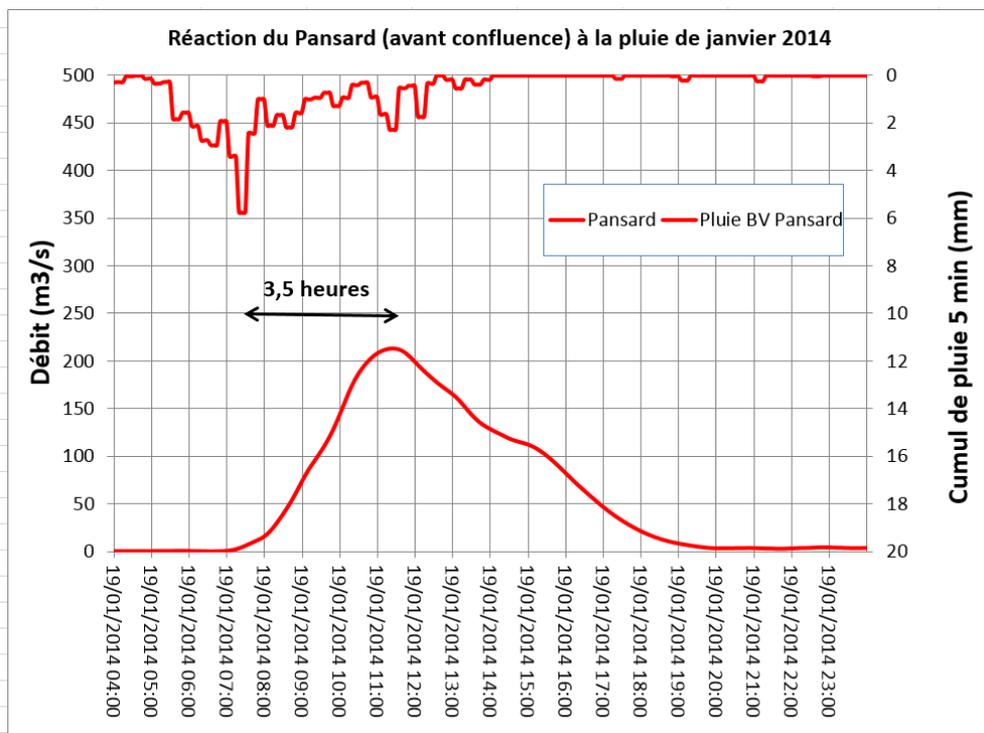


Figure 14 : Réaction du Pansard à la pluie du 19 janvier 2014

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Selon les résultats de la simulation, lors de l'évènement du 19 janvier, le Maravenne a réagi plus fortement et plus rapidement que le Pansard.

La pointe de crue du Maravenne aurait eu lieu dans la matinée du 19 janvier, à 10h45, soit environ 40 minutes avant la pointe de crue du Pansard. Le débit de pointe du Maravenne aurait été supérieur d'environ 100 m<sup>3</sup>/s à celui du Pansard.

Ces résultats sont dans les mêmes ordres de grandeur cohérents que les estimations réalisées dans l'étude du Rex Var.

**Tableau 8 : Comparaison des estimations des débits de la crue de janvier 2014 issus des analyses SAFEGE et Rex Var**

Crue de janvier 2014	Maravenne	Pansard
Analyse hydrologique SAFEGE	321 m <sup>3</sup> /s	213 m <sup>3</sup> /s
Analyse hydrologique du REX Var	200 -400 m <sup>3</sup> /s	200 -350 m <sup>3</sup> /s
Analyse hydraulique du REX Var	250 -350 m <sup>3</sup> /s	> 100 m <sup>3</sup> /s

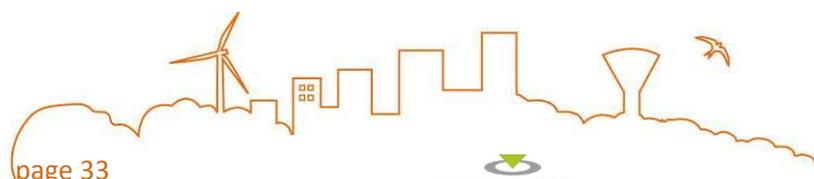
Les estimations sont par ailleurs cohérentes avec l'analyse des pluies et des bassins versants :

- Selon les lames radar, le bassin du Maravenne a reçu un cumul pluviométrique plus élevé que celui du Pansard, dans la journée du 19 janvier ;
- Selon l'analyse des caractéristiques des bassins versants, le Maravenne a un temps de réponse à la pluie plus court que celui du Pansard, ce qui favorise la concentration des débits, et une forme plus pointue des hydrogrammes de crue.

**Remarque :** Les débits de pointe estimés dans cette phase de l'étude sont issus d'une analyse purement hydrologique. Les résultats de la modalisation pluie-débit ne prennent pas en compte les phénomènes de déformation des hydrogrammes (atténuation, écrêtement, en particulier dans la plaine).

Il faut donc considérer ces estimations de débits « hydrologiques » comme des ordres de grandeurs, qui ont ensuite été affinés et calés par la modélisation hydraulique des écoulements, faisant l'objet de l'étape ultérieure de l'étude.

À partir de ces estimations de débits, l'écoulement des crues a été simulé par le modèle hydraulique, permettant d'estimer les emprises inondables, les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement sur la zone modélisée. Le calage du modèle a été réalisé par ajustement des paramètres afin de réduire l'écart entre les plus hautes eaux observées lors de la crue et les cotes d'eau simulées.



## 6 VÉRIFICATION DU MODÈLE SUR LA CRUE DE NOVEMBRE 2014

Une fois calé sur la crue de janvier 2014, le modèle a été exploité pour simuler la crue de novembre 2014. La comparaison des résultats issus du modèle et des observations des plus hautes eaux a permis de vérifier la robustesse du calage.

### 6.1 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES DISPONIBLES

Les données de pluie que nous avons utilisées dans la modélisation pluie-débit sont les pluies calculées par bassin versant, à partir de la lame d'eau radar Météo-France disponible sur ces secteurs.

Les hyétogrammes des pluies de bassin utilisées pour le Maravenne et le Pansard sont présentés ci-dessous.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

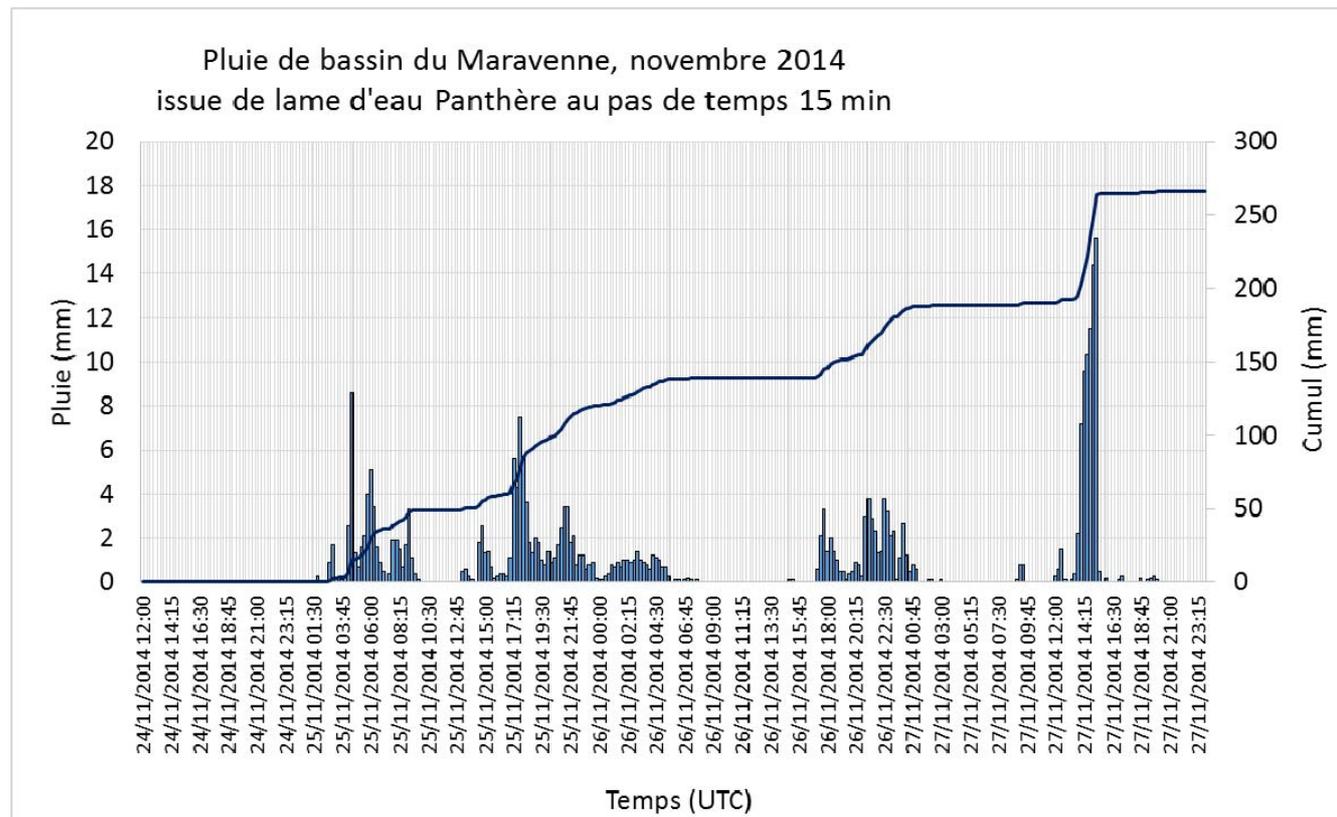
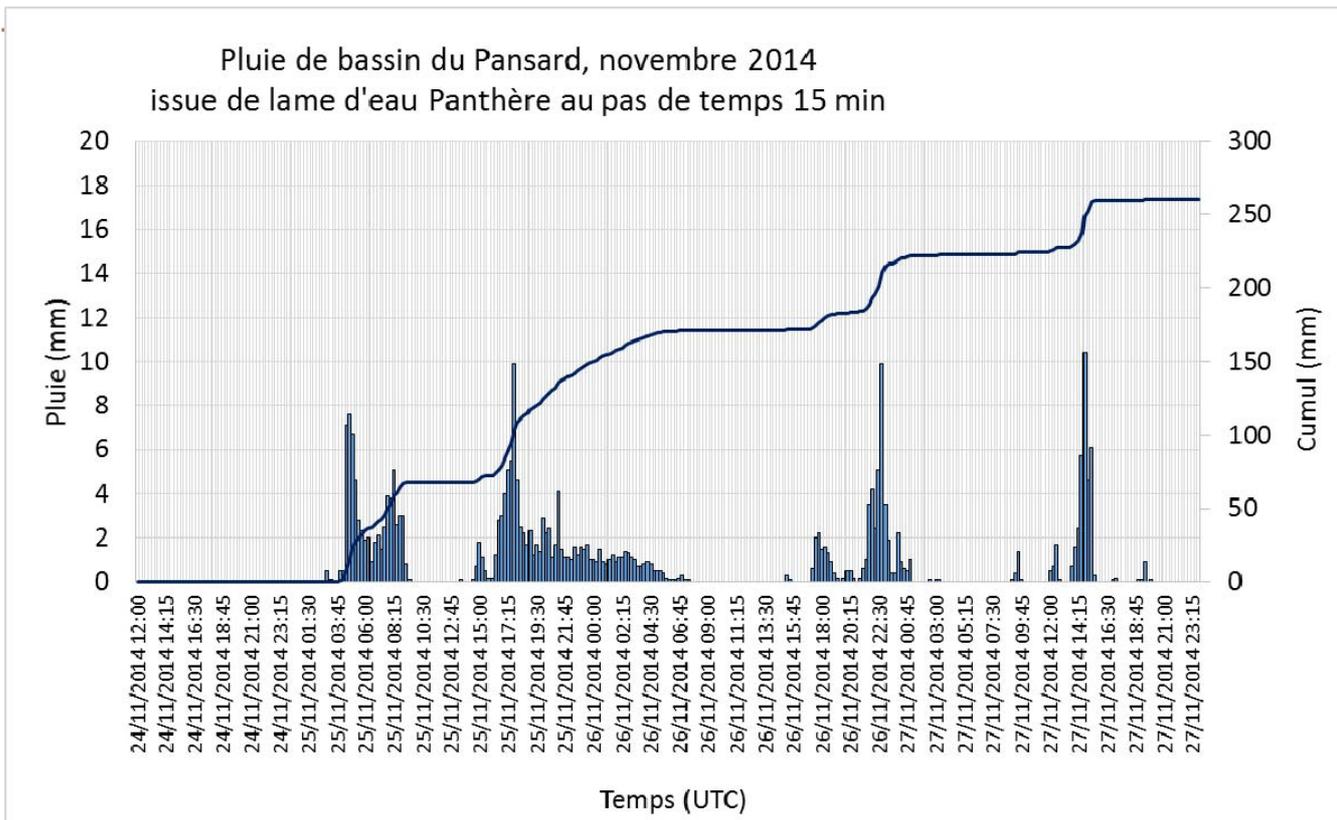


Figure 15 : Hyétogrammes des pluies de bassin de novembre 2014 pour le Maravenne et le Pansard

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

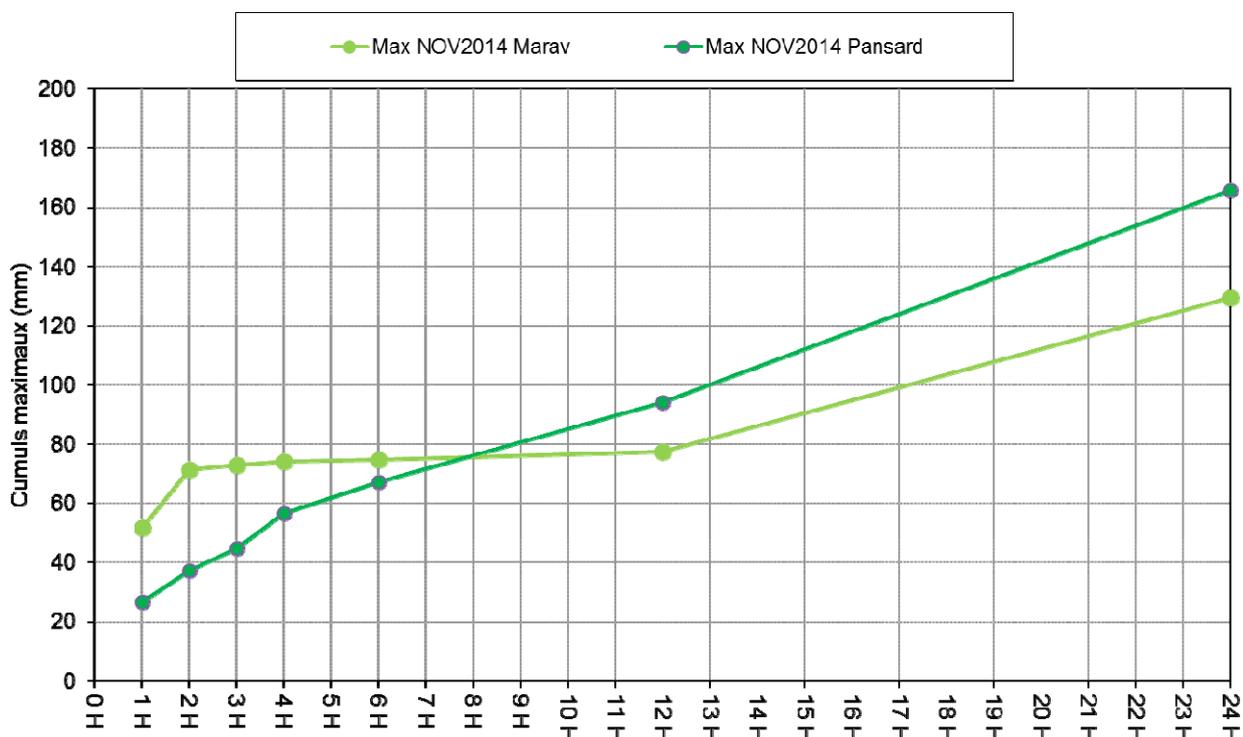
## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Les cumuls maximaux correspondants sont les suivants :

**Tableau 9 : Cumuls maximaux de pluie sur le Pansard et le Maravenne lors de l'événement de novembre 2014**

	BV du Maravenne	BV du Pansard
Cumul de pluie du 1 au 30 novembre 2014	527 mm	519 mm
Cumul de pluie du 25 au 27 novembre 2014	266 mm	261 mm
Cumuls maximaux		
max1h	52 mm	27 mm
max2h	71 mm	37 mm
max3h	73 mm	45 mm
max4h	74 mm	57 mm
max6h	75 mm	67 mm
max12h	78 mm	94 mm
max24h	129 mm	166 mm

**Cumuls pluviométriques maximaux sur les BV du Pansard et du Maravenne en novembre 2014**



**Figure 16 : Cumuls maximaux de pluie sur le Pansard et le Maravenne lors de l'événement de novembre 2014**

À l'inverse de l'épisode de janvier, l'évènement pluvieux de fin novembre 2014 a été caractérisé par la succession de plusieurs pics pluviométriques importants et relativement rapprochés : le premier dans la matinée du 25, le second dans la soirée du 25, le troisième dans la nuit du 26 au 27, et enfin le quatrième dans l'après-midi du 27 novembre.

Lors de cet épisode, le bassin versant du Maravenne a reçu des intensités maximales pluviométriques plus fortes que le bassin versant du Pansard, pour les durées de 1 à 6h, correspondant à l'ordre de grandeur des temps de réaction des bassins versants.

## 6.2 CONDITIONS INITIALES

Lors de l'évènement pluvieux de novembre 2014, seul le barrage de Valcros 1 était vide. Les trois autres barrages implantés sur les bassins versants du Pansard et du Maravenne étaient pleins. Cette condition a été intégrée aux paramètres initiaux de la simulation pluie-débit.

Par ailleurs, au vu du cumul pluviométrique important (200 mm) tombé en novembre, avant la crue du 25, nous avons considéré que les sols étaient déjà saturés en eau avant la survenue de l'évènement pluvieux du 25-27 novembre.

## 6.3 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Les résultats de la simulation pluie-débit de l'évènement du 25-27 novembre 2014 sont présentés ci-dessous :

Tableau 10 : Débits de pointe simulés pour la crue du 25-27 novembre 2014

Bassin versant	Maravenne	Vallon du Tamary	Pansard	Maravenne après confluence
Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	265	115	129	336
Heure du débit de pointe	27/11/2014 17:10	27/11/2014 15:45	25/11/2014 21:25	27/11/2014 17:20
Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	34	11	41	75
Débit de pointe spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	8	11	3	4
Débit de pointe pseudo-spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1,6</sup> )	16	17	7	11

Les débits pseudo-spécifiques sont très élevés, en particulier celui du Maravenne, de l'ordre de 16 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup> (légèrement inférieur à celui de janvier 2014).

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

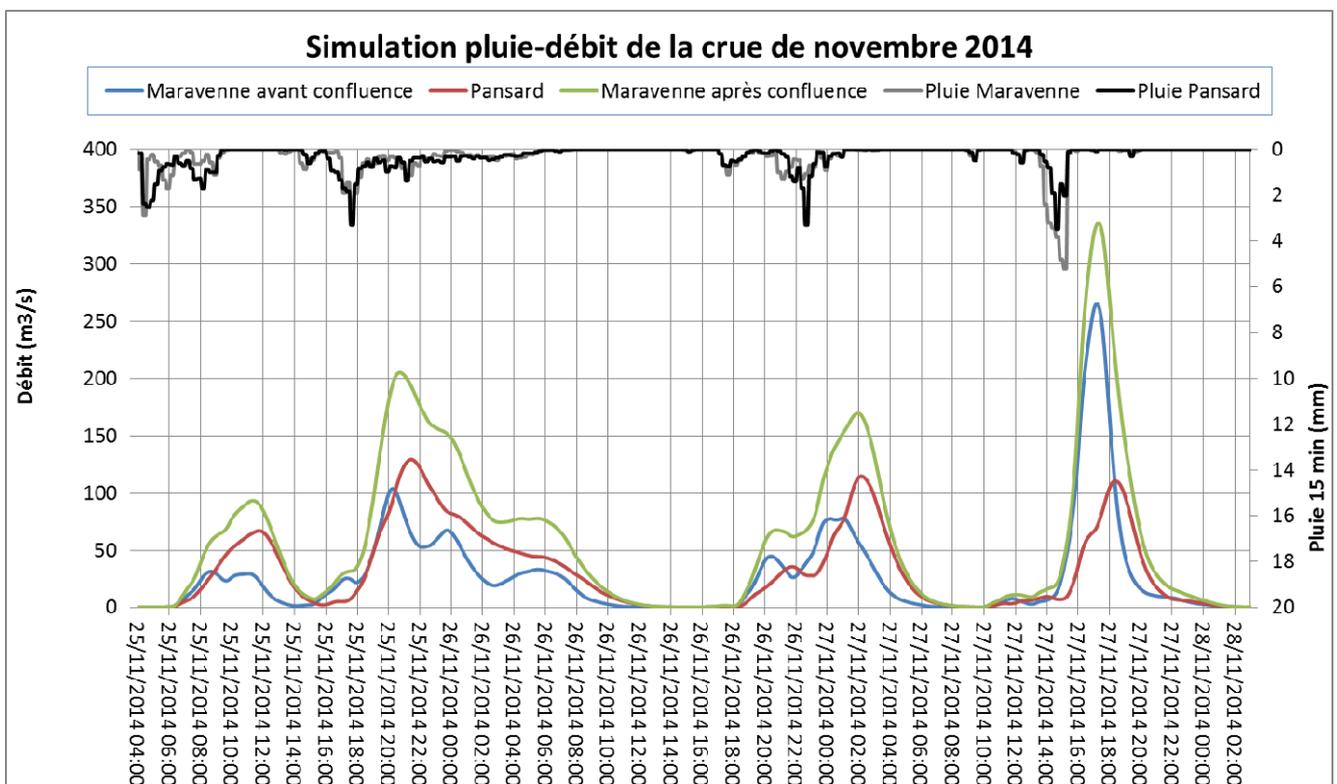
## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

On note par ailleurs la forte contribution, du vallon du Tamary, principal affluent rive droite du Maravenne.

**Tableau 11 : Volumes et Coefficients d'écoulement de la crue de janvier 2014**

Bassin versant	Maravenne	Pansard
Lame précipitée (mm) du 24 au 27/11/2014	265	261
Volume de crue (millions de m3)	7	8
Lame écoulée (mm)	206	199
Coefficient d'écoulement	78%	76%

Sur l'ensemble des 4 pics de crue, entre le 24 et le 27 novembre, on estime qu'environ 77% de la pluie a participé à l'écoulement dans les cours d'eau.



**Figure 17 : Simulation pluie-débit de la crue de novembre 2014**

Selon les résultats de la simulation pluie-débit, en novembre 2014, le Pansard a connu 3 pics de crue d'ampleurs comparables, liés à 3 pics pluviométriques du 25 au soir jusqu'au 27 après-midi. Lors des premiers pics, le débit de pointe du Pansard a été supérieur à celui du Maravenne.

Le dernier épisode pluviométrique, dans l'après-midi du 27 novembre, a été plus important sur le bassin versant du Maravenne que sur celui du Pansard. Il a généré

une pointe de crue du Maravenne à environ 265 m<sup>3</sup>/s, bien supérieure à celle du Pansard, estimée à environ 120 m<sup>3</sup>/s.

Ces débits ont ensuite été injectés dans le modèle hydraulique, afin de vérifier la robustesse du calage. Cette partie de l'étude fait l'objet d'un rapport spécifique.

## 7 COMPARAISON DES CRUES DE JANVIER ET NOVEMBRE 2014

### 7.1 COMPARAISON DES PLUIES DE BASSIN

Les graphiques suivants présentent, par bassin versant, les pluies de janvier et novembre 2014, centrées sur le pic et superposées.

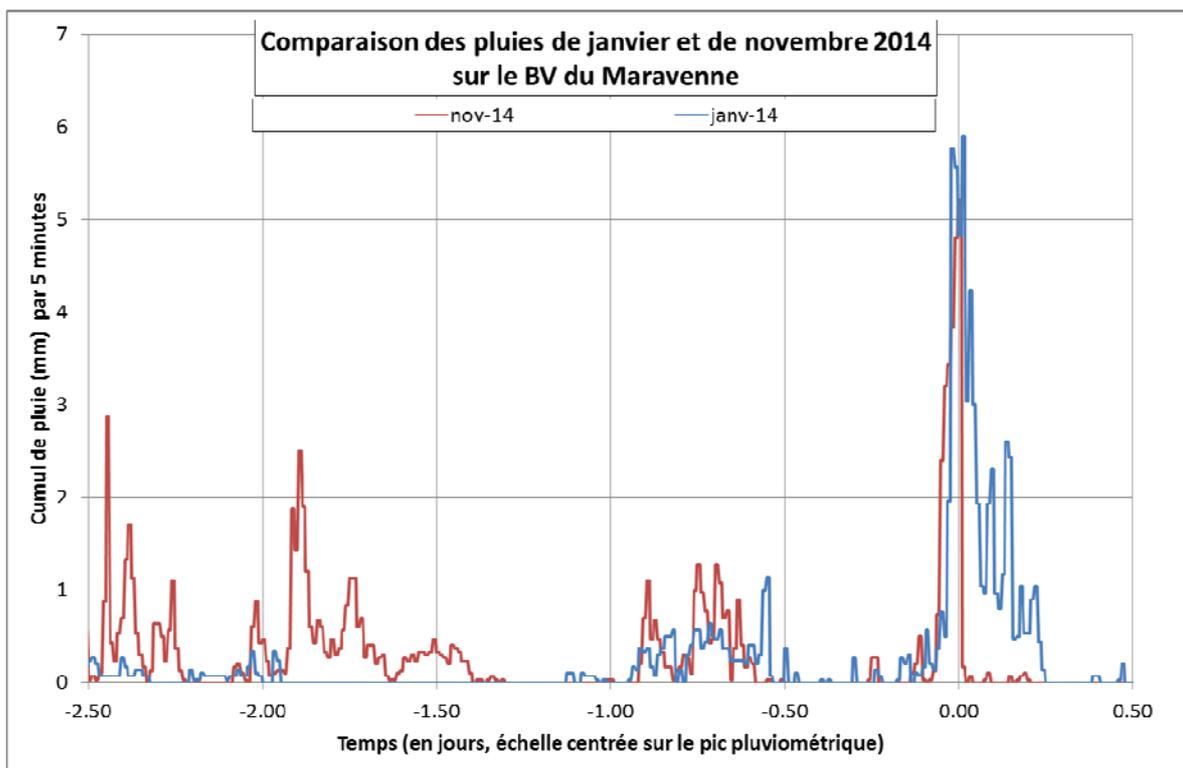


Figure 18 : Comparaison des pluies de janvier et novembre 2014, bassin versant du Maravenne

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

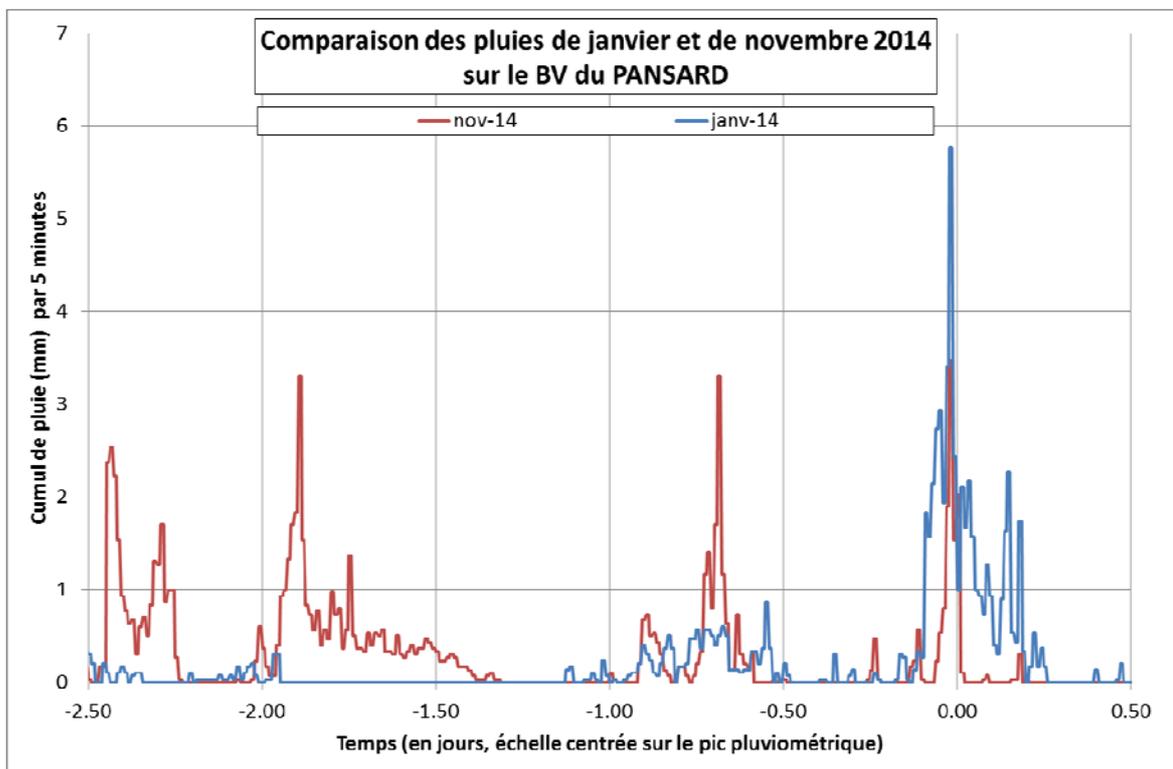


Figure 19 : Comparaison des pluies de janvier et novembre 2014, bassin versant du Pansard

Tableau 12 : Comparaison des maxima pluviométriques de janvier 2014 et novembre 2014

MARAVENNE	janv-14	nov-14	PANSARD	janv-14	nov-14
max1h	72 mm	52 mm	max1h	46 mm	27 mm
max2h	109 mm	71 mm	max2h	73 mm	37 mm
max3h	127 mm	73 mm	max3h	93 mm	45 mm
max4h	143 mm	74 mm	max4h	110 mm	57 mm
max6h	171 mm	75 mm	max6h	136 mm	67 mm
max12h	179 mm	78 mm	max12h	143 mm	94 mm
max24h	179 mm	129 mm	max24h	143 mm	166 mm

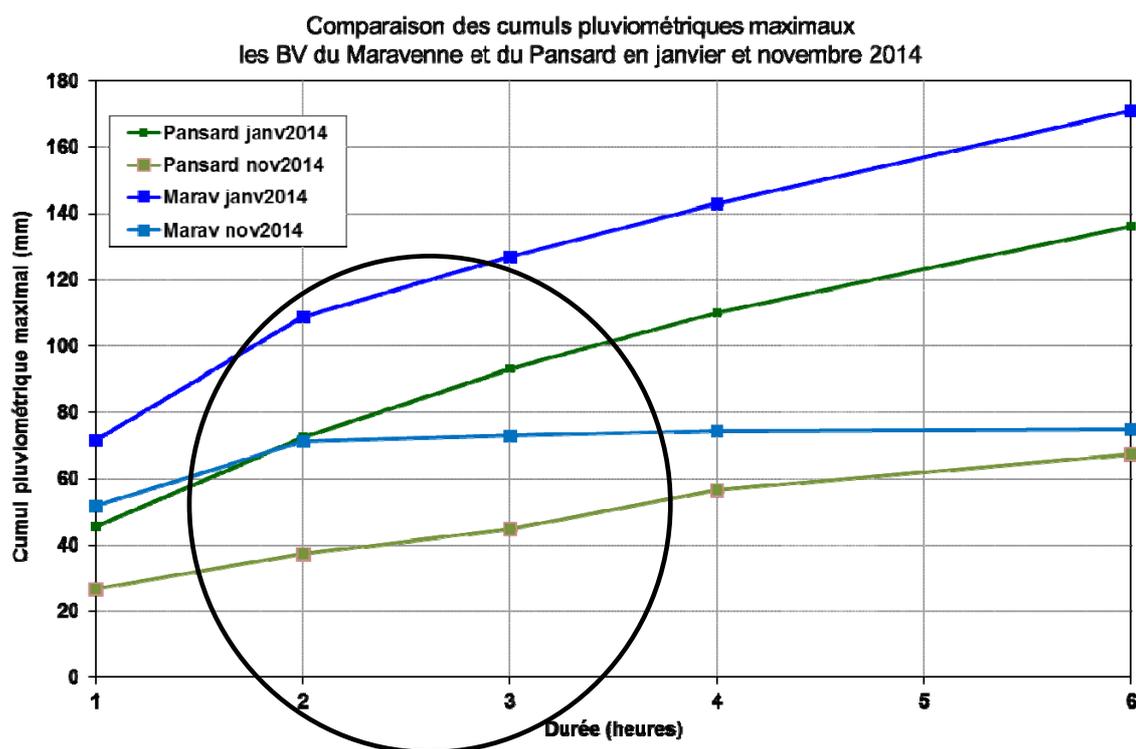


Figure 20 : Comparaison des maximaux pluviométriques de janvier 2014 et novembre 2014

Selon les pluies moyennes de bassin estimées par le REX à partir des images radar, **les cumuls maximaux de janvier 2014 sont tous supérieurs aux cumuls de novembre 2014**, pour les durées de 2 à 6 heures, correspondant à l'ordre de grandeur des temps de réponse des bassins versants du Pansard et du Maravenne.

## 7.2 COMPARAISON DES DÉBITS DE CRUE

Selon nos estimations, les débits de pointe atteints par le Maravenne et le Pansard lors de la crue du 18 janvier 2014 sont supérieurs aux maximaux atteints lors des différents pics de novembre 2014.

Ces estimations sont confirmées par l'analyse des emprises inondables des deux crues. Selon les témoignages et les résultats de la modélisation hydraulique, l'évènement de janvier 2014 a inondé une zone plus étendue que celui de novembre 2014.

Bassin versant	Maravenne	Pansard	Maravenne après confluence
Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s) de l'épisode de janvier 2014	321	213	523
Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s) de l'épisode de novembre 2014	265	129	336

L'événement de novembre a surtout été remarquable par sa durée, mais les intensités pluviométriques maximales et les débits de pointe des cours d'eau ont été moins élevés que ceux de janvier.

On note par ailleurs que lors de ces deux épisodes, malgré une superficie moindre, le Maravenne a connu des débits de pointe plus élevés que le Pansard, ce qui s'explique, dans les deux cas, par des intensités pluviométriques plus fortes sur le bassin versant du Maravenne, et par un temps de réponse à la pluie plus court.

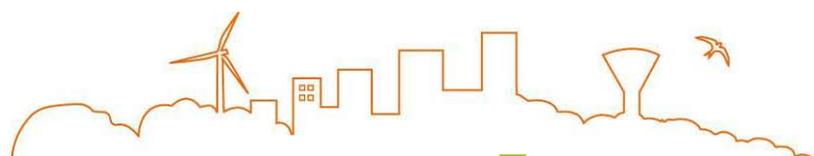
## 8 MODÉLISATION HYDROLOGIQUE DE CRUES STATISTIQUES

Le modèle hydrologique, calé sur les crues de 2014, a été exploité pour la simulation de crues de différentes périodes de retour, par injection de pluies de projet construites à partir des quantiles statistiques.

### 8.1 PLUIES STATISTIQUES

Nous avons utilisé pour la modélisation pluie-débit les quantiles de pluie extrêmes calculés sur chaque bassin versant par la méthode de régionalisation SHYREG, développée par l'IRSTEA.

Les quantiles statistiques par bassin versant sont les suivants.



# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Tableau 13 : Quantiles pluviométriques SHYREG estimés sur le bassin versant du Maravenne

MARAVENNE	SHYREG						
Durée	100 ans	50 ans	30 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
1 H	82	73	67	61	53	44	33
2 H	92	82	76	70	61	52	40
3 H	103	92	85	78	69	59	47
4 H	113	101	94	86	76	65	52
6 H	133	118	109	100	87	75	60
12 H	175	155	143	130	113	97	78
24 H	229	201	184	165	141	120	96

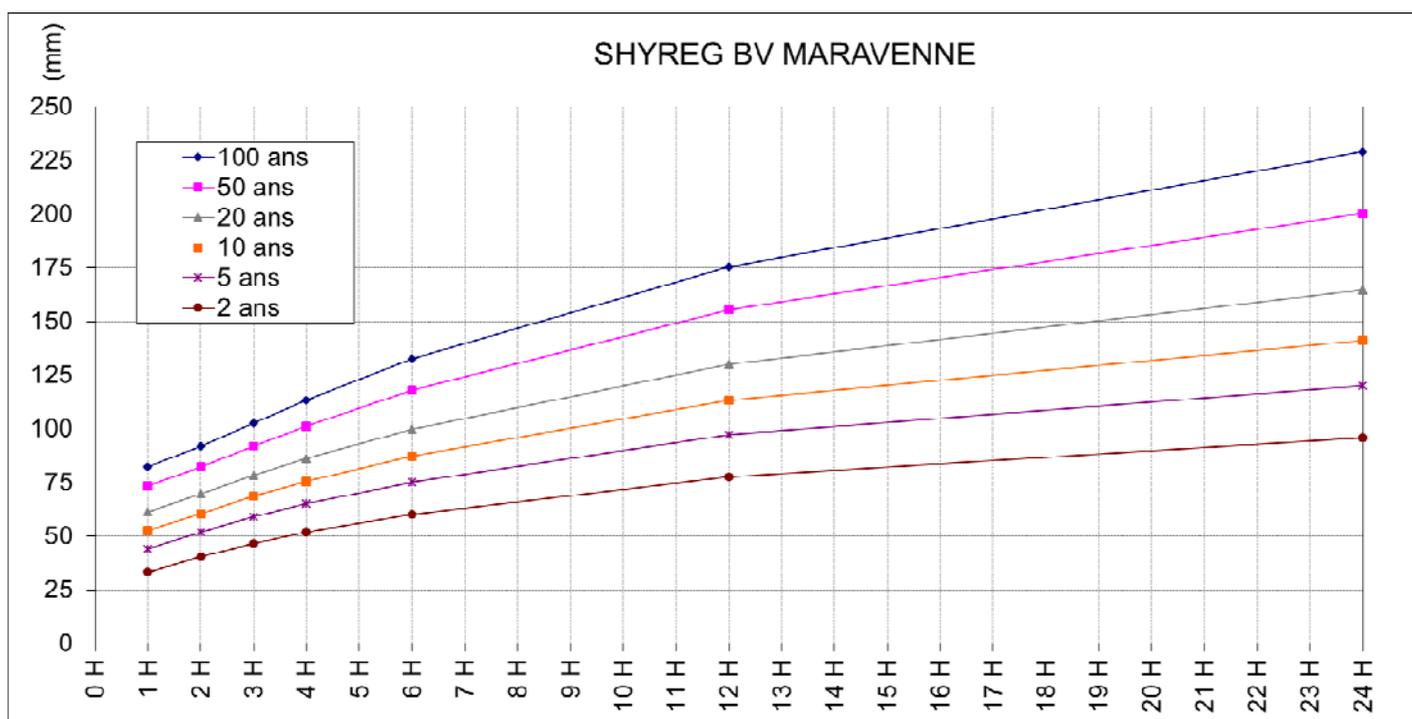


Figure 21 : Quantiles pluviométriques SHYREG estimés sur le bassin versant du Maravenne

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Tableau 14 : Quantiles pluviométriques SHYREG estimés sur le bassin versant du Pansard

MARAVENNE	SHYREG						
Durée	100 ans	50 ans	30 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
1 H	81	72	66	60	52	44	33
2 H	90	80	74	68	60	51	40
3 H	100	89	83	77	67	58	46
4 H	110	98	91	84	74	64	51
6 H	128	114	106	97	85	73	59
12 H	168	149	138	125	109	94	75
24 H	219	191	175	158	135	116	93

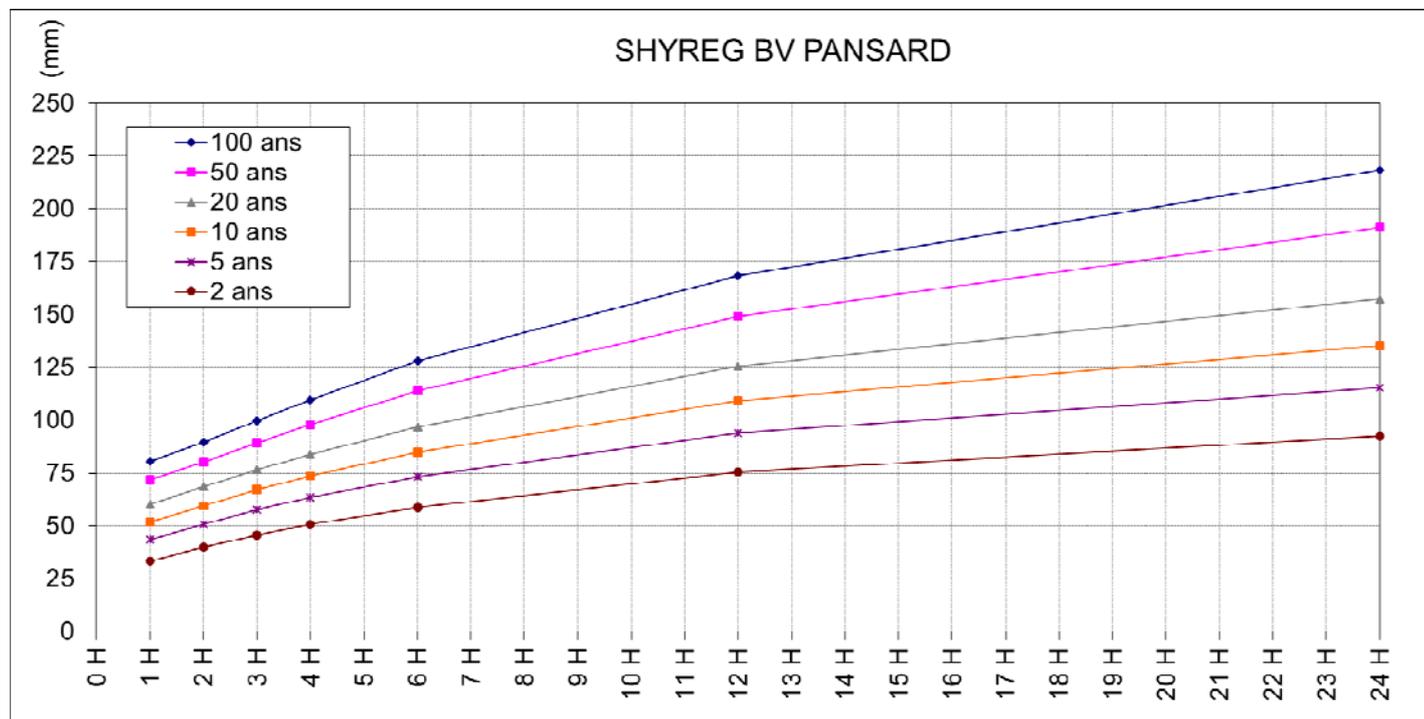


Figure 22 : Quantiles pluviométriques SHYREG estimés sur le bassin versant du Pansard

### 8.2 CONSTRUCTION DES PLUIES DE PROJET

Les pluies de projet introduites dans la modélisation pluie-débit sont des pluies synthétiques monofréquence, centrées, et construites pour respecter les cumuls maximaux théoriques SHYREG sur les durées de 1h, 2h, 4h, 6h, 12h, et 24h.

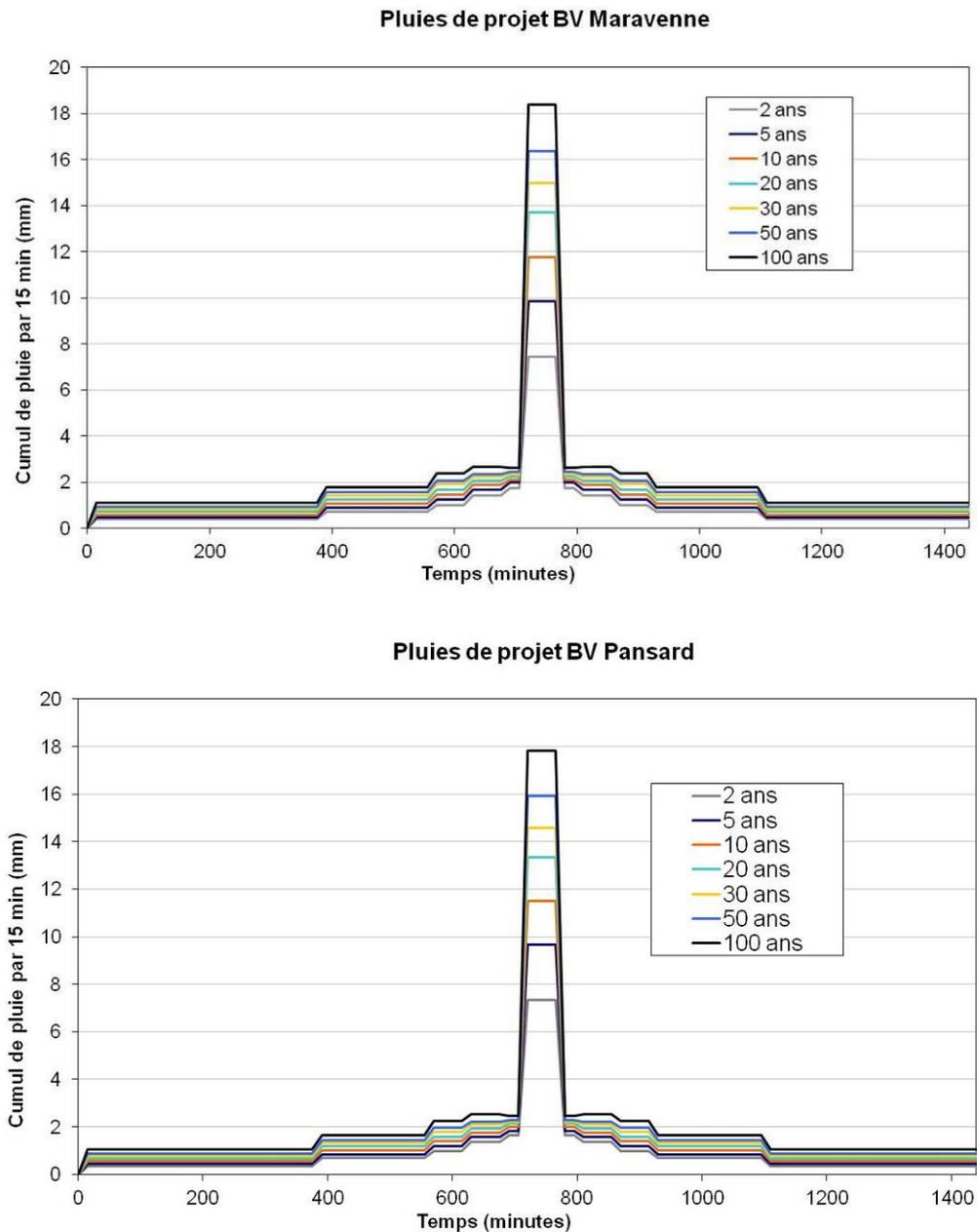


Figure 23 : Pluies de projets synthétiques monofréquence des bassins versants du Pansard et du Maravenne

### 8.3 ESTIMATION DES DÉBITS DE POINTE DE CRUES STATISTIQUES

#### 8.3.1 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS PLUIE-DÉBIT

Nous avons utilisé le modèle hydrologique calé sur la crue de janvier 2014, avec pour conditions initiales des barrages pleins et des sols non saturés.

Les résultats des estimations des débits de pointe pour les différentes occurrences sont les suivants :

**Tableau 15 : Estimation des débits de pointe du Pansard et du Maravenne pour différentes occurrences de pluie**

Débit de pointe	Maravenne avant confluence	Pansard	Maravenne après confluence
	SAFEGE	SAFEGE	SAFEGE
T= 10 ans	195 m <sup>3</sup> /s	158 m <sup>3</sup> /s	297 m <sup>3</sup> /s
T=20 ans	238 m <sup>3</sup> /s	193 m <sup>3</sup> /s	364 m <sup>3</sup> /s
T=50 ans	298 m <sup>3</sup> /s	243 m <sup>3</sup> /s	459 m <sup>3</sup> /s
T= 100 ans	<b>345 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>283 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>535 m<sup>3</sup>/s</b>
Q100 pseudo-spécifiques (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1,6</sup> )	20	15	17

Selon nos estimations, le débit de pointe du Maravenne, après confluence avec le Pansard, est de l'ordre de 535 m<sup>3</sup>/s, soit du même ordre de grandeur que le débit de pointe « hydrologique » estimé lors de la crue de janvier 2014 (sans tenir compte des phénomènes de laminage).

Les débits centennaux pseudo-spécifiques estimés du Pansard et du Maravenne sont assez élevés, entre **15 et 20 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>**.

Selon nos estimations, le bassin versant du Maravenne réagit plus fortement à la pluie que celui du Pansard, du fait d'une pente moyenne plus élevée.

Tableau 16 : Estimation des coefficients d'écoulement des crues centennales (sur 24h)

Coefficients d'écoulement					
	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
<b>Maravenne</b>					
lame précipitée (mm)	135	158	177	193	220
lame écoulée (mm)	85	105	122	137	158
volumes de crue (Mm3)	2.9	3.6	4.2	4.7	5.4
<b>coeff d'écoulement (%)</b>	<b>62%</b>	<b>66%</b>	<b>69%</b>	<b>71%</b>	<b>72%</b>
<b>Pansard</b>					
lame précipitée (mm)	129	151	168	183	209
lame écoulée (mm)	77	96	112	126	150
volumes de crue (Mm3)	3.2	3.9	4.6	5.2	6.2
<b>coeff d'écoulement (%)</b>	<b>60%</b>	<b>64%</b>	<b>67%</b>	<b>69%</b>	<b>72%</b>

Les coefficients d'écoulement, calculés sur 24h, sont compris entre 60% pour la crue décennale, et 72% pour la crue centennale.

### 8.3.2 COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS D'AUTRES ÉTUDES HYDROLOGIQUES

#### 8.3.2.1 Étude PPRi

Le tableau suivant compare les estimations de débits de l'étude PPRi à celles de SAFEGE.

Tableau 17 : Comparaison des résultats avec les valeurs du PPRi

Débit de pointe	Maravenne avant confluence		Pansard		Maravenne après confluence	
	SAFEGE	PPRi	SAFEGE	PPRi	SAFEGE	PPRi
<b>T=10ans</b>	195 m3/s	58 m3/s	158 m3/s	68 m3/s	297 m3/s	108 m3/s
<b>T=20ans</b>	238 m3/s	71 m3/s	193 m3/s	83 m3/s	364 m3/s	132 m3/s
<b>T=50ans</b>	298 m3/s	93 m3/s	243 m3/s	109 m3/s	459 m3/s	173 m3/s
<b>T=100ans</b>	345 m3/s	128 m3/s	283 m3/s	150 m3/s	535 m3/s	238 m3/s

Les estimations de débits de pointe de SAFEGE sont 2 à 3 fois supérieures à celles du PPRi.

Nous pensons que les valeurs retenues par le PPRi sont largement sous-estimées. En effet, selon ces estimations, le débit centennal du Maravenne, après confluence, ne serait que de 238 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur centennale aurait été deux fois largement dépassée en 2014 (les débits de pointe ont été estimés à environ 300 m<sup>3</sup>/s en janvier, et 500 m<sup>3</sup>/s en novembre).

### 8.3.2.2 Étude PAPI du Préconil

#### 8.3.2.2.1 Paramètres du modèle Préconil

Nous avons comparé nos estimations de débit à celles réalisées sur un bassin versant du Préconil, distant d'environ 30 km vers le nord-est, et a priori comparable à celui du Maravenne par la superficie, la géologie, l'exposition et l'altimétrie.

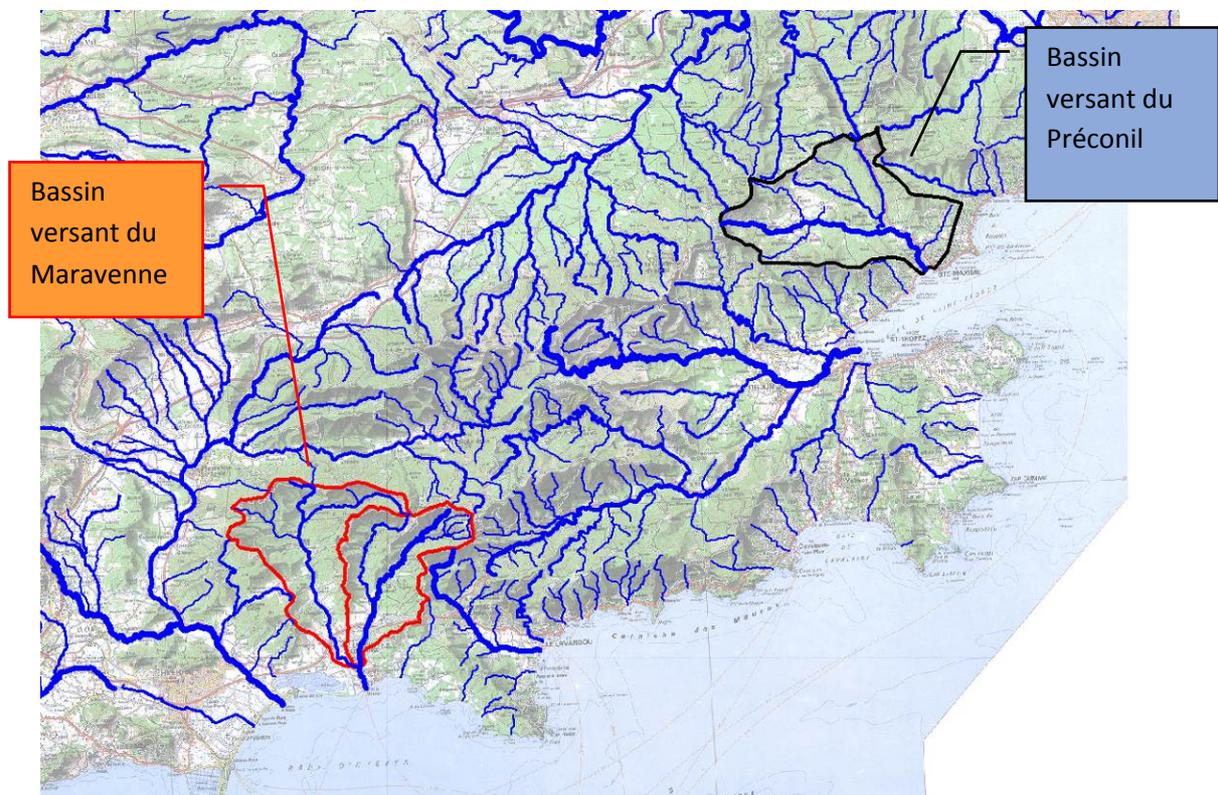


Figure 24 : Carte de localisation des bassins versants du Maravenne et du Préconil

Dans le cadre d'une étude PAPI, le débit de pointe centennal du Préconil a été modélisé par Aquaconseils, par un modèle SCS sous HEC HMS.

L'analyse des paramètres de la modélisation du Préconil effectuée par Aquaconseils est détaillée ci-dessous :

- Les quantiles de pluies utilisés sont les quantiles SHYREG. Ils sont sensiblement les mêmes que ceux du Maravenne et Pansard, sauf pour les quantiles 1h (qui sont plus forts de 11% sur le Maravenne et Pansard) ;

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

- Nous n'avons pas connaissance de la forme des pluies de projet introduites dans le modèle pluie-débit du Preconil ;
- Les curve number attribués au bassin du Préconil sont de l'ordre de 55, bien plus faibles que ceux attribués au Maravenne et au Pansard (75), alors que les bassins versants sont comparables en termes d'occupation des sols et de géologie ;
- Les vitesses de propagation utilisées dans les deux modèles sont a priori semblables.

On note par ailleurs que le modèle hydrologique du Préconil n'a a priori pas fait l'objet d'un calage précis, à l'inverse du modèle hydrologique du Maravenne-Pansard, calé sur les crues de janvier et novembre 2014 par l'intermédiaire de simulations hydrauliques.

### 8.3.2.2 Comparaison des résultats pour le débit centennal

La comparaison des résultats des estimations du débit centennal est présentée ci-dessous :

Tableau 18 : Comparaison des estimations des Q100 du Pansard-Maravenne et du Préconil

100 ans	Maravenne	Pansard	Preconil
Sbv (km <sup>2</sup> )	34	41	59
Q (m <sup>3</sup> /s)	345	283	367
Q pseudo-spé (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )	21	15	14
Caractéristiques			
occ sol	dominance forets	dominance forets	dominance forets
geologie	dominance roches métamorphiques	dominances roches métamorphiques	roches métamorphiques + arènes granitiques
chemin le plus long (m)	12 500	15 000	13 000
pente moyenne (%)	4.7	3.0	2.7

Malgré les différences de Curve number, les débits 100 ans pseudo-spécifiques du Préconil sont semblables à ceux du Pansard (de 14 à 15 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1.6</sup>).

Le débit 100 ans pseudo-spécifique du Maravenne est plus élevé (21 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1.6</sup>), ce que nous expliquons par la pente plus forte du chemin hydraulique (4.7% sur le Maravenne au lieu de 3% sur les autres bassins versants).

### 8.3.2.2.3 Test de sensibilité du modèle du Maravenne-Pansard au Curve Number

Nous avons pris l'hypothèse d'un curve number à 55%, identique à celui de l'étude Préconil, tous nos autres paramètres étant égaux par ailleurs. Les résultats de ce test de sensibilité sont donnés ci-dessous :

**Tableau 19 : Résultats des tests de sensibilité au Curve Number du modèle SCS du Pansard Maravenne**

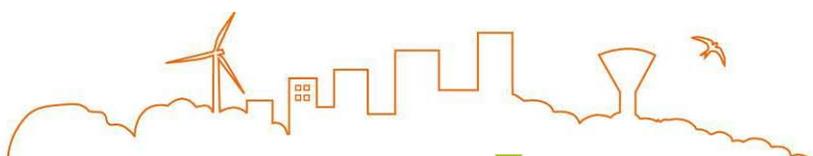
	Maravenne avant confluence	Pansard	Marav avec CN-30%	Pansard avec CN-30%
janvier 2014	321	213	191	122
T = 2 ans	105	86	19	15
T = 5 ans	154	125	42	33
T = 10 ans	195	158	68	51
T = 20 ans	238	193	99	76
T = 30 ans	268	218	124	95
T = 50 ans	298	243	149	114
T = 100 ans	345	283	190	148
Qpseudo_spé100ans	21	14	11	8

Le modèle est très sensible au CN : le débit de pointe de janvier 2014 diminuerait de 321 à 191m<sup>3</sup>/s pour le Maravenne, et de 213 à 122 m<sup>3</sup>/s pour le Pansard, en réduisant le CN de 75 à 55. Ces résultats sont incohérents avec les phénomènes de débordement observés, et conduisent à une impossibilité de caler le modèle hydraulique sur les PHE de janvier 2014 avec des débits aussi faibles.

Par ailleurs, selon la grille du guide méthodologique HEC HMS, un CN de 55 correspondrait à des sols plutôt perméables et des pentes faibles, ce qui ne correspond pas aux caractéristiques des bassins versants du Pansard et du Maravenne.

Enfin, les coefficients d'écoulement avec un CN de 55 sont de l'ordre de 40% pour la crue centennale, ce qui nous paraît excessivement faible pour cette occurrence d'événement.

**En conclusion, nous estimons que les valeurs de Curve Number prises initialement pour les bassins versants du Pansard et du Maravenne (de 75 à 80) sont justifiées par le calage hydraulique sur la crue de janvier 2014, et doivent être conservées.**



## 9 ANALYSE PROBABILISTE DES CRUES DE JANVIER ET NOVEMBRE 2014

L'objet de ce chapitre est d'évaluer les occurrences des crues de janvier et novembre 2014.

On considèrera trois méthodes d'évaluation probabiliste :

1. Évaluation probabiliste des pluies des évènements ;
2. Évaluation probabiliste des *débits hydrologiques des évènements* ;
3. Évaluation probabiliste avec analyse hydraulique.

### 9.1 ÉVALUATION STATISTIQUE DES PLUIES DE JANVIER ET NOVEMBRE 2014

Les graphiques et tableaux suivants visent à qualifier l'occurrence des cumuls pluviométriques maximaux reçus en janvier et novembre 2014, par les bassins versants du Pansard et du Maravenne, pour différentes durées de pluie.

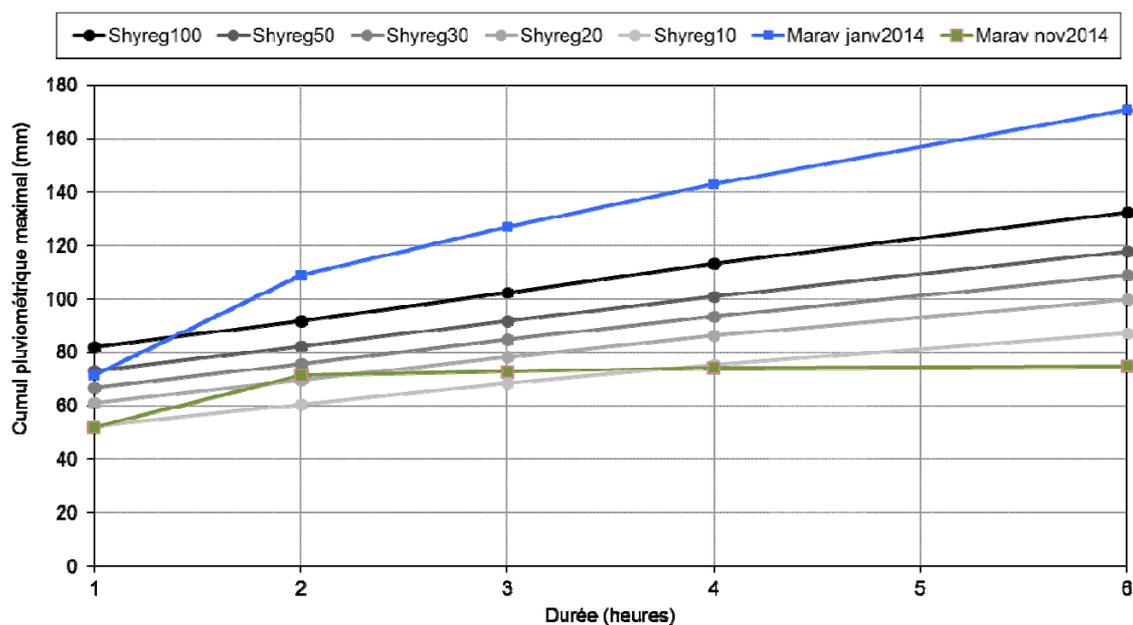
La détermination des occurrences a été faite par comparaison avec les quantiles de pluie SHYREG, estimés par l'IRSTEA pour chaque bassin versant.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

MARAVENNE	Shyreg100	Shyreg50	Shyreg30	Shyreg20	Shyreg10	Marav janv2014	Marav nov2014
Durée	100 ans	50 ans	30 ans	20 ans	10 ans	Marav janv2014	Marav nov2014
1	82	73	67	61	53	72	52
2	92	82	76	70	61	109	71
3	103	92	85	78	69	127	73
4	113	101	94	86	76	143	74
6	133	118	109	100	87	171	75
12	175	155	143	130	113	179	78
24	229	201	184	165	141	179	129

Comparaison des cumuls pluviométriques maximaux et des débits de pointe sur le BV du Maravenne



janvier 2014	BV Maravenne	BV Pansard
Maximum en 1h	72 mm T = 100 ans	46 mm T = 10 ans
Maximum en 2h	109 mm T > 100 ans	73 mm T = 20 à 50 ans
Maximum en 3h	127 mm T > 100 ans	93 mm T = 50 à 100 ans
Maximum en 4h	143 mm T > 100 ans	110 mm T = 100 ans
Maximum en 24h	179 mm T = 20 à 50 ans	143 mm T = 10 à 20 ans

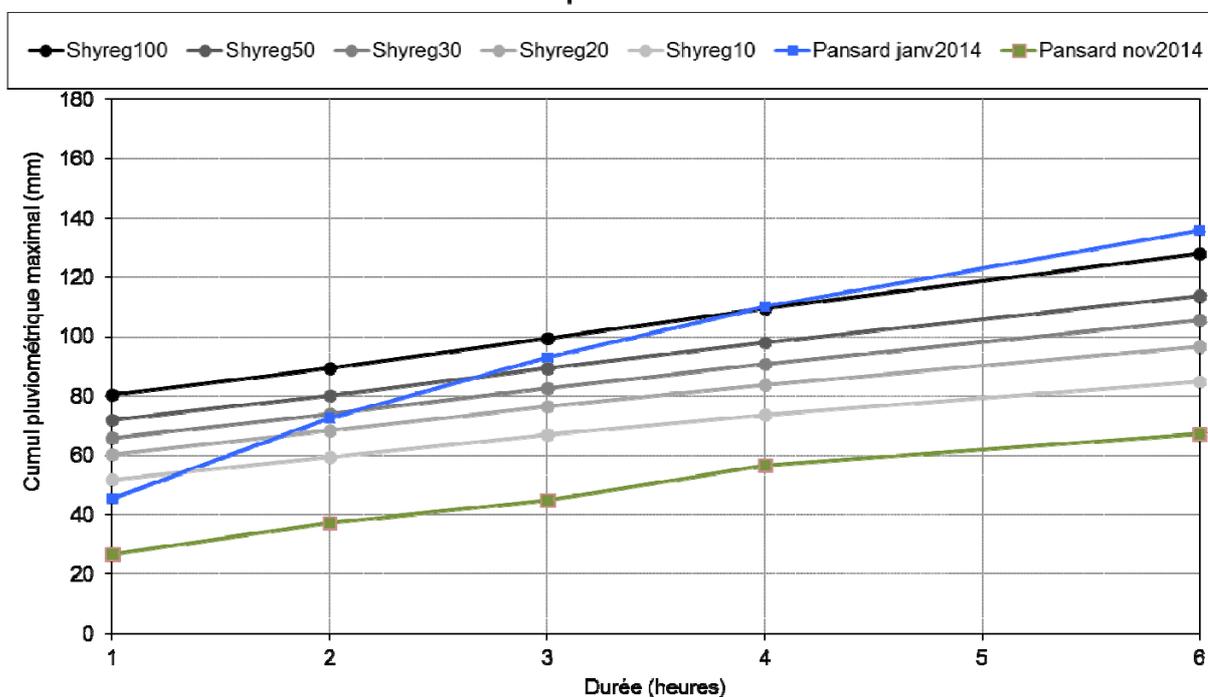
Figure 25 : Analyse statistique des cumuls pluviométriques sur le Pansard et le Maravenne de la pluie de janvier 2014 (sur la base des quantiles SHYREG)

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

PANSARD	Shyreg100	Shyreg50	Shyreg30	Shyreg20	Shyreg10	Pansard janv2014	Pansard nov2014
Durée	100 ans	50 ans	30 ans	20 ans	10 ans	Pansard janv2014	Pansard nov2014
1	81	72	66	60	52	46	27
2	90	80	74	68	60	73	37
3	100	89	83	77	67	93	45
4	110	98	91	84	74	110	57
6	128	114	106	97	85	136	67
12	168	149	138	125	109	143	94
24	219	191	175	158	135	143	166

Comparaison des cumuls pluviométriques maximaux et des débits de pointe sur le BV du Pansard



novembre 2014	BV Maravenne	BV Pansard
Maximum en 1h	52 mm T = 10 ans	27 mm T = 2 ans
Maximum en 2h	71 mm T = 20 ans	37 mm T = 2 ans
Maximum en 3h	73 mm T = 10 à 20 ans	45 mm T = 2 ans
Maximum en 4h	74 mm T = 10 ans	57 mm T = 2 à 5 ans
Maximum en 24h	129 mm T = 5 à 10 ans	166 mm T = 20 à 50 ans

Figure 26 : Analyse statistique des cumuls pluviométriques sur le Pansard et le Maravenne de la pluie de novembre 2014 (sur la base des quantiles SHYREG)

Selon ces analyses statistiques :

- Les intensités pluviométriques maximales de l'évènement de janvier 2014 auraient atteint **une période de retour bien supérieure à 100 ans**, sur le Maravenne, pour les durées de pluie de l'ordre du temps de réponse du bassin versant (entre 1 et 3h). Sur le Pansard, pour ces mêmes durées, les intensités pluviométriques maximales seraient plutôt comprises entre 20 et 50 ans ;
- En ce qui concerne l'épisode de novembre 2014, les intensités horaires maximales sont bien moindres. Pour les durées de 1 à 3h, elles auraient une période de retour proche de 20 ans pour le Maravenne, et bien inférieure à 10 ans pour le Pansard.

Enfin, à titre d'information, les graphiques suivants comparent, pour chaque bassin versant, les hyétogrammes théoriques de la pluie de projet centennale au hyétogramme de la pluie de janvier 2014, selon les images Radar.

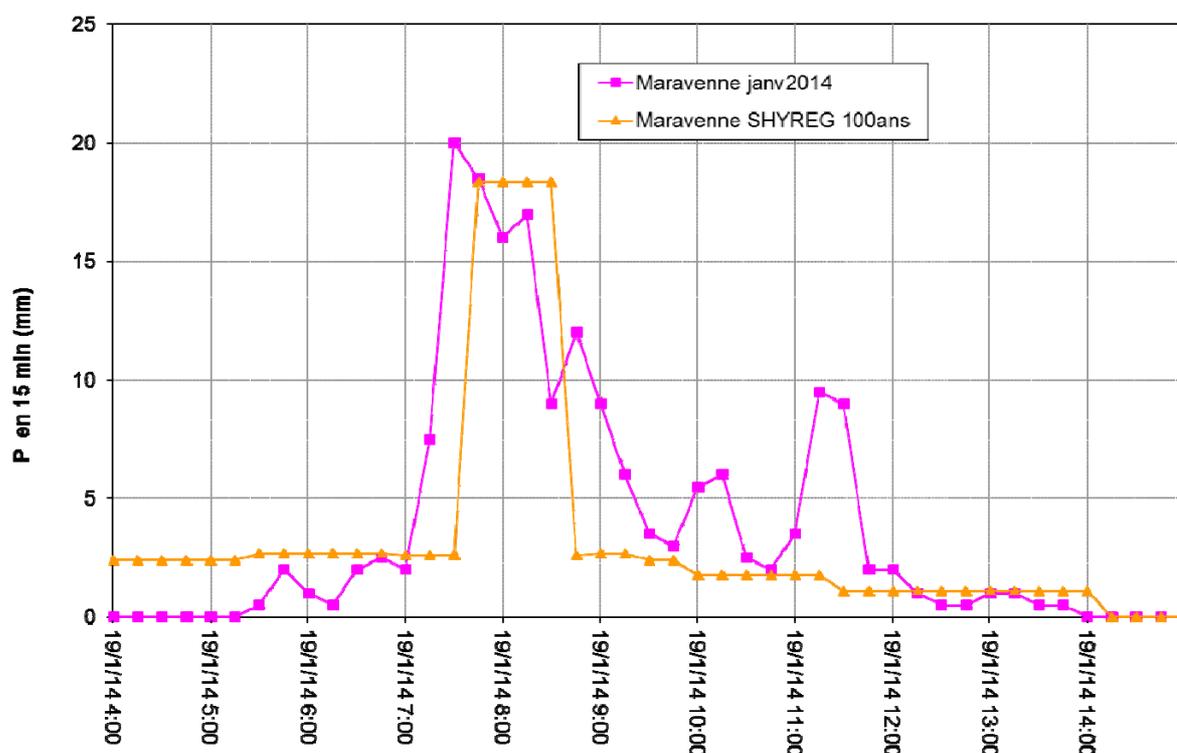


Figure 27 : Comparaison de la pluie de projet 100 ans et de la pluie de janvier 2014, bassin versant du Maravenne

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

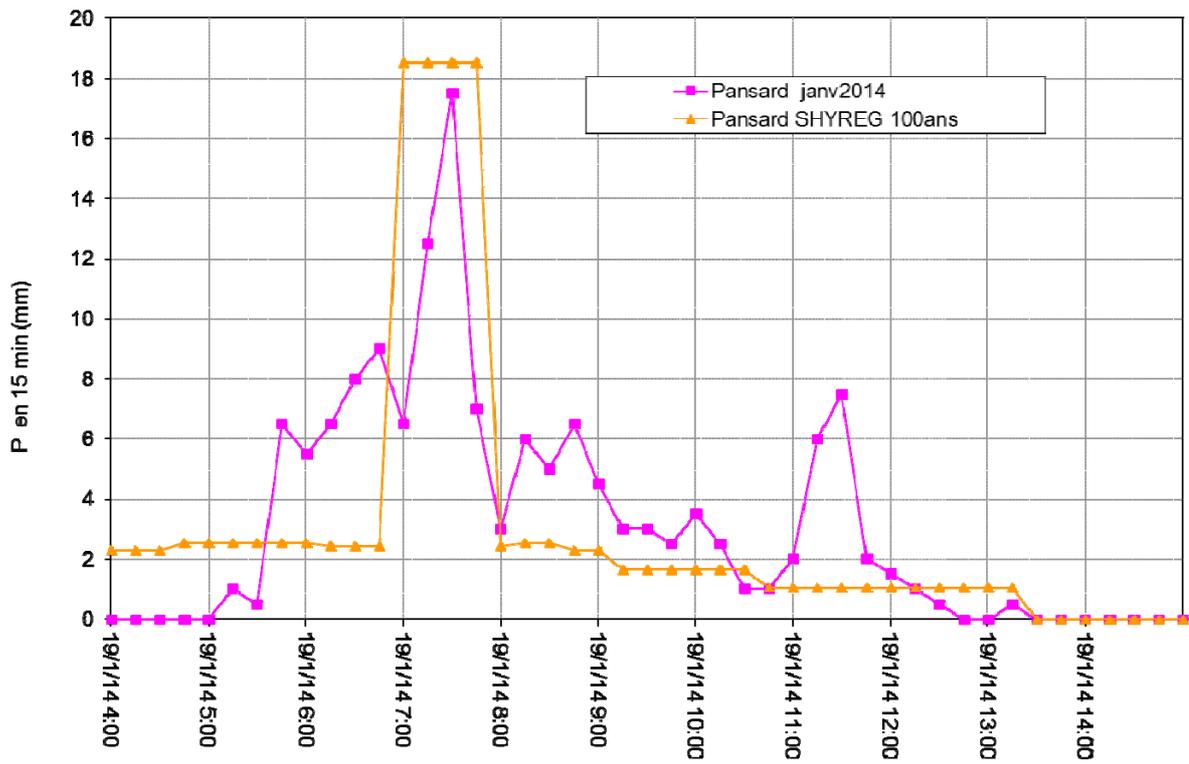


Figure 28 : Comparaison de la pluie de projet 100 ans et de la pluie de janvier 2014, bassin versant du Pansard

### 9.2 ÉVALUATION STATISTIQUE DES DÉBITS HYDROLOGIQUES DE JANVIER ET NOVEMBRE 2014

On compare ici les débits obtenus par le modèle hydrologique décrit dans ce document, pour les pluies de janvier et novembre 2014, à ceux obtenus pour les pluies statistiques. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

On obtient les résultats suivants :

**Tableau 20 : Évaluation de l'occurrence statistique des débits de pointe des crues de janvier et novembre 2014**

	Maravenne avant confluence	Pansard	Maravenne après confluence
Janvier2014	321	213	523
Nov2014	265	129	336
T = 10 ans	195	158	297
T = 20 ans	238	193	364
T = 30 ans	268	218	412
T = 50 ans	298	243	459
T = 100 ans	345	283	535

	Maravenne avant confluence	Pansard	Maravenne après confluence
janv-14	100 ans	30 ans	100 ans
nov-14	30 ans	< 10 ans	20 ans

Selon nos estimations, en janvier 2014, le Maravenne (avant confluence) aurait connu un pic de crue d'une période de retour de l'ordre de 100 ans. Le débit de pointe du Pansard aurait quant à lui une occurrence plus faible, de l'ordre de 30 ans. Au total, la crue du Maravenne de janvier 2014, après la confluence, serait proche de la centennale.

En ce qui concerne la crue de novembre 2014, les périodes de retour attribuées aux débits de pointe atteints sont beaucoup plus faibles, de l'ordre de 30 ans pour le Maravenne, et 10 ans pour le Pansard.

Ces estimations sont concordantes avec l'analyse statistique des occurrences des intensités pluviométriques maximales des deux évènements, menée plus haut.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de l'étude de modélisation hydrologique

Les graphiques suivants comparent la forme des hydrogrammes de la crue centennale et des crues de 2014.

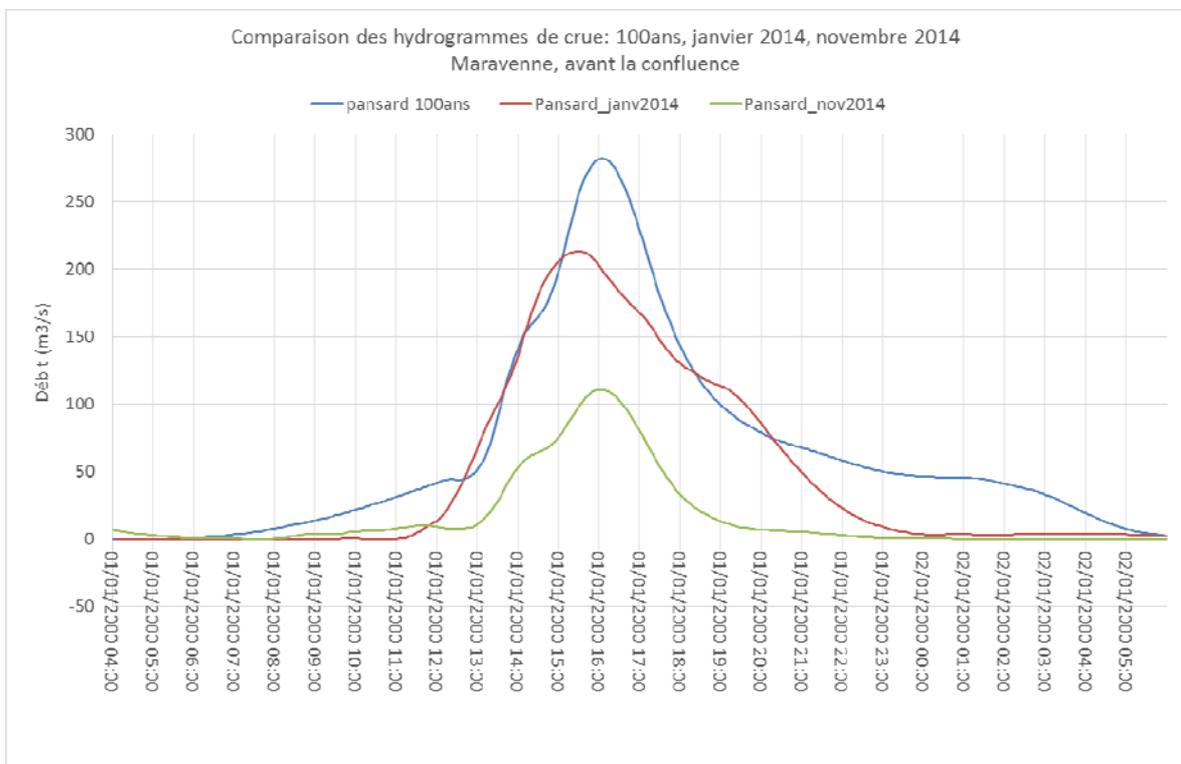
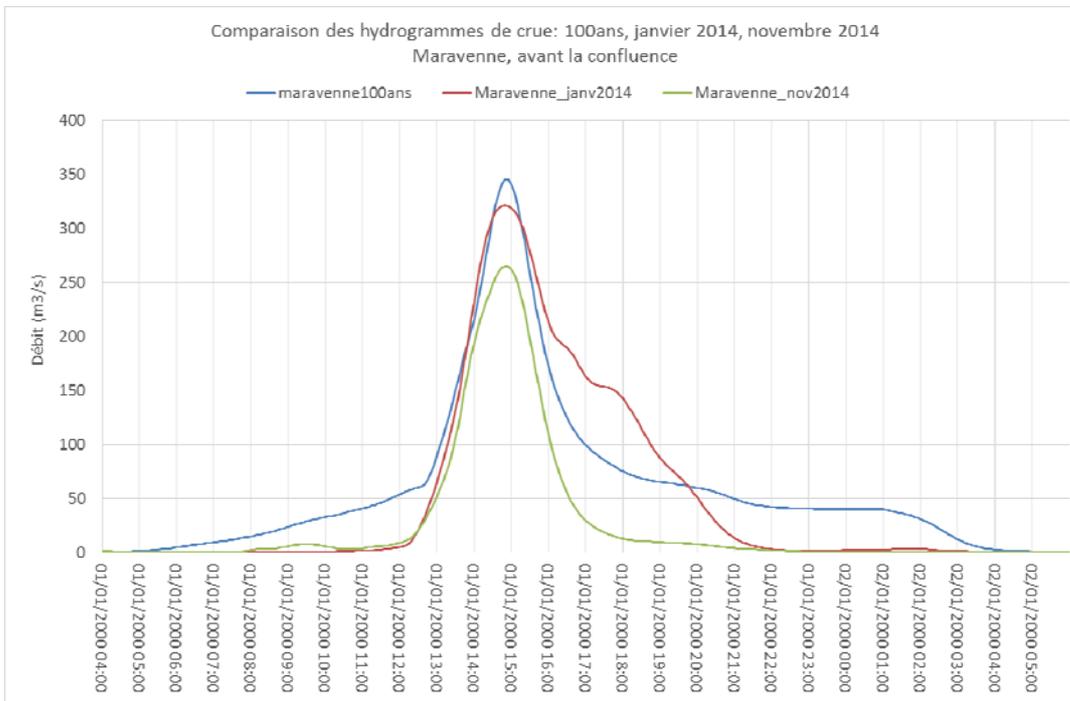


Figure 29 : Comparaison des hydrogrammes des crues statistique centennale, de janvier 2014 et novembre 2014 pour les bassins versants du Maravenne et du Pansard

### 9.3 ÉVALUATION STATISTIQUE DES DÉBITS HYDRAULIQUES DE JANVIER ET NOVEMBRE 2014

Les débits de pointe hydrologiques, dont on a estimé l'occurrence plus haut, ne tiennent pas compte des phénomènes éventuels de déformation des hydrogrammes, qui peuvent fortement conditionner la valeur des débits de pointe, en particulier à l'arrivée de l'onde de crue dans la plaine (étalement de la crue et laminage des pointes). Dans ce cas, l'importance de la crue, en termes d'impact, ne se mesure plus seulement par le débit de pointe, mais aussi par le volume écoulé.

Pour cette raison, nous avons également cherché à estimer l'importance des crues, en termes de probabilité d'occurrence, par comparaison non pas des débits de pointe estimés, mais des emprises inondées, issues des résultats des simulations hydrauliques des crues statistiques et des crues historiques. Ces emprises sont en effet le résultat du débit de pointe, mais aussi du volume de la crue, et de son éventuel étalement.

L'outil utilisé pour cette comparaison est le modèle hydraulique, calé sur la crue de janvier 2014 et vérifié sur la crue de novembre 2014. Il est décrit dans un rapport spécifique.

En termes d'emprise inondée, l'occurrence de la crue de janvier 2014 est de l'ordre de 50 ans pour le Maravenne, et 30 ans pour le Pansard.

En ce qui concerne la crue de novembre 2014, on estime que, au vu des superficies inondées, cet évènement peut être qualifié de cinquantennal pour le Maravenne, et décennal pour le Pansard.

Ces estimations sont résumées dans les tableaux suivants :

Crue de janvier 2014	Occurrence des pluies	Occurrence hydrologique	Occurrence hydraulique
Maravenne	100 ans	100 ans	50 ans
Pansard	30 ans	30 ans	30 ans

Crue de novembre 2014	Occurrence des pluies	Occurrence hydrologique	Occurrence hydraulique
Maravenne	20 ans	30 ans	50 ans
Pansard	< 10 ans	< 10 ans	10 ans

### 9.4 CONCLUSION

- Incertitudes sur la précision et la qualité de la donnée pluviométrique :
  - Pluies issues des lames radar de janvier et novembre 2014 (cumuls par sous-bassin versant parfois en contradiction avec le ressenti local) ;
  - Quantiles pluviométriques statistiques SHYREG très élevés par comparaison avec les cumuls 2014 ;
  - Incertitudes sur les conditions initiales de saturation des sols, qui sont déterminantes dans la formation du débit de pointe.
- Ces résultats hydrologiques ont été affinés par l'étude hydraulique (prise en compte des phénomènes de propagation / résultats fonction des concomitances) ;
- Le retour d'expérience des crues de 2014 et l'analyse hydraulique permettent de confirmer le modèle hydrologique pour ces crues.

LA LONDE  
Les Maures



Janvier 2016



Étude hydraulique et de  
définition d'une stratégie de  
prévention et de protection  
contre les inondations des  
zones à enjeux de la commune

## Rapport de construction et calage du modèle hydraulique

En cours de validation par les Services de l'État



Direction Délégée Méditerranée – Outre Mer  
Agence d'Aix-en-Provence  
30 Avenue Henri Malacrida  
13 100 Aix-en-Provence





Numéro du projet :

Intitulé du projet :

Intitulé du document :
------------------------

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
	MONTARROS Florent	ROPERT Matthieu		Version initiale



## Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
	1.1 Contexte .....	4
	1.2 Données d'entrée .....	4
<b>2</b>	<b>Descriptif des outils hydrauliques.....</b>	<b>5</b>
	2.1 Principes généraux .....	5
	2.1.1 Objet de la modélisation hydraulique .....	5
	2.1.2 Type de modélisation retenue .....	6
	2.2 Logiciels utilisés .....	8
	2.2.1 Présentation de Mike .....	8
	2.2.2 Présentation de HEC-RAS .....	9
	2.3 Données d'entrée utilisées pour le modèle .....	9
	2.3.1 Débits .....	9
	2.3.2 Topographie.....	9
	2.3.3 Retour d'expérience des crues historiques .....	10
	2.3.4 Condition aval (niveau de la mer).....	10
	2.3.5 Transition entre modèles.....	10
	2.4 Méthodologie de Calage.....	11
	2.5 Présentation des modèles.....	12
	2.5.1 Pansard Amont .....	12
	2.5.1.1 Informations générales .....	12
	2.5.1.2 Calage et choix de modélisation .....	13
	2.5.2 Maravenne amont .....	23
	2.5.2.1 Informations générales .....	23
	2.5.2.2 Calage .....	24
	2.5.3 Aval RD 98.....	27
	2.5.3.1 Informations générales .....	27
	2.5.3.2 Maillage .....	28

---

2.5.3.3	Calage .....	29
2.5.4	Validation sur l'événement de novembre 2014 .....	33
<b>2.6</b>	<b>Exploitation des modèles .....</b>	<b>34</b>
2.6.1	Exploitation des modélisations pour différentes occurrences .....	34
2.6.2	Définition de la capacité des tronçons des cours d'eau .....	34
2.6.3	Analyse de la sensibilité au niveau marin.....	36
2.6.4	Analyse de l'effacement des digues.....	36
<b><u>Annexe 1 : Choix des PHE retenues .....</u></b>		<b>37</b>
<b><u>Annexe 2 : Résultats cartographiques .....</u></b>		<b>47</b>

## Tables des illustrations

Figure 1 Schéma de principe des différents outils et données .....	5
Figure 2 Emprise étudiée .....	6
Figure 3 Découpage du secteur d'étude en 3 modèles .....	7
Figure 4 Vue en plan d'un maillage (à gauche) et du modèle numérique correspondant en relief (à droite).....	8
Figure 5 Emprise du modèle Pansard amont.....	12
Figure 6 Localisation et choix des PHE retenues à Notre-Dame des Maures .....	14
Figure 7 Risque de présence d'embâcles dans le lit du Pansard, zone de Notre-Dame des Maures .....	15
Figure 8 affluent 1 à gauche, autre affluent à droite .....	15
Figure 9 Phénomènes d'obstruction dans la zone de Notre-Dame des Maures .....	16
Figure 10 Ligne d'eau pour la crue de Janvier et PHE associées au niveau de Notre-Dame des Maures	17
Figure 11 Localisation et choix des PHE retenues dans le secteur RD 98 et pont cadre (Pansard) .....	18
Figure 12 Particularités du modèle en amont de la voie rapide (RD 98) .....	19
Figure 13 Ouvrage obstrué lors des crues, vu de la RD 98 en amont en haut, vue aérienne en bas .....	20
Figure 14 Ligne d'eau pour la crue de janvier et PHE associées au niveau de la RD98 et du pont cadre (Pansard) .....	21
Figure 15 Localisation et choix des PHE retenues dans le secteur RD 98 et pont cadre (Maravenne)....	24
Figure 16 Ligne d'eau pour la crue de Janvier et PHE associées au niveau de la RD98 (Maravenne)....	25
Figure 17 Vue du maillage .....	28
Figure 18 Différence niveau d'eau modélisé moins niveau d'eau relevé pour la crue de janvier 2014 ...	30
Figure 19 Emprise inondée en amont et en aval du pont Ducournau pour la crue de janvier 2014 .....	31
Figure 20 Emprise inondée entre la confluence et la mer .....	32
Figure 21 Localisation et choix des PHE retenues dans le secteur Notre-Dame des Maures.....	38
Figure 22 Ligne d'eau pour la crue de janvier et PHE associées en aval de Notre-Dame des Maures ....	39
Figure 23 Localisation et choix des PHE retenues en aval de Notre-Dame des Maures.....	40
Figure 24 Localisation et choix des PHE retenues en amont de la RD 98 .....	41
Figure 25 Localisation et choix des PHE retenues en amont de la cave coopérative .....	43
Figure 26 Localisation et choix des PHE écartées en aval de la confluence.....	46



# 1 INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE

Au cours de l'année 2014, La Londe les Maures a été gravement touchée par les inondations en janvier et en novembre. Deux crues ont été particulièrement importantes puisqu'elles ont dépassé les niveaux définis dans le PPRi de la commune.

La présente étude fait suite à ces événements. Elle se décompose suivant les étapes suivantes :

- Visite de terrain, rencontre avec les riverains ;
- Synthèse des données disponibles ;
- Reprise des études hydrologiques et hydrauliques antérieures ;
- Proposition de scénarios d'aménagements ;
- Analyses Coûts-Bénéfices et Multi-Critères des aménagements retenus.

Le présent document porte sur la prise de connaissance du terrain par des visites sur sites et des rencontres avec les riverains. Il regroupe un grand nombre d'informations sur lesquelles se basent les phases suivantes.

## 1.2 DONNÉES D'ENTRÉE

Les données d'entrée utilisées sont :

- Relevés Lidar réalisés entre les crues de janvier et novembre 2014 ;
- Relevés topographiques en lit mineur réalisés par Opsia en février 2015 ;
- Relevés de laisses de crue suite à la crue de janvier 2014 (données mutualisées par la DDTM 83 à partir de diverses sources) ;
- Témoignages des riverains et des élus ;
- Données marégraphiques relevées à Toulon (source : SHOM).
- Les données hydrologiques produites dans la phase 2.1 de la présente étude

## 2 DESCRIPTIF DES OUTILS HYDRAULIQUES

### 2.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX

#### 2.1.1 OBJET DE LA MODÉLISATION HYDRAULIQUE

Dans la partie hydrologique de la phase 1, la réaction du bassin hydrographique du Maravenne et du Pansard pour différentes situations de pluie a été étudiée. En ruisselant sur le sol et en parcourant le réseau hydrographique, ces pluies forment des débits de crues. L'objet du présent document est d'étudier plus finement la propagation de ces débits dans les lits mineurs des différents cours d'eau, les débordements de ces cours d'eau en lit majeur, et d'en déduire une cartographie du risque pour différentes occurrences de crue.

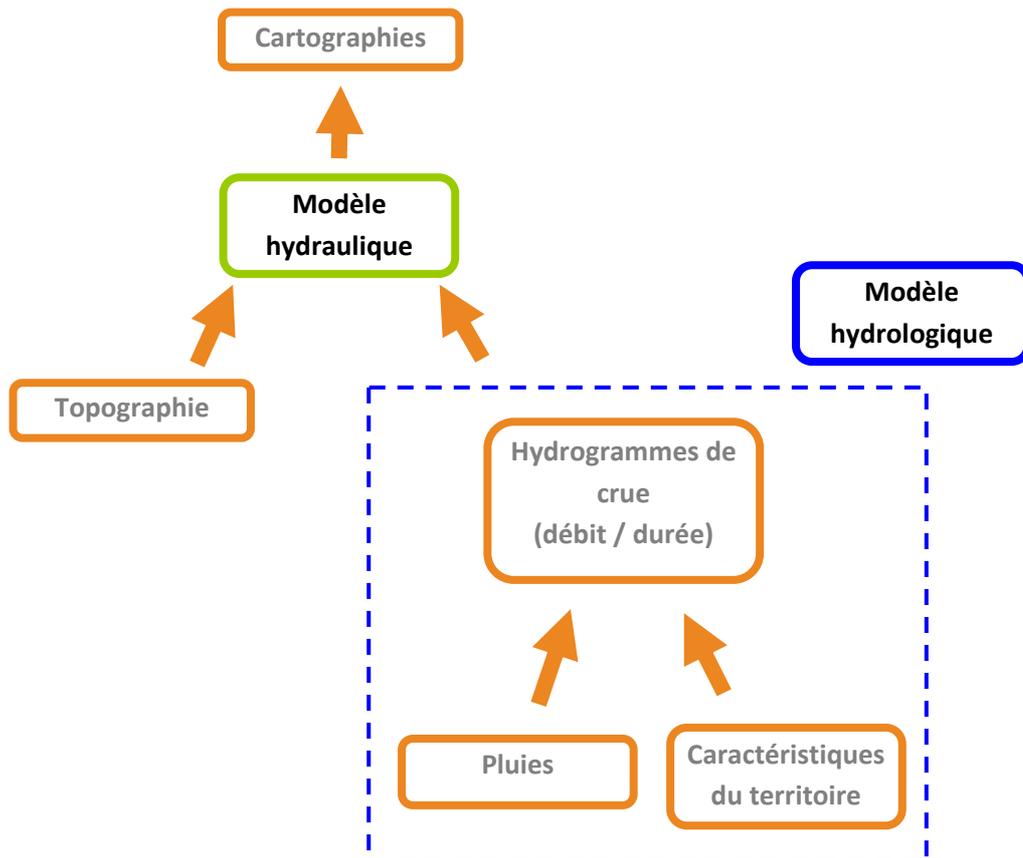
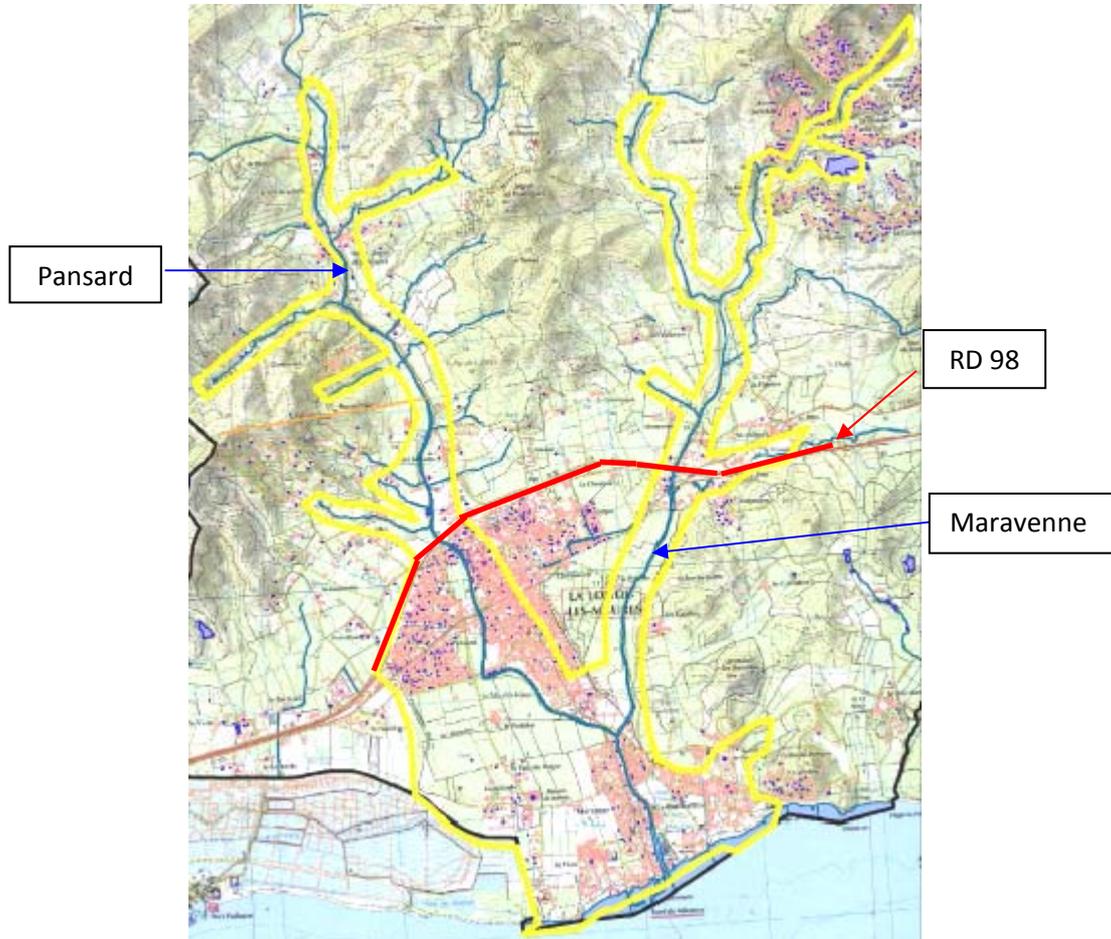


Figure 1 Schéma de principe des différents outils et données

## 2.1.2 TYPE DE MODÉLISATION RETENUE

L'emprise où les zones inondables sont calculées est la suivante :



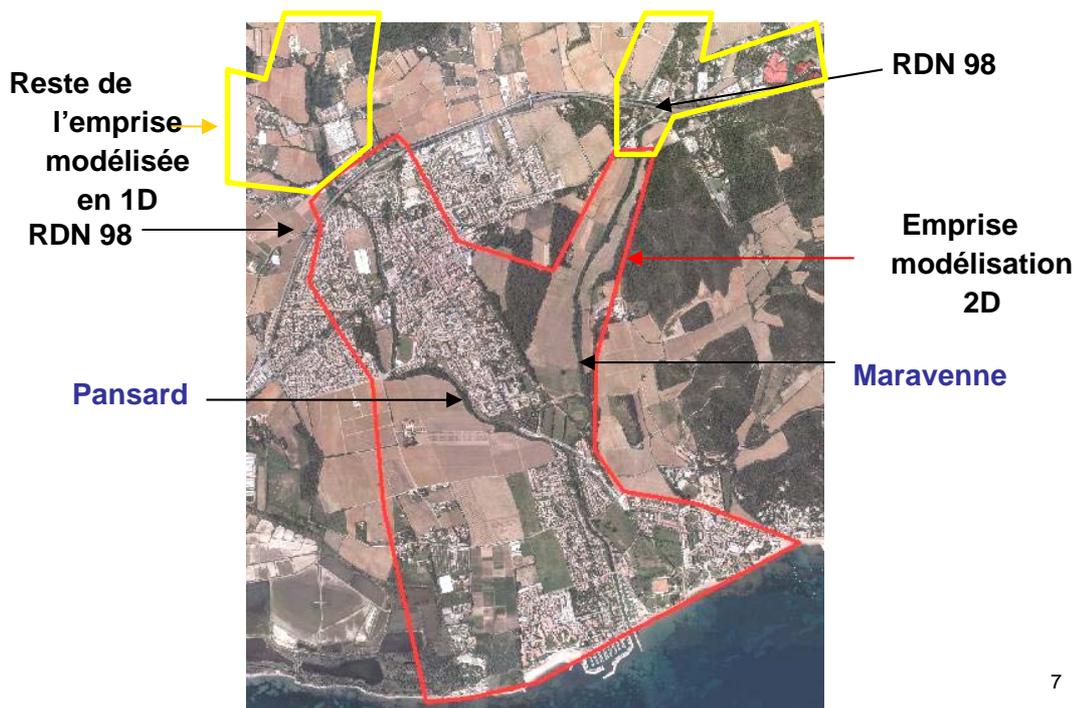
**Figure 2 Emprise étudiée**

En amont de la RD 98, sur le Maravenne comme sur le Pansard, les lits sont encaissés et les écoulements unidirectionnels. Il ne s’y produit pas de phénomènes de séparation des flux en deux, ou d’expansion des débordements en plaine. Ainsi, une modélisation unidirectionnelle est adaptée sur ces secteurs.

En aval de la RD 98, les eaux se séparent en lit majeur en plusieurs veines d’écoulements conditionnés par la topographie : une modélisation 2D est nécessaire.

Pour ces raisons, l'emprise modélisée numériquement a été séparée en trois secteurs (voir ci-après) :

- Le Pansard en amont de la RD 98 modélisé en 1D ;
- Le Maravenne en amont de la RD 98 modélisé en 1D ;
- Le Pansard et le Maravenne de la RD 98 jusqu'à la mer modélisés en 2D.



7

**Figure 3 Découpage du secteur d'étude en 3 modèles**

Des logiciels différents ont été utilisés pour les modèles 1D et 2D.

## 2.2 LOGICIELS UTILISÉS

### 2.2.1 PRÉSENTATION DE MIKE

Pour modéliser numériquement les écoulements, le code de calcul *Mike Flood* a été utilisé. Il permet de coupler des méthodes de calcul 1D et 2D. Le domaine de calcul 1D couvre le lit mineur et ses ouvrages. Le lit majeur est représenté en 2 dimensions par des mailles.

Les calculs 1D et 2D sont tous deux basés sur les équations physiques de Barré de Saint-Venant. Dans le domaine 1D, ces équations sont résolues en supposant connue la direction de propagation des écoulements (ce qui revient à simplifier les équations utilisées en 2D). Dans le domaine 2D, les équations sont résolues sur une discrétisation triangulaire de l'espace appelée *maillage*. Plus le maillage est fin (avec des données topographiques d'une précision au moins égale), plus les résultats seront précis. Il serait donc possible de modéliser l'ensemble du domaine (lit mineur et plaine) en 2 dimensions, mais cela requerrait une finesse de maillage et une bathymétrie complète des lits mineurs.

Le couplage de calculs 1D et 2D permet d'exploiter au mieux les données disponibles avec des temps de calcul raisonnables. Les transferts de débits entre les domaines 1D et 2D sont évalués à partir des niveaux d'eau entre chacun des deux domaines et ceux du terrain naturel ou des digues.

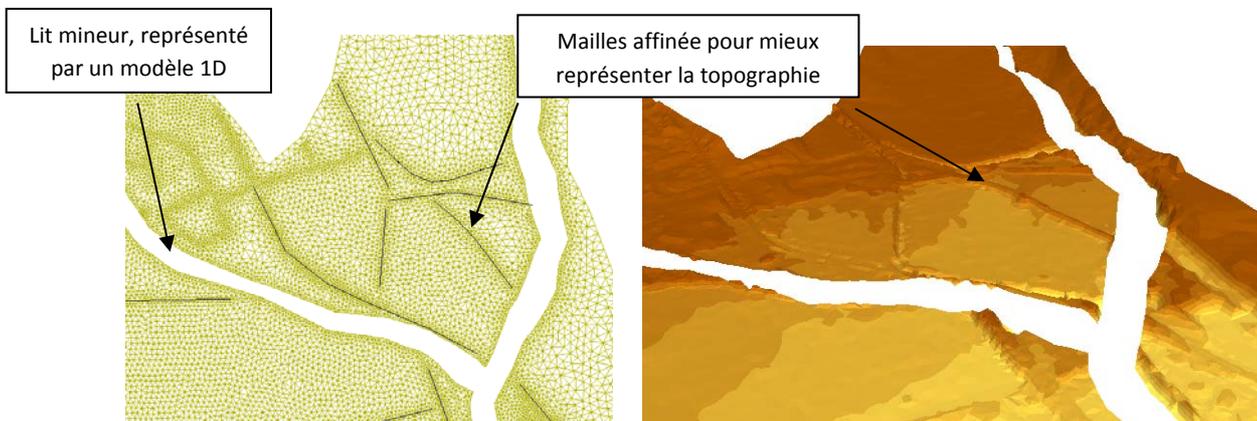


Figure 4 Vue en plan d'un maillage (à gauche) et du modèle numérique correspondant en relief (à droite)

### 2.2.2 PRÉSENTATION DE HEC-RAS

HEC-RAS est un logiciel de calcul de lignes d'eau développé par le Département Hydrologie du Corps des Ingénieurs de l'Armée des États Unis (USACE) depuis les années 1960. Ce logiciel (version 4.1) permet de calculer des écoulements à surface libre en régime permanent et transitoire.

Les résultats sont basés sur les mêmes hypothèses que celles prises en compte sous Mike 11 (Logiciel Mike dédié aux écoulements 1D).

Pour la réalisation des modèles 1D en amont de la RD 98, HEC-RAS a été utilisé plutôt que Mike 11 car il permet un traitement des résultats (notamment en termes de cartographie) plus aisé que Mike.

## 2.3 DONNÉES D'ENTRÉE UTILISÉES POUR LE MODÈLE

### 2.3.1 DÉBITS

Les hydrogrammes (variations de débits dans le temps) sont issus de l'analyse hydrologique actualisée dans le cadre de la présente étude.

L'injection de débit se fait soit aux exutoires des sous-bassins versants du modèle hydrologique, soit répartie uniformément le long d'un tronçon de cours d'eau (si la nature du sous-bassin versant concerné fait que le ruissellement se répartira en surface).

À noter que dans les secteurs urbains, l'injection de débit a été modélisée de façon répartie le long du cours d'eau : il a été considéré que les réseaux d'évacuation des eaux pluviales deviennent saturés dès des pluies biannuelles et que la propagation des eaux se fait majoritairement en surface.

### 2.3.2 TOPOGRAPHIE

Les données topographiques utilisées sont les suivantes :

- Relevés topographiques en lit mineur réalisés par Opsia en février 2015.

Le nombre de profils terrestres levés sur chaque modèle est précisé dans le descriptif des différents modèles.



L'utilisation de ces données comporte plusieurs incertitudes :

- Le lit mineur a évolué pendant les crues (par transport sédimentaire) et suite aux travaux post-crues. La modélisation des crues historiques ne représente donc pas fidèlement la topographie du lit mineur.
- Plusieurs modifications du terrain ont eu lieu en lit majeur entre les crues de janvier et novembre 2014 (création de remblais, mouvements de terre, etc.).

### 2.3.3 RETOUR D'EXPÉRIENCE DES CRUES HISTORIQUES

Par rapport aux crues de janvier et novembre 2014, les résultats de la modélisation ont été analysés sur la base des éléments suivants :

- Laises de crues relevées suite à l'événement de janvier 2014 (source : DDTM 83) ;
- Emprise inondée lors de la crue de janvier 2014 (source : Cerema), définie à partir des photos aériennes post-crues et des relevés de laisses de crues ;
- Témoignages suite à la crue de novembre 2014 (pas de documents écrits).

À noter qu'un grand nombre de laisses de crues sont disponibles, avec par endroits plusieurs valeurs de niveaux d'eau différentes à proximité. Certaines laisses de crues ont été écartées. L'Annexe 1 liste les laisses de crues non retenues pour l'analyse des résultats.

### 2.3.4 CONDITION AVAL (NIVEAU DE LA MER)

D'après la SHOM, le niveau à Toulon lors de la crue de janvier 2014 était de l'ordre de 0.7 m.

À ce jour, les données marégraphiques ne sont pas disponibles et validées pour la crue de novembre 2014. Le niveau de la mer considéré est le même que celui de la crue de janvier 2014, soit 0.7 m.

Des tests de sensibilité du niveau marin ont été réalisés dans le cadre de cette étude (cf chap 2.6.3).

### 2.3.5 TRANSITION ENTRE MODÈLES

Les débits en amont du modèle 2D proviennent des modèles 1D amont.

Les conditions aval des modèles 1D (niveaux d'eau en fonction du débit) sont calculées dans le modèle 2D.

### 2.4 MÉTHODOLOGIE DE CALAGE

Le calage du modèle a consisté à :

1. choisir les paramètres physiques de modélisation (rugosité des lits, pertes d'énergie au droit des ouvrages) sur la base de la visite du terrain et de l'expertise ;
2. pour les débits correspondant à la crue de janvier 2014, comparer les résultats du modèle aux valeurs observées sur site après la crue ;
3. ajuster/caler les paramètres de modélisation suite à cette comparaison afin de mieux représenter les inondations ;
4. valider le calage du modèle avec les données disponibles sur l'événement de novembre 2014.

Pour chaque modèle, les différents paramètres retenus après calage sont indiqués.

Les résultats sont présentés dans le rapport par secteur. Sur ces secteurs, les résultats obtenus pour la crue de janvier 2014 sont comparés aux laisses de crues correspondantes. Les singularités hydrauliques (ouvrages, obstacles en lit majeurs, embâcles) et leur intégration dans le modèle numérique sont décrites dans le rapport.

## 2.5 PRÉSENTATION DES MODÈLES

### 2.5.1 PANSARD AMONT

#### 2.5.1.1 Informations générales

Emprise :

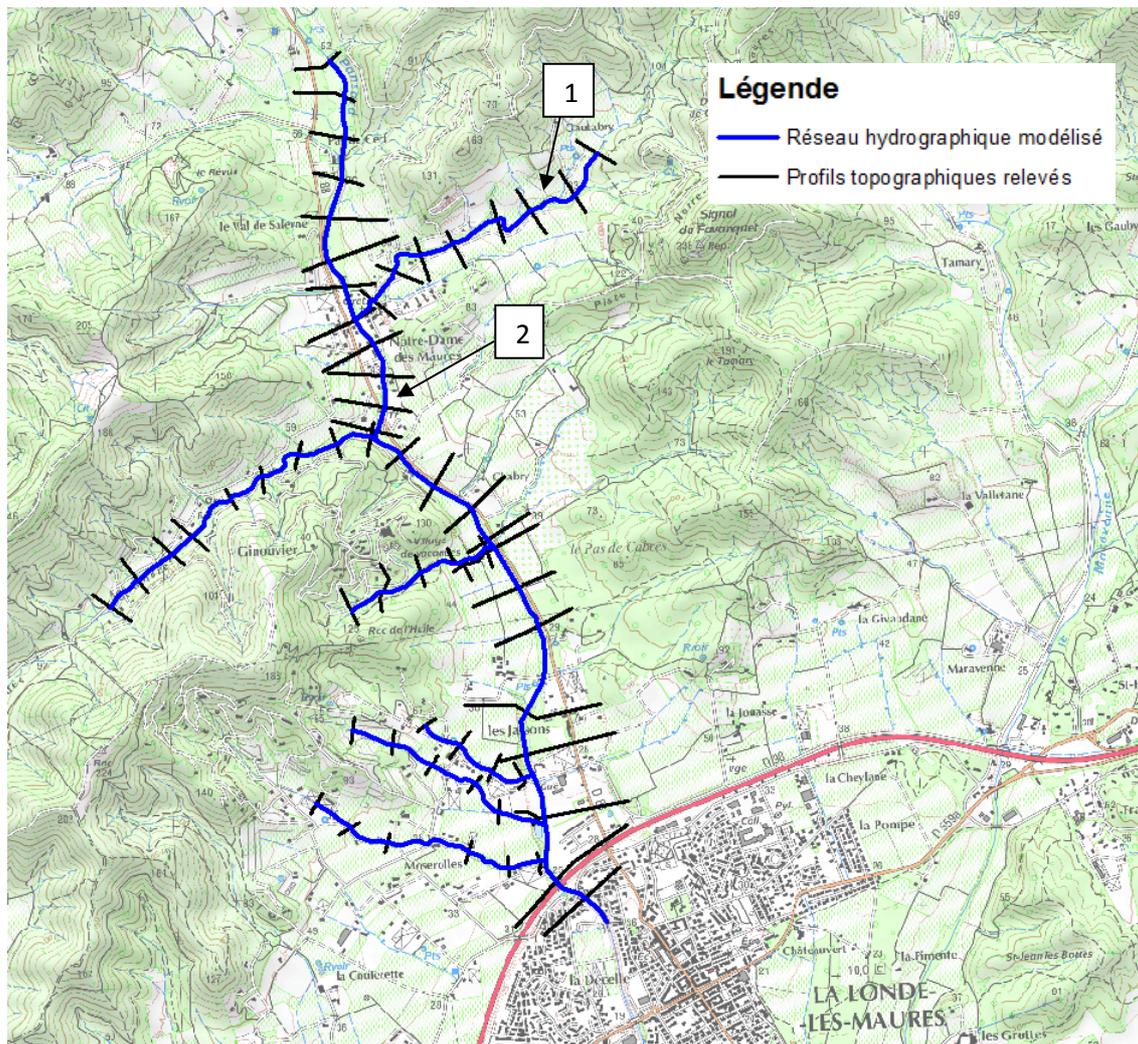


Figure 5 Emprise du modèle Pansard amont

Logiciel utilisé : HEC-RAS (modélisation 1D).

Nombre de profils topographiques relevés : 62 (24 sur le Pansard, 38 sur ses affluents).

Coefficients de Strickler retenus :

**Tableau 1 Récapitulatif des coefficients de Strickler en  $m^{1/3}s^{-1}$  retenus pour le Pansard amont**

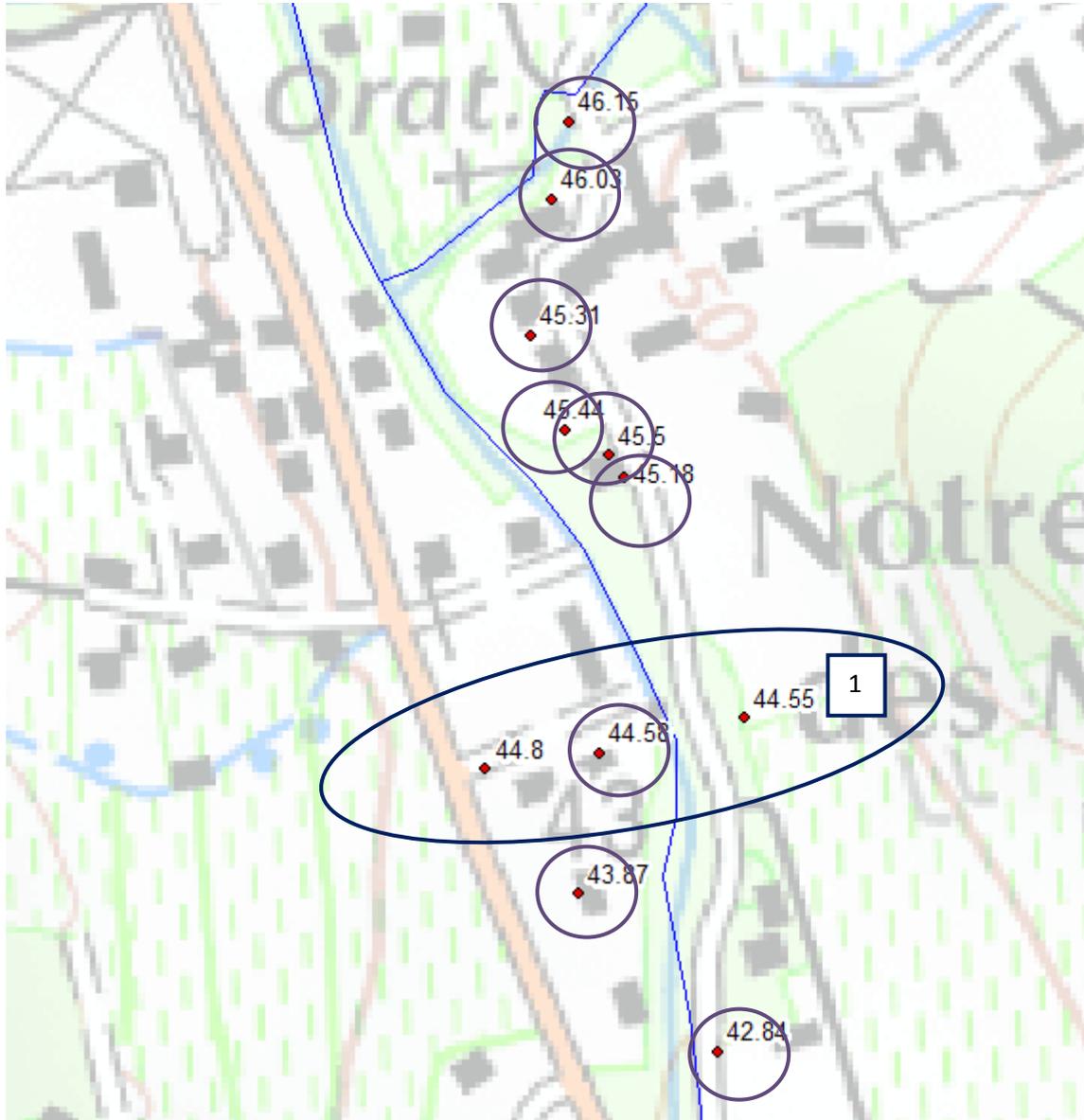
	Berges	Lit mineur
Valeurs globales (exceptions indiquées ci-dessous)	10	15
Affluent amont (1)	10	20
Tronçon Notre Dame des Maures (2), voir calage	5	15

### **2.5.1.2 Calage et choix de modélisation**

Deux secteurs ont fait l'objet d'un calage spécifique et d'une modification du paramétrage du modèle.

### Secteur de Notre-Dame des Maures

Les laisses de crues exploitées sont localisées ci-dessous :



**Figure 6 Localisation et choix des PHE retenues à Notre-Dame des Maures**

Les PHE levées dans la zone de Notre-Dame des Maures traduisent une élévation de la ligne d'eau plus marquée que sur le reste du cours d'eau. Une rugosité très faible a été appliquée aux berges pour représenter l'influence d'arbres très près du lit mineur favorisant la présence d'embâcles (Figure 7).



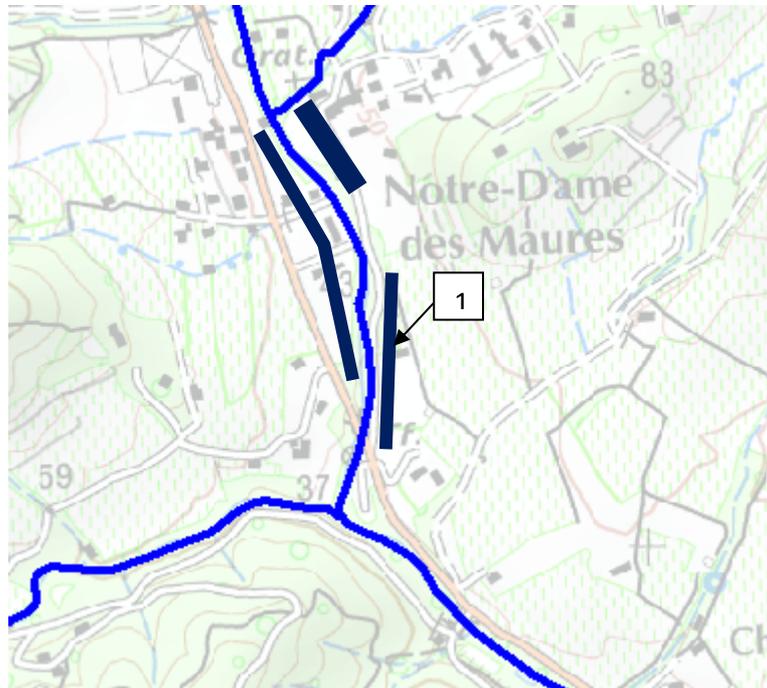
**Figure 7 Risque de présence d'embâcles dans le lit du Pansard, zone de Notre-Dame des Maures**

Remarque : à l'inverse, l'observation sur le terrain de l'affluent à l'amont du modèle (voir ci-dessous) Figure 7 conduit à retenir une rugosité moindre que sur le reste du modèle.



**Figure 8 affluent 1 à gauche, autre affluent à droite**

Des zones d'obstruction (Figure 9, (1)) ont été intégrées au modèle dans la zone de Notre-Dame des Maures afin de prendre en compte la présence de maisons et de murs à proximité immédiate du Pansard.



**Figure 9 Phénomènes d'obstruction dans la zone de Notre-Dame des Maures**

Les laisses de crues ayant servi au calage et la ligne d'eau sont présentées ci-dessous (puisque les laisses de crues ont été relevées sur des obstacles en travers des écoulements, les niveaux mesurés correspondent au niveau d'énergie dans le lit mineur sur ces profils).

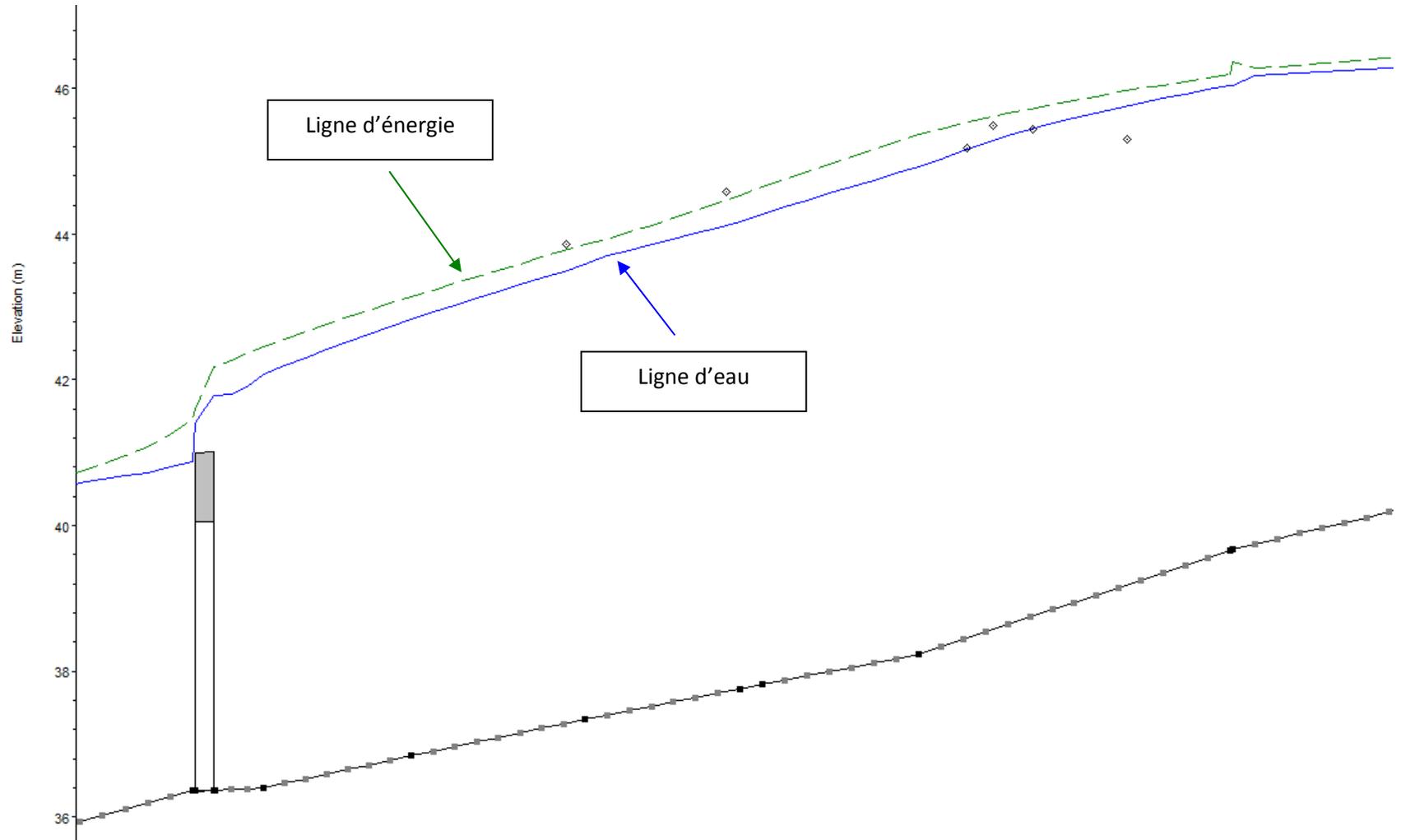
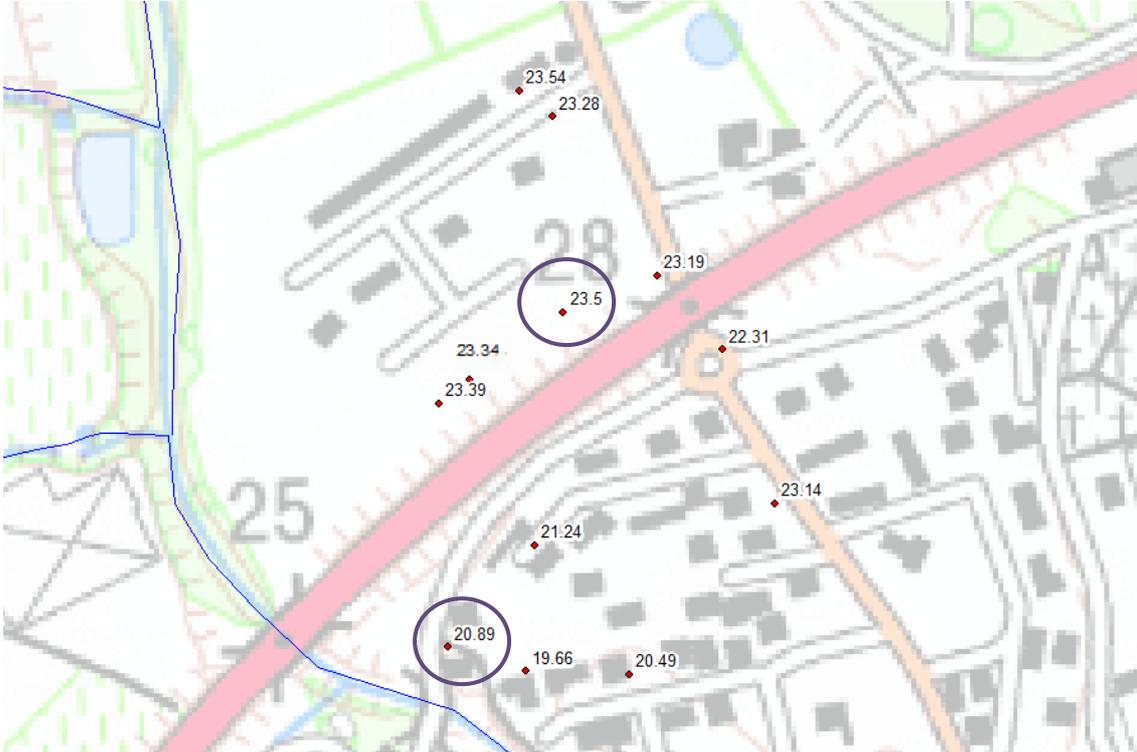


Figure 10 Ligne d'eau pour la crue de Janvier et PHE associées au niveau de Notre-Dame des Maures

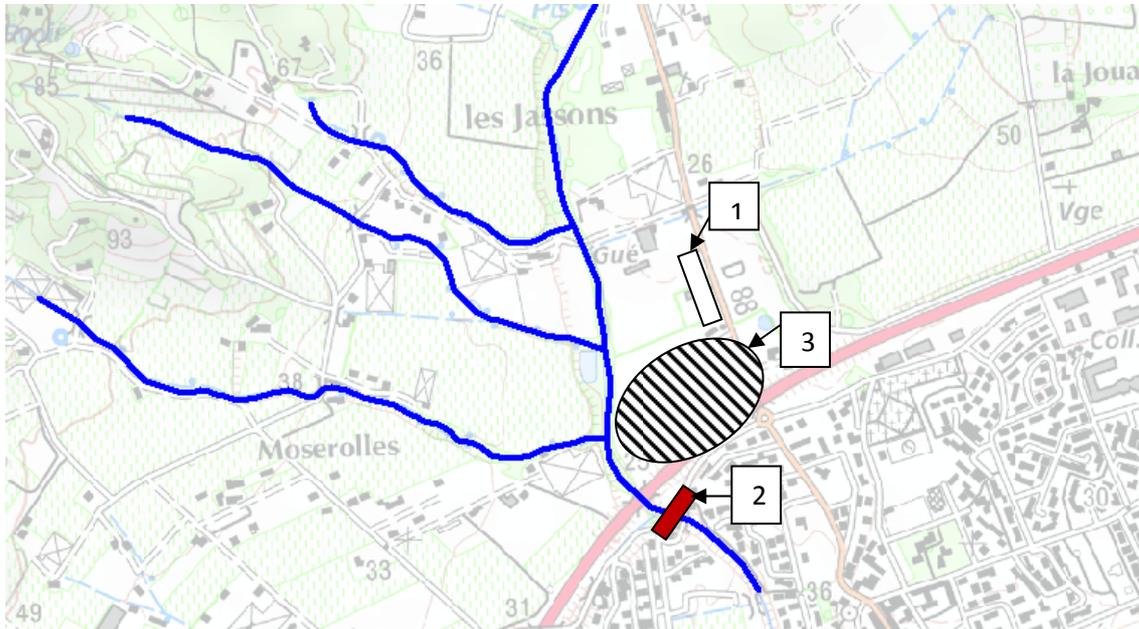
Secteur en amont de la voie rapide (RD 98)

Les laisses de crues exploitées sont localisées ci-dessous :



**Figure 11 Localisation et choix des PHE retenues dans le secteur RD 98 et pont cadre (Pansard)**

Les particularités hydrauliques du secteur intégrées dans le modèle sont localisées ci-dessous :



**Figure 12 Particularités du modèle en amont de la voie rapide (RD 98)**

Un déversoir latéral a été créé dans ce modèle 1D (Figure 12, (1)) afin de représenter les écoulements au travers de l'ouvrage de franchissement routier de la RD 88 sous la RD 98.

La cote et la longueur de ce déversoir sont issues des données topographiques au droit du franchissement routier. La forte pente de la route en aval du franchissement fait qu'une section critique s'établit. Le franchissement fonctionne donc, d'un point de vue hydraulique, comme un seuil épais avec un coefficient de débit de 0.385. C'est ce coefficient qui a été utilisé dans le modèle.

La présence d'embâcles au cours de la crue de calage a été prise en compte dans le modèle en obstruant l'ouvrage situé en aval de la RD98 (Figure 12, (2) et Figure 13). À noter que l'orientation de l'ouvrage, transversale par rapport au cours d'eau, a été intégrée dans le calcul des débits le submergeant.

Une zone morte (Figure 12, (3)) a été intégrée dans le modèle afin de caractériser la vitesse nulle de l'eau à cet endroit au moment de la pointe de crue.



Figure 13 Ouvrage obstrué lors des crues, vu de la RD 98 en amont en haut, vue aérienne en bas

Les PHE ayant servi au calage et la ligne d'eau en résultant sont présentées ci-dessous :

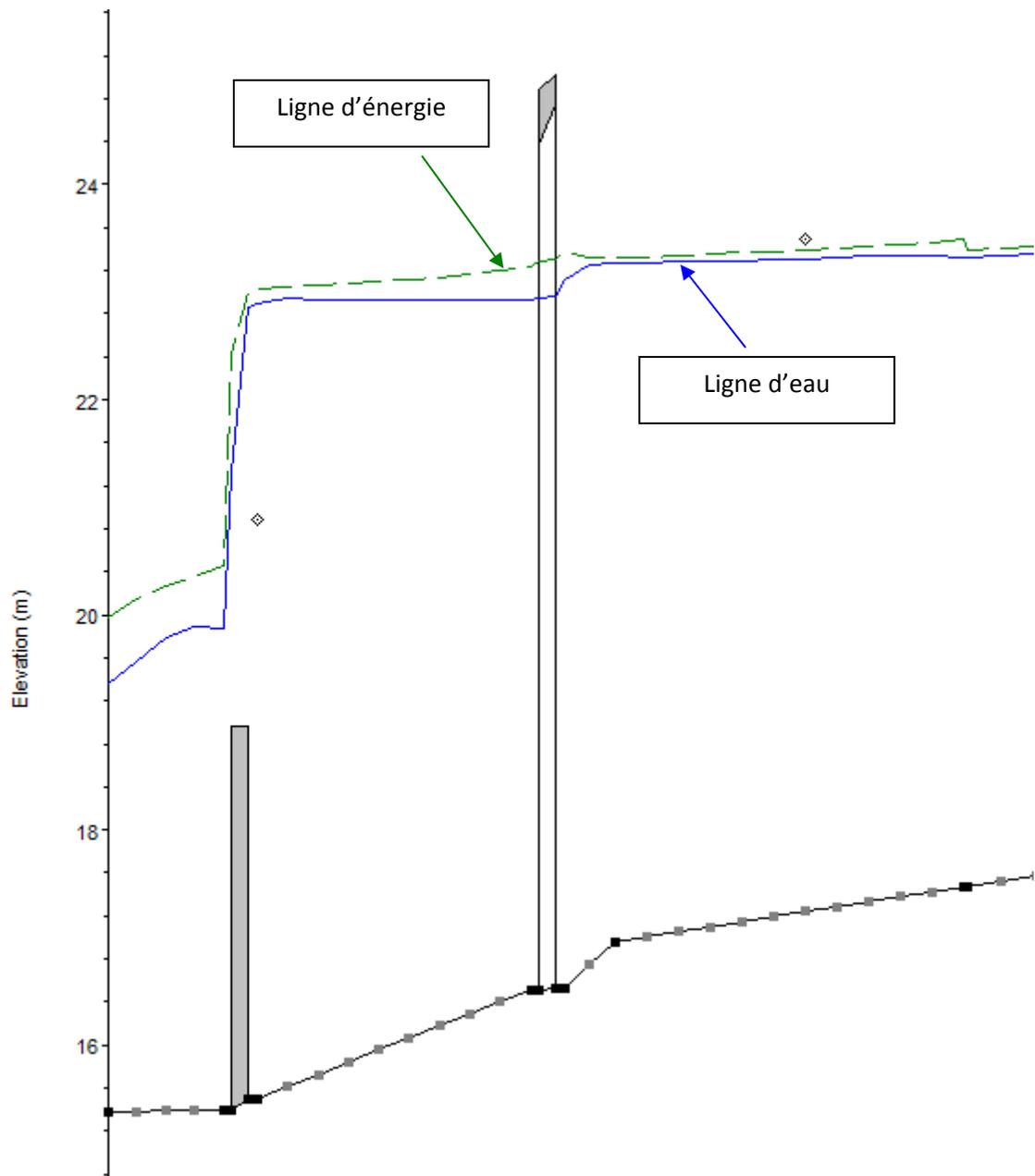


Figure 14 Ligne d'eau pour la crue de janvier et PHE associées au niveau de la RD98 et du pont cadre (Pansard)

### Récapitulatif des résultats

Les résultats du calage sur l'ensemble du modèle sont récapitulés dans le tableau ci-dessous

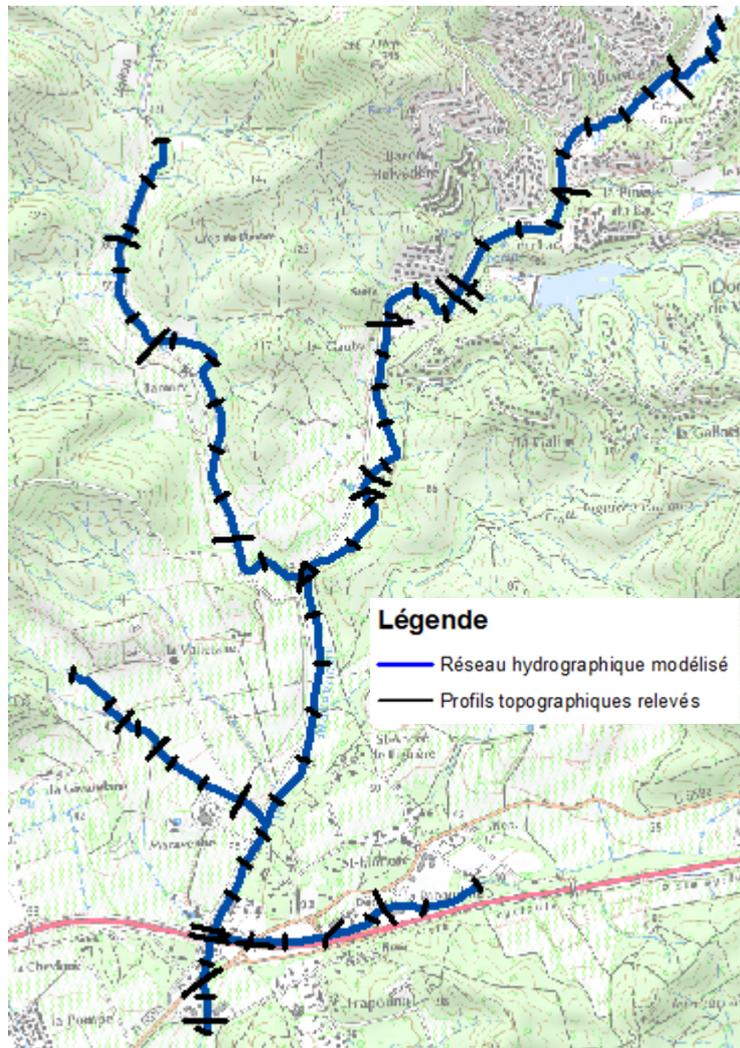
**Tableau 2 Résultats du calage**

Nombre de PHE	15
Écart maximal (m NGF)	2.01
Moyenne des écarts absolus (m NGF)	0.49
Moyenne des écarts relatifs (%)	1.55

Note : Les écarts ont été mesurés avec les niveaux d'énergies qui sont les niveaux effectivement mesurés à l'endroit des laisses de crue relevées.

## 2.5.2 MARAVENNE AMONT

### 2.5.2.1 Informations générales



Emprise :

Logiciel utilisé : HEC-RAS (modélisation 1D).

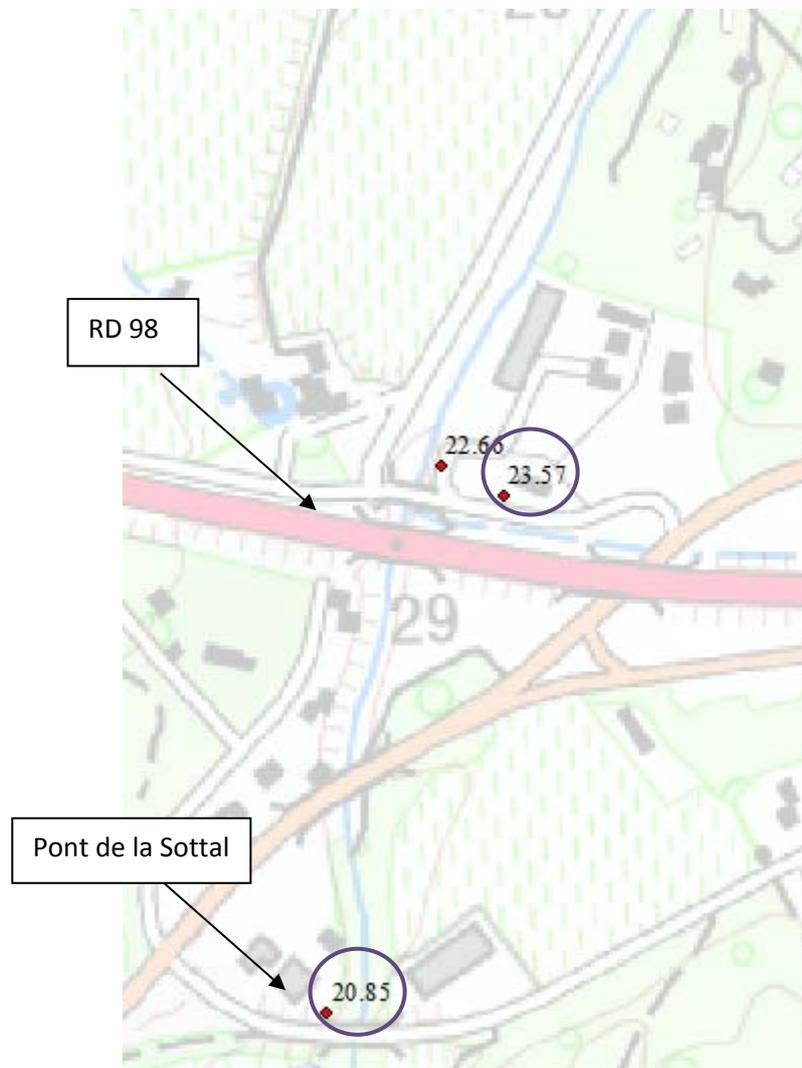
Nombre de profils topographiques relevés : 90.

Coefficient de Strickler retenus :  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  en lit mineur,  $12.5 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  sur les berges.

### 2.5.2.2 Calage

*Rappel* : le calage du modèle a été effectué pour l'événement de janvier 2014.

Sur le Maravenne, seules 3 laisses de crues ont été relevées à proximité de la RD 98.



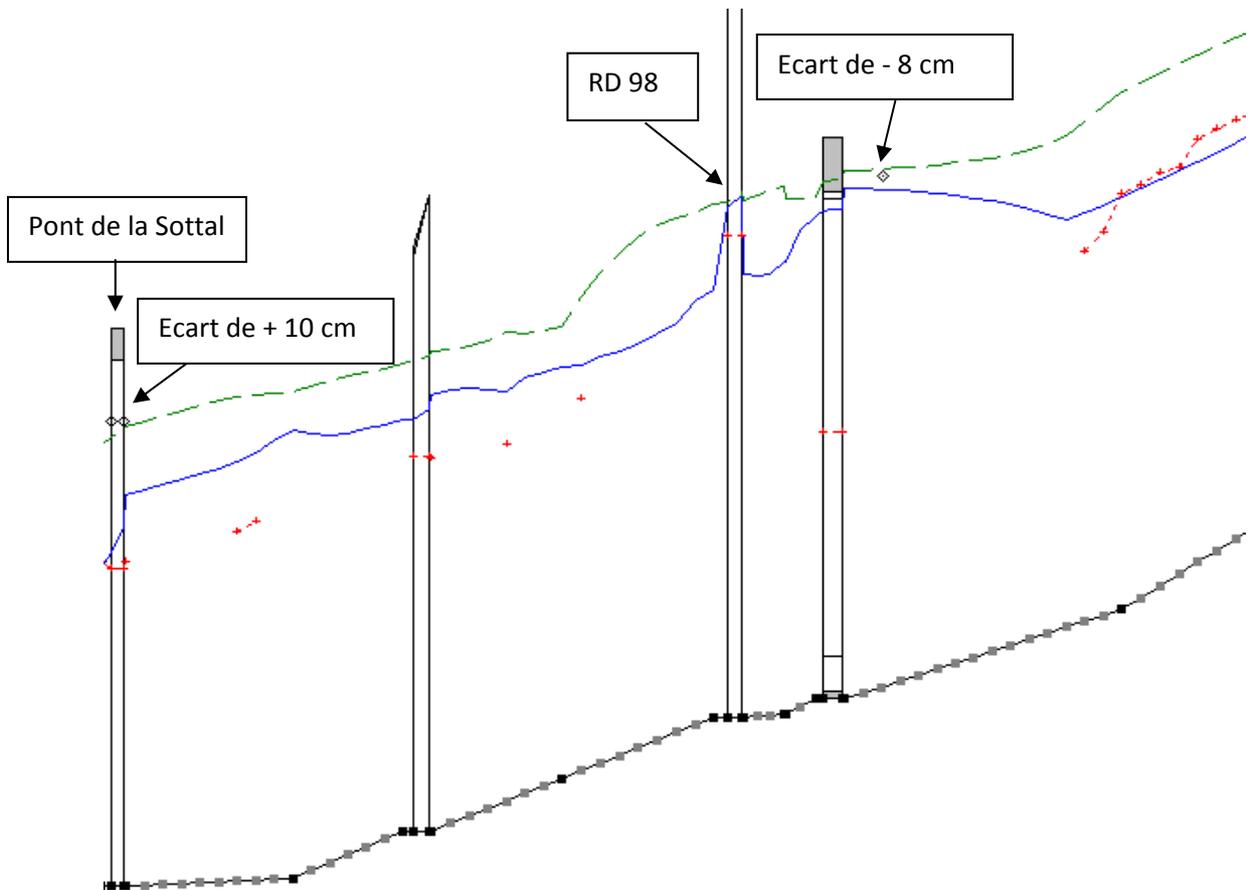
**Figure 15 Localisation et choix des PHE retenues dans le secteur RD 98 et pont cadre (Maravenne)**

L'exercice de calage des paramètres hydrauliques sur ce secteur n'a pas abouti. En effet, les ouvertures des ponts ne permettaient pas, dans une gamme de valeur de paramètres physiques réalistes, d'expliquer les niveaux d'eau atteints en amont : pour les débits injectés, les niveaux d'eau calculés étaient trop hauts.

La conclusion de cette démarche est que les débits ont été surévalués pour cette crue.

Pour caler le modèle côté Maravenne, c'est le débit et non pas les paramètres hydrauliques qui ont été ajustés. Les débits issus de l'hydrologie ont été diminués de 10 % pour faire correspondre les niveaux d'eau/énergie mesurés aux niveaux d'énergie calculés. Précisons que 10 % d'erreur reste dans la gamme d'incertitude d'un modèle hydrologique.

Les lignes d'eau et d'énergie obtenus pour ce débit revu sont les suivantes :



**Figure 16** Ligne d'eau pour la crue de Janvier et PHE associées au niveau de la RD98 (Maravenne)

La question qui découle de ce constat est la fiabilité du modèle hydrologique. Idéalement, il aurait fallu disposer de davantage de relevés sur le Maravenne pour les comparer entre eux et mieux quantifier le débit et les causes possibles d'erreur sur l'hydrologie. Raisonner sur les emprises inondées n'est pas fiable, puisque 10 % de variation sur le débit modifie peu les emprises inondées. On ne peut donc qu'admettre cette incertitude sur le débit hydrologique.

Néanmoins, comme les caractéristiques du bassin versant du Maravenne sont proches de celles du Pansard, et que les résultats hydrologiques et hydrauliques sur le Pansard sont satisfaisants, nous imputons l'erreur sur les débits obtenus via le

modèle hydrologique aux pluies retenues, et non aux paramètres relatifs au bassin versant du Maravenne.

Cela signifie que nous n'appliquerons pas cette réduction du débit hydrologique de 10 % pour les évènements autre que janvier 2014.

La modélisation hydrologique et hydraulique de la pluie de novembre 2014 semble confirmer que cette hypothèse est juste (voir chapitre 2.5.4 p 33).

À noter que cette réduction du débit hydrologique sur le Maravenne a été appliquée à tout son bassin versant, et a donc une influence en aval de la confluence avec le Pansard.

### 2.5.3 AVAL RD 98

#### 2.5.3.1 Informations générales

Emprise : Image avec FDP.

Logiciel utilisé : Mike Flood (couplage Mike 21 (2D) avec Mike 11 (1D)).

Nombre de profils topographiques relevés : 55.

Coefficient de Strickler retenus :  $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  en lit mineur.

En lit majeur, les rugosités suivantes ont été retenues suivant la nature du sol :

- $55 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  sur les voiries ;
- $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  en plaine (principalement des vignes) ;
- $4 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  en secteur bâti.

La très forte rugosité (traduite par un très faible coefficient de Strickler) des zones bâties a été choisie pour traduire l'effet des bâtiments et des clôtures sur les écoulements. Les eaux s'étalant sur de grandes surfaces avec des vitesses lentes, elles pénètrent facilement dans les maisons. Il n'est donc pas réaliste de représenter les bâtiments comme des zones où l'eau ne peut pas entrer.

### 2.5.3.2 Maillage

Le maillage est composé de 110 000 éléments.

Les mailles ont été affinées sur les zones topographiques importantes (remblais), sur les routes et les axes d'écoulements marqués. L'arête des mailles fines mesure 5 m. Les éléments plus grossiers mesurent 15 m de longueur.

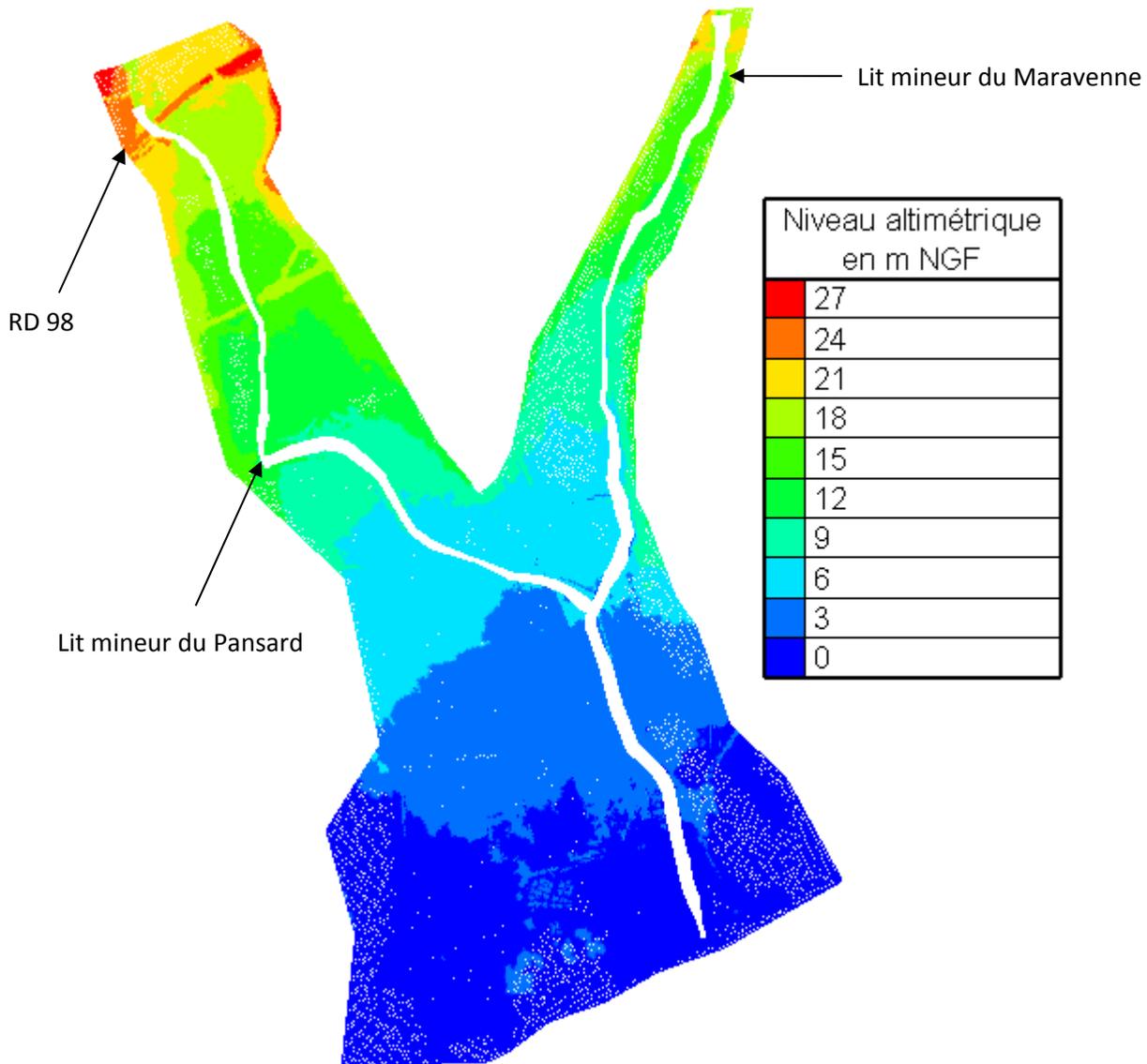


Figure 17 Vue du maillage

### **2.5.3.3 Calage**

*Rappel* : le calage du modèle a été effectué pour l'événement de janvier 2014.

Quand aucune PHE n'était disponible, le calage a été effectué sur la base des emprises inondées.

L'emprise modélisée a été découpée en 3 secteurs à enjeux :

En amont de la cave coopérative

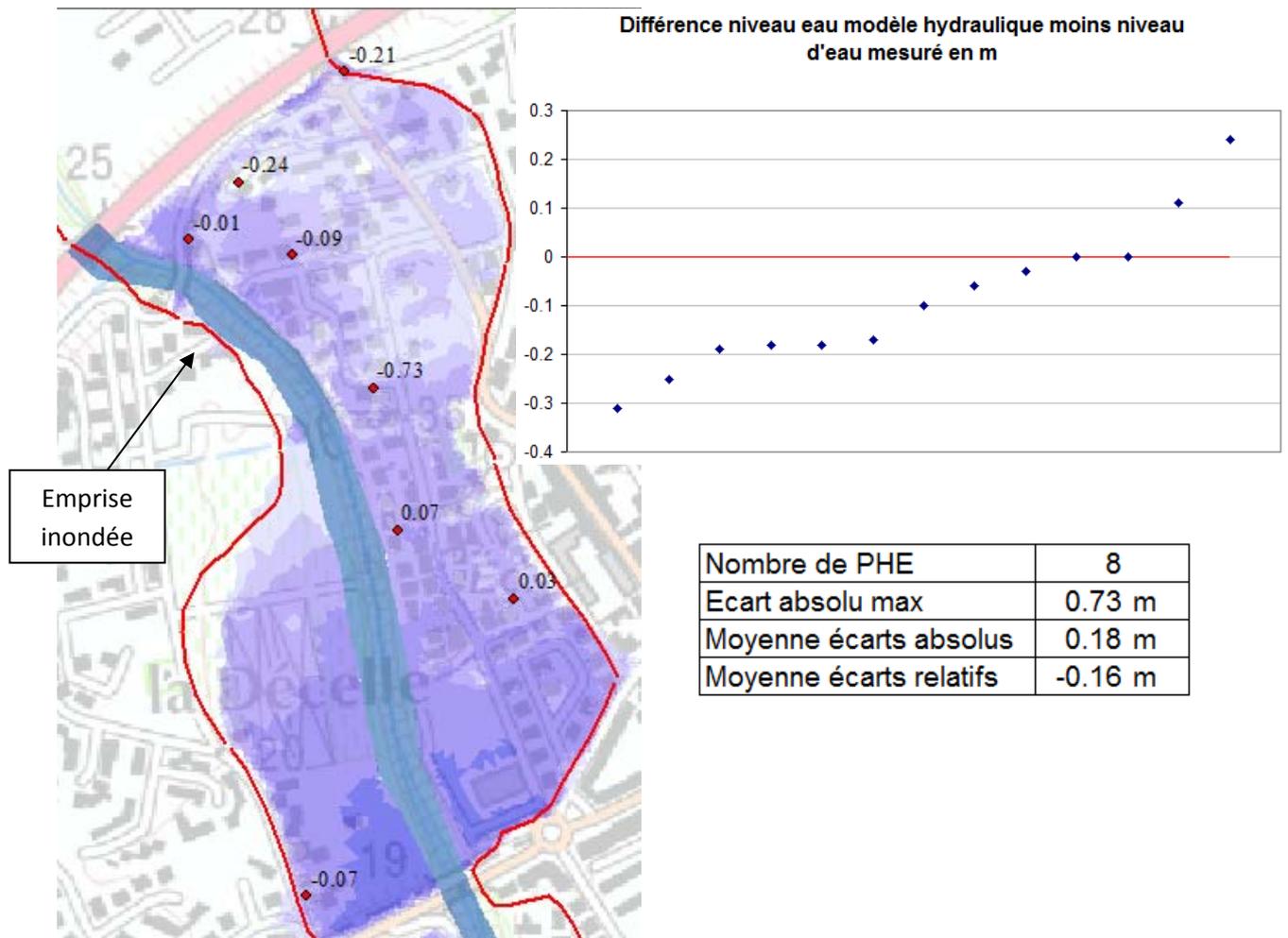


Figure 18 Différence niveau d'eau modélisé moins niveau d'eau relevé pour la crue de janvier 2014

Les choix effectués pour modéliser le pont de la cave coopérative (limite aval de ce secteur) sont détaillés en Annexe 1. Ses coefficients de pertes de charge ont été calculés suivant les abaques de la littérature. Les résultats obtenus en termes de niveaux, pour les débits hydrologiques évalués, sont cohérents avec les laisses de crues relevées. **Ce constat permet de confirmer que l'évaluation du débit au droit du pont de la cave coopérative est juste : il y a cohérence entre les analyses hydrologique et hydraulique.** Le pont de la cave coopérative constitue l'un des rares endroits où l'intégralité du débit transite par une seule section. Il constitue donc un renseignement utile pour l'évaluation des débits.

Hormis deux valeurs où les écarts entre résultats de modélisation et réalité sont de 0.73 et 0.21 m, les différences restent de l'ordre de 10 cm, soit l'ordre d'incertitude d'un modèle hydraulique.

En amont du pont Ducournau



**Figure 19 Emprise inondée en amont et en aval du pont Ducournau pour la crue de janvier 2014**

Sur ce secteur, les travaux de recalibrage effectués après les crues font que la topographie effective en janvier et en novembre 2014 n'est pas connue. Ainsi, il n'a pas été possible de caler le modèle. Les niveaux d'eau obtenus pour ces deux crues sont inférieurs aux niveaux physiquement observés, ce qui est cohérent puisque le lit mineur a été élargi depuis les crues.

### De la confluence jusqu'à la mer

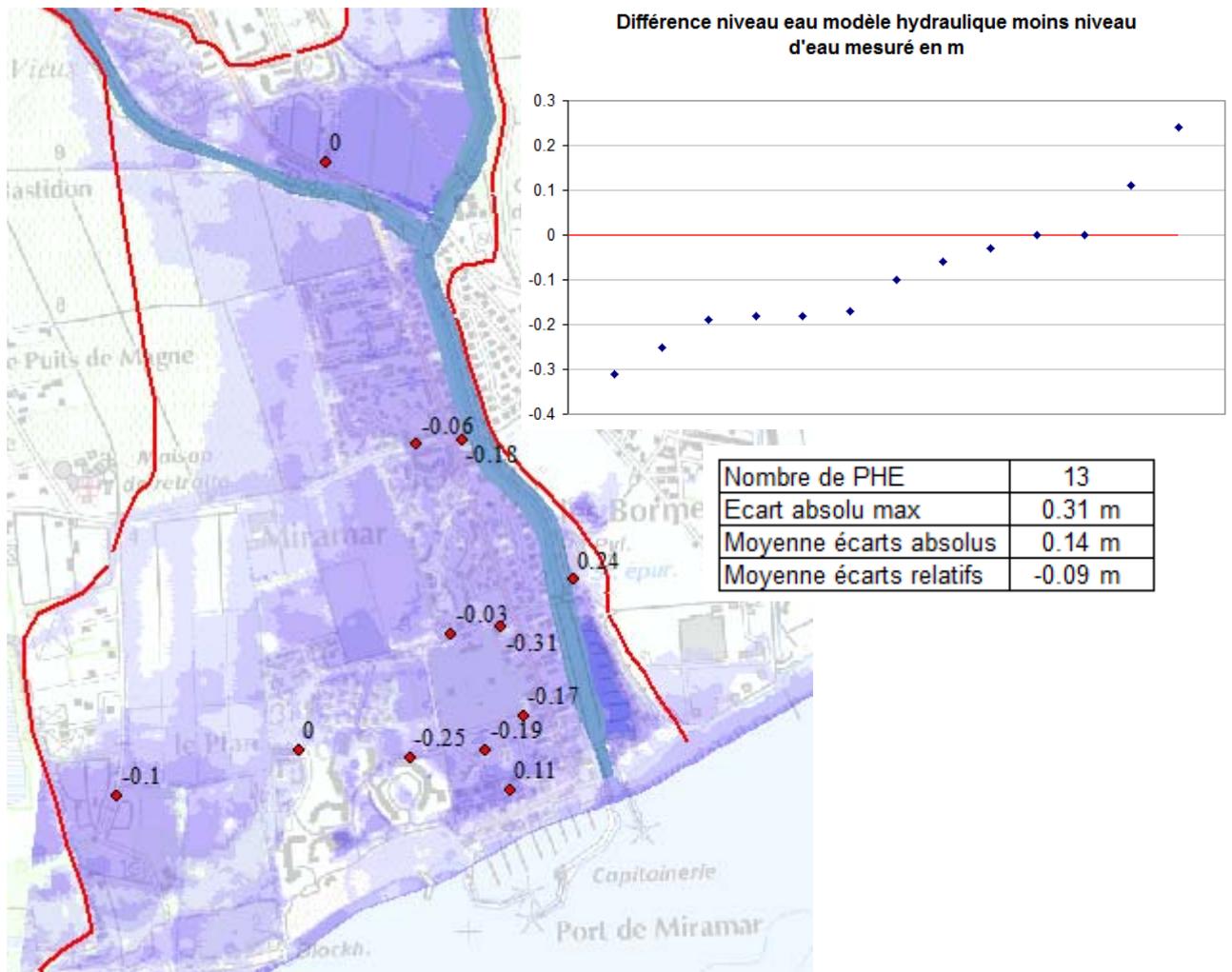


Figure 20 Emprise inondée entre la confluence et la mer

De nombreuses laisses de crues ont été levées dans des propriétés et sont donc fortement conditionnées par le sens des écoulements et les clôtures. Ces éléments sont difficiles à représenter sur un modèle hydraulique. C'est pour cette raison que les écarts entre modélisation et observation varient autant. Néanmoins, dans l'ensemble, l'écart moyen est de l'ordre de précision du modèle hydraulique.

À noter que l'envasement du lit du Maravenne en aval de la confluence fait que sa topographie évolue durant les crues, ce qui ne permet pas d'effectuer un calage précis.

### En conclusion :

La modélisation hydraulique a nécessité, au niveau des singularités physiques, certains choix de modélisation pour bien représenter la réalité des écoulements. Par rapport aux paramètres rentrés initialement dans le modèle (sur la base de l'appréciation de l'ingénieur), peu de changements significatifs ont été réalisés.

Le seul endroit où des valeurs inusuelles de coefficients de Strickler ont été rentrées est le hameau de Notre-Dame des Maures, ce qui se justifie par la nature particulièrement arborée des berges.

Sur le Maravenne, un ajustement du débit évalué hydrologiquement a été nécessaire. Ce choix a été fait car les paramètres hydrauliques retenus sont fiables, tandis que les débits hydrologiques sont sujets à davantage d'incertitudes intrinsèques aux modèles hydrologiques et aux pluies.

Pour la crue de janvier 2014, les résultats numériques correspondent aux mesures post-crues, avec un écart moyen compris entre 10 et 15 cm, ce qui est une valeur satisfaisante compte tenu du nombre de levés effectués.

**Le modèle hydraulique a ainsi été considéré comme calé sur la crue de janvier 2014.**

La carte des résultats obtenus pour le modèle calé est disponible en Annexe 1.

### 2.5.4 VALIDATION SUR L'ÉVÉNEMENT DE NOVEMBRE 2014

Afin de s'assurer de la fiabilité des modèles hydrologique et hydraulique, la crue de novembre 2014 a également été modélisée.

Contrairement à l'événement de janvier 2014, aucune correction n'a été apportée au débit sur le Maravenne (ce qui revient à considérer que cette correction s'appliquait aux pluies de janvier).

À la différence de janvier 2014, le barrage le plus en amont du golf de Valcros avait été vidé avant la crue et a joué un rôle écrêteur durant l'événement. Cet ouvrage a été intégré aux calculs hydrologiques.

En intégrant ces différences par rapport à janvier 2014, une carte des zones inondables et des hauteurs d'eau atteinte a été produite. Elle figure en Annexe 1 de ce document.

Cette carte a été transmise à la commune et diffusée. Les emprises et hauteurs obtenues ont été dans l'ensemble confirmées par la mairie. Bien qu'aucun levé quantifié n'ait été effectué, sur la base de ces témoignages, **la modélisation de la**



crue de novembre 2014 confirme la fiabilité des outils élaborés, soit les modèles hydrologiques et hydrauliques. Ils peuvent donc être réemployés pour analyser les conséquences de pluies différentes et proposer des aménagements pour réduire les inondations.

## 2.6 EXPLOITATION DES MODÈLES

### 2.6.1 EXPLOITATION DES MODÉLISATIONS POUR DIFFÉRENTES OCCURENCES

En complément des simulations réalisées pour les événements de janvier et novembre 2014, des modélisations ont été exploitées pour les crues suivantes (données issues de l'analyse hydrologique) :

- Q10
- Q20
- Q30
- Q50
- Q100

Les résultats sont présentés sous forme de cartes hauteur présentées en annexe 2.

### 2.6.2 DÉFINITION DE LA CAPACITÉ DES TRONÇONS DES COURS D'EAU

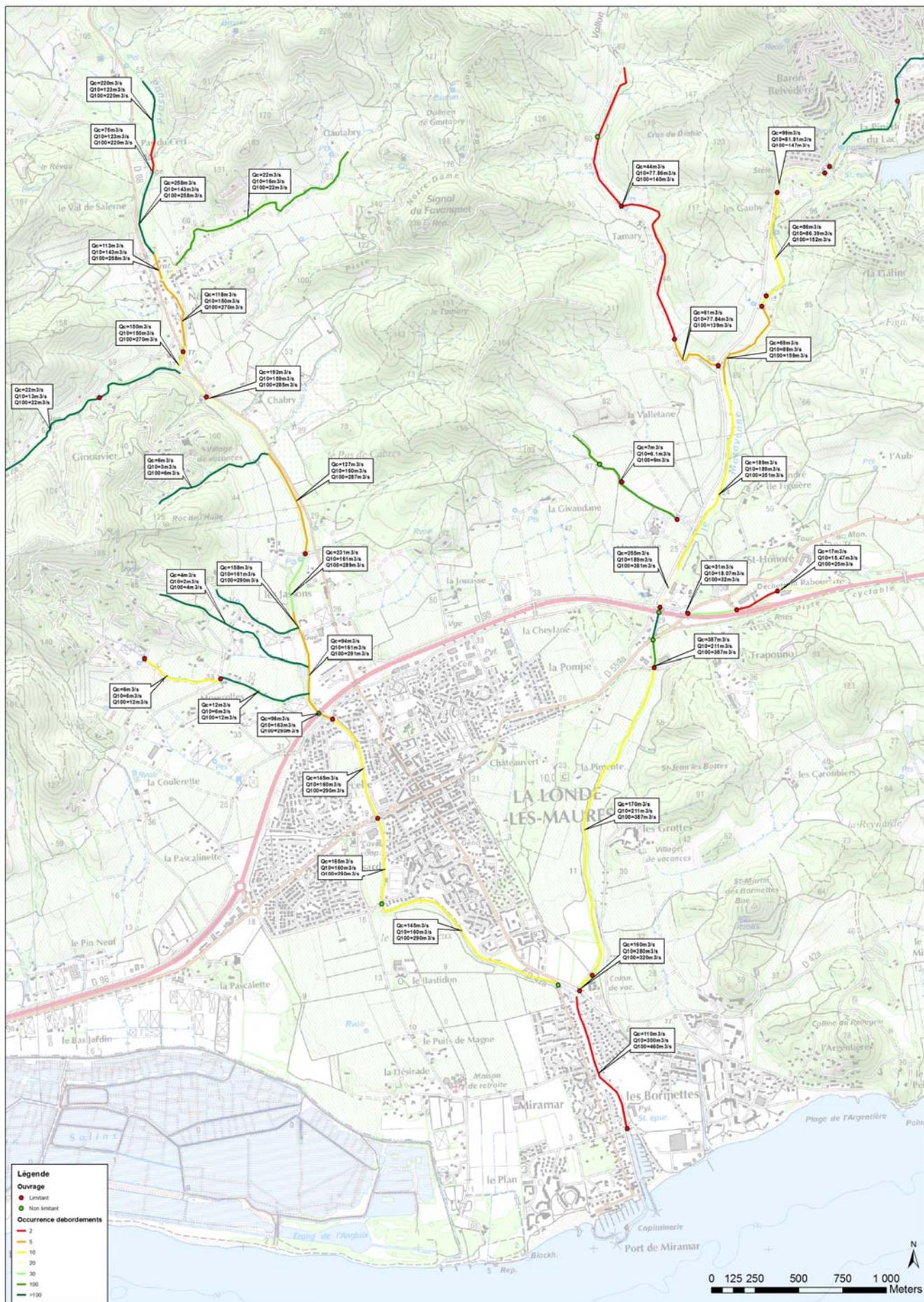
L'analyse des résultats des modélisations réalisées permet de définir les capacités des lits mineurs et de définir les occurrences de protection associée. Les résultats sont présentés dans la figure suivante.

On note que :

- globalement les cours d'eau sont capables de transiter un débit de l'ordre de 10ans ;
- les premiers débordements apparaissent pour une occurrence de 2 ans sur le Maravenne en aval du la confluence ;
- les affluents ont une capacité supérieure aux cours d'eau principaux (souvent de l'ordre de 100 ans) sauf le Tamary dont l'occurrence de protection est de l'ordre de 2 ans.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Rapport de modélisation hydraulique en situation actuelle



### 2.6.3 ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ AU NIVEAU MARIN

Le modèle hydraulique a été exploité pour analyser l'effet du niveau marin sur les niveaux de crue du Maravenne. Le test est réalisé sur la crue décennale du cours d'eau et pour les niveaux de mer suivants :

- $Z=0.7\text{mMGF}$
- $Z=1.5\text{mMGF}$
- $Z=2.0\text{mMGF}$

La crue décennale du cours d'eau a été choisie car elle permet de mettre en avant l'impact du niveau marin sur les écoulements.

Les cartes des niveaux d'eau des différentes simulations sont présentées en annexe. On note que l'impact du niveau de mer est restreint sur l'extrémité aval du champ d'expansion des crues et que le remous est limité. Seuls les terrains sous le niveau de mer sont impactés par le niveau marin.

### 2.6.4 ANALYSE DE L'EFFACEMENT DES DIGUES

Le modèle hydraulique a été exploité pour analyser l'effet de l'effacement de l'ensemble des digues du Maravenne et du Pansard (localisé en aval de la voie rapide) pour la crue centennale. La carte des hauteurs d'eau est présentée en annexe.

Les effets sont relativement importants. On note les modifications suivantes :

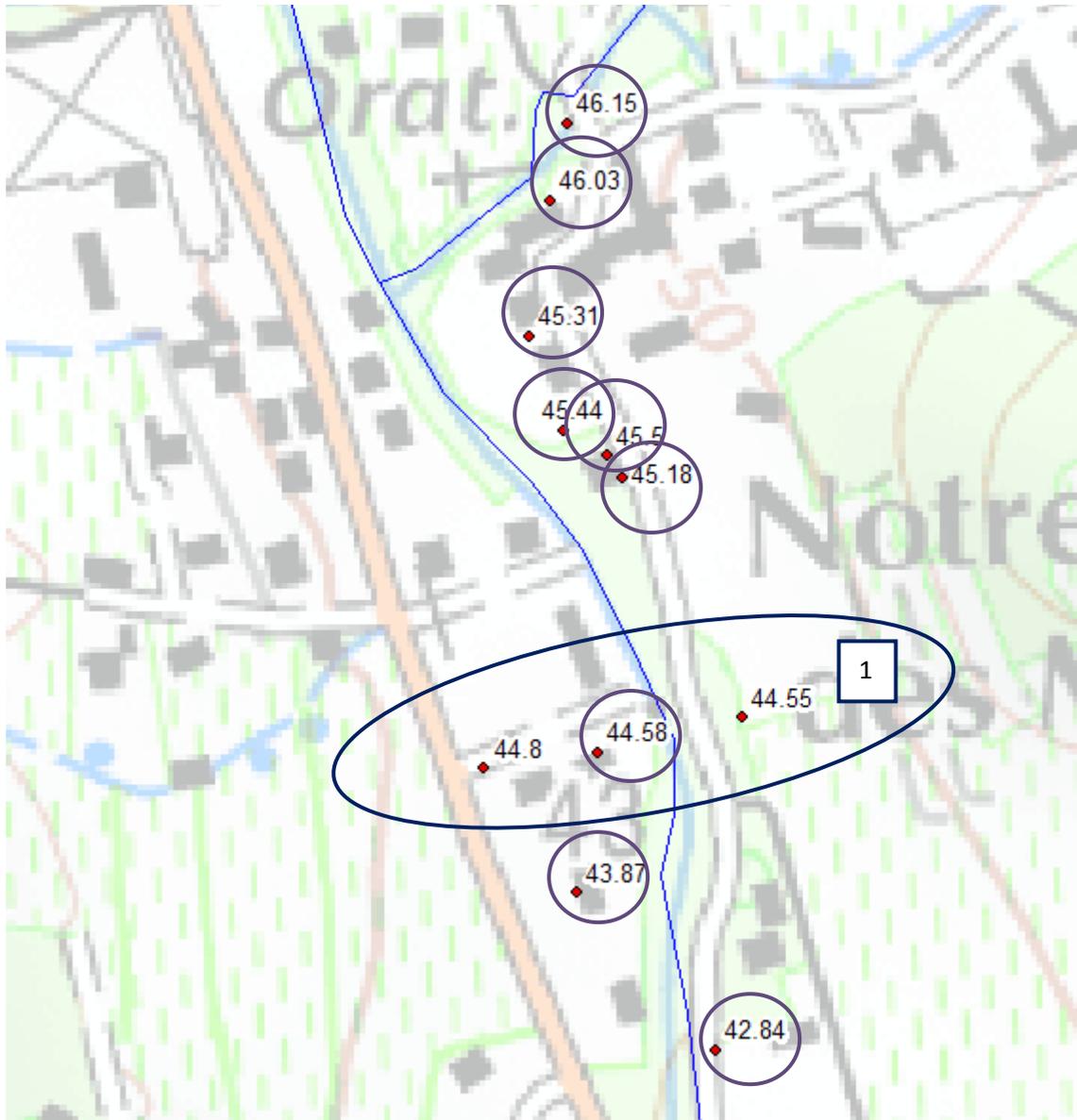
- Sur-inondation de la rive gauche du Maravenne en aval de la confluence liée à l'effacement de la digue rive gauche du Maravenne ;
- Légère baisse des niveaux en rive droite du Maravenne aval ;
- Sur-inondation de la partie amont de la plaine du Bastidon liée à l'effacement de la digue rive droite du Pansard en aval du pont Ducournau ;
- Baisse des niveaux d'eau du Pansard en amont du pont Ducournau et en rive gauche plus en aval liée aux déversements en rive droite plus importants dans la plaine du Bastidon.



# ANNEXE 1 : CHOIX DES PHE RETENUES



Secteur de Notre-Dame Les Maures



**Figure 21 Localisation et choix des PHE retenues dans le secteur Notre-Dame des Maures**

Tableau 3 Récapitulatif des PHE retenues en Zone 1 à Notre-Dame des Maures

Zone	Nom de la fiche	PHE (m NGF)	Décision
1	PANS_06	44.8	Ecartée car traduit le ruissellement (mesure au niveau du sol)
	<b>PANS_07</b>	<b>44.58</b>	<b>Retenue : caractérise la charge</b>
	PANS_04	44.55	Ecartée car moins précise que la PANS_07

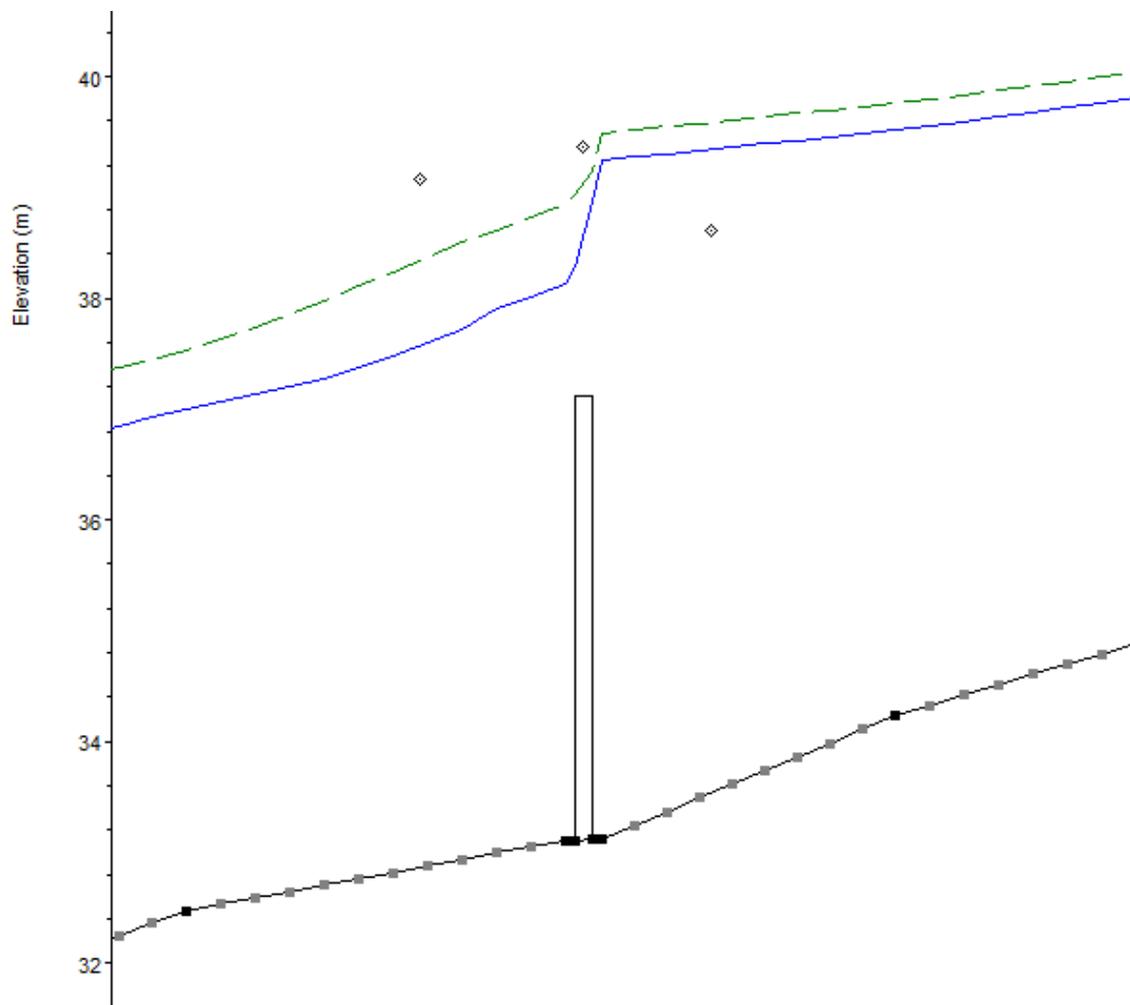


Figure 22 Ligne d'eau pour la crue de janvier et PHE associées en aval de Notre-Dame des Maures

### Aval de Notre-Dame Les Maures

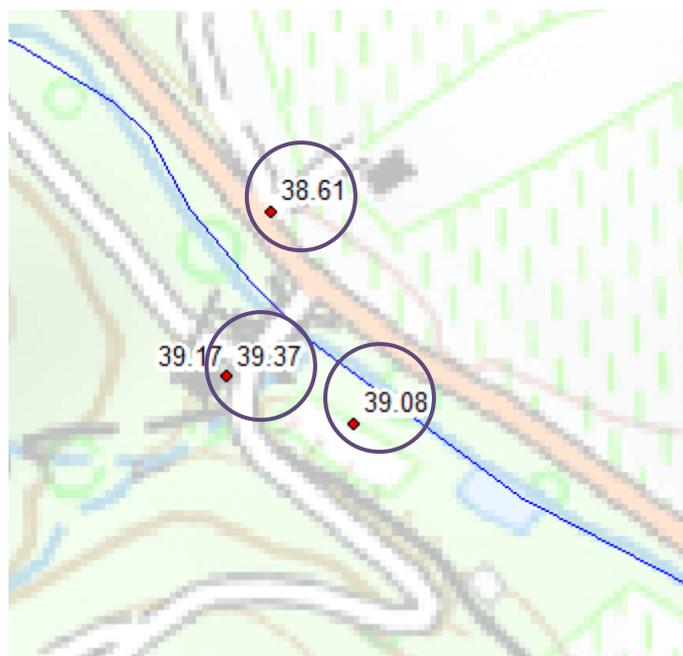


Figure 23 Localisation et choix des PHE retenues en aval de Notre-Dame des Maures

Tableau 4 Récapitulatif des PHE retenues en aval de Notre-Dame des Maures

Nom de la fiche	PHE (m NGF)	Décision
PANS_03	38.61	Retenue
PAN_01	39.17	Ecartée car même levé que la fiche PANS_02, mais deux jours plus tard (Ce sont deux témoignages). Hypothèse plus sécuritaire gardée.
PANS_35	39.37	Retenue
PANS_02	39.08	Traduit une propagation des débordements en parallèle du lit mineur Hypothèse plus sécuritaire gardée.

RD 98 et pont cadre (Pansard) (3) :

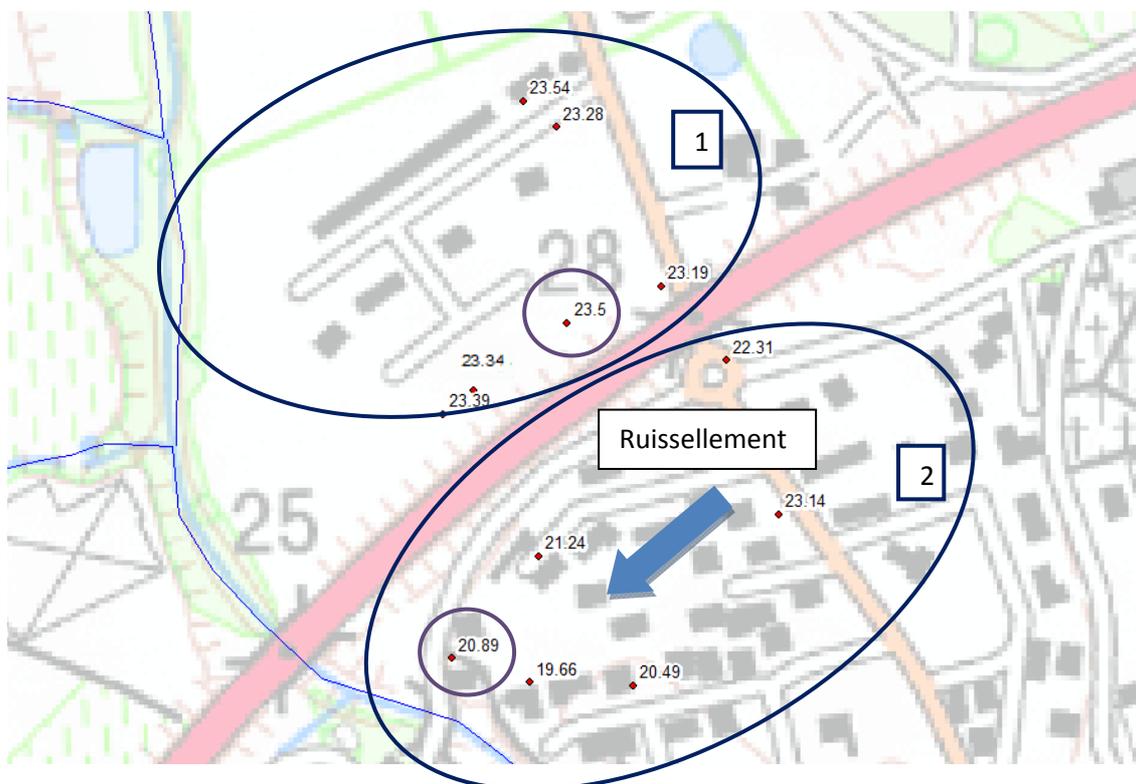


Figure 24 Localisation et choix des PHE retenues en amont de la RD 98

Tableau 5 Récapitulatif des PHE retenues en amont de la RD 98

Zone	Nom de la fiche	PHE (m NGF)	Décision
1	PAN_38	23.5	<b>Retenue</b>
	PAN_14	23.54	Ecartées car ne caractérisent pas l'écoulement à proprement parler
	PAN_13	23.28	
	PAN_37	23.39	Ecartées car levées en intérieur (moins fiable que la cote 23.5)
	PAN_36	23.34	
	PAN_15	23.19	Ecartée car sous influence du franchissement (mise en vitesse)
2	PAN_39	20.89	<b>Retenue</b>
	PAN_18	21.24	Ecartées car traduisent à la fois le débordement du Pansard et des phénomènes de ruissellement en provenance du franchissement de la RD 98 et de l'Est
	PAN_16	22.31	
	PAN_40	19.66	
	PAN_41	20.49	
	PAN_17	23.14	

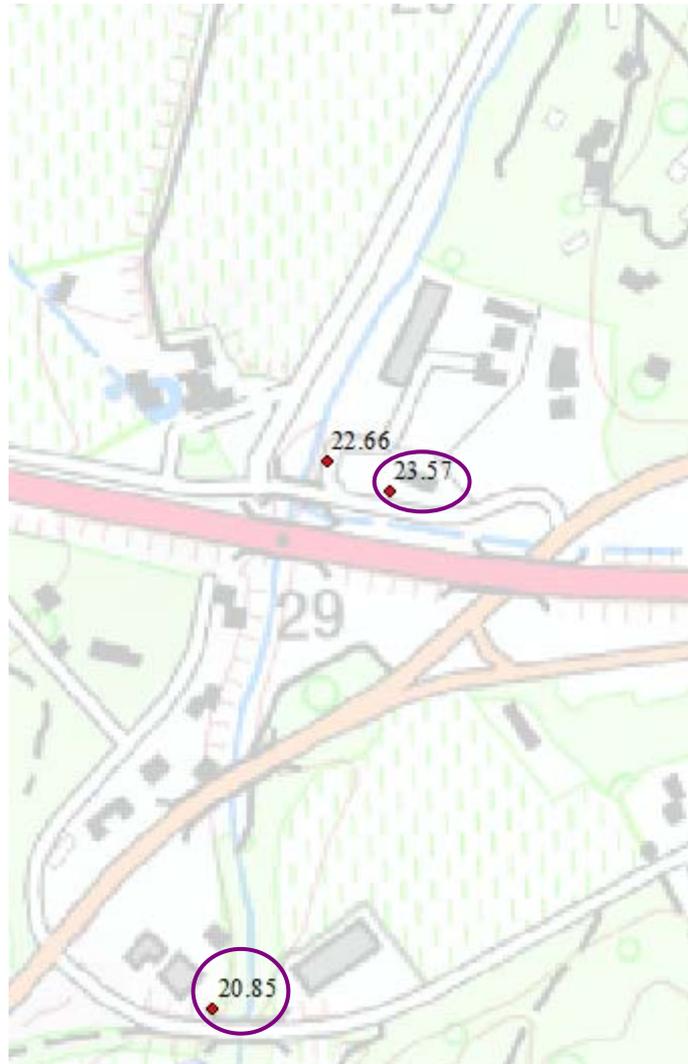
### RD 98 (Maravenne)

Seules trois PHE sont disponibles sur ce secteur.

L'une d'entre elle a été écartée (PHE MAR 28) car sa proximité avec le lit mineur fait que la mesure est très fortement influencée par la vitesse des eaux. L'écart entre cette PHE et sa voisine est de l'ordre de 1 m. Or la contribution de vitesses de 4 m/s à la charge équivaut à 0.8 m (cette valeur représente la fluctuation de niveau possible sur un seul profil en travers du cours d'eau). Au vu des vitesses en lit mineur (de l'ordre de 4 à 5 m/s), cette différence de relevés sur les PHE s'explique.

Dans ces situations, en termes de calage, il est plus sûr de caler le modèle à partir de PHE éloignées du lit mineur où les vitesses sont quasi-nulles et le niveau d'eau relevé correspond à la ligne d'énergie.

À noter que la PHE à 20.85 m NGF correspond aussi à un relevé de niveau d'énergie, du fait de sa configuration (levé sur un mur perpendiculaire aux écoulements).



Cave coopérative

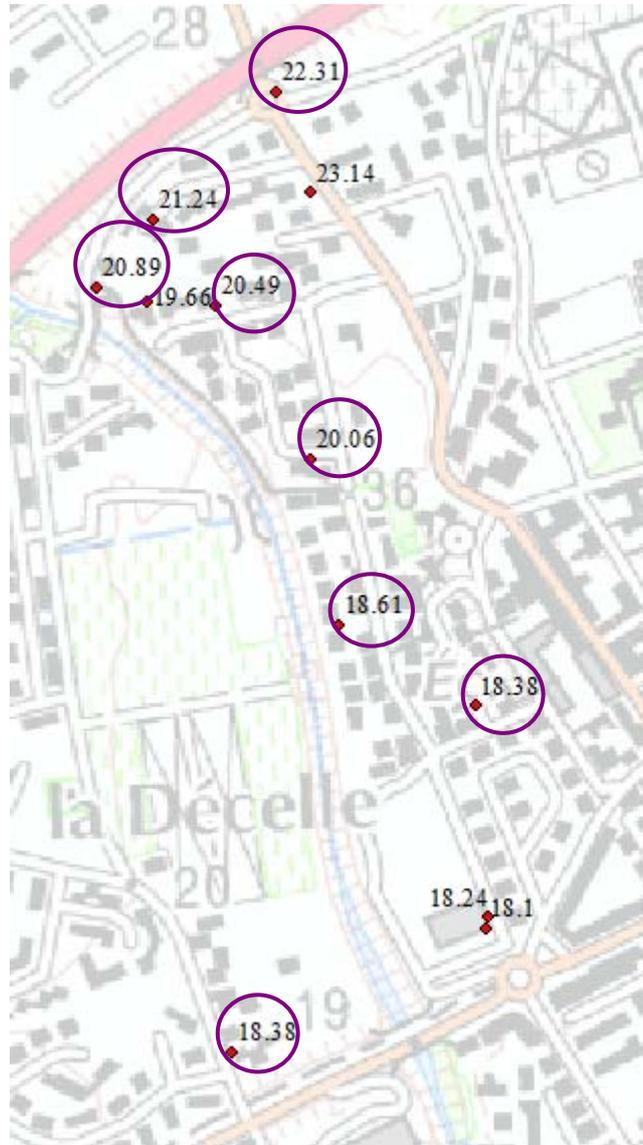
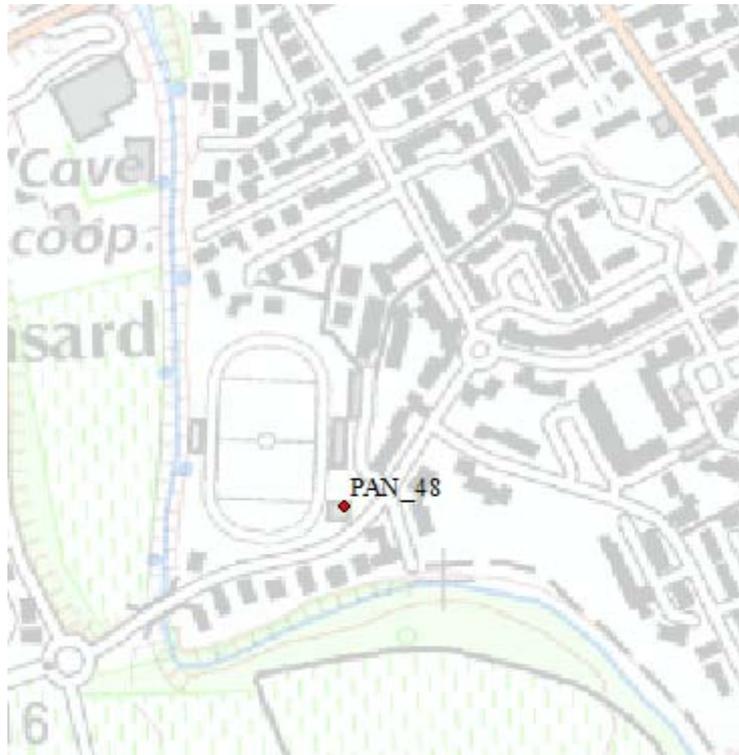


Figure 25 Localisation et choix des PHE retenues en amont de la cave coopérative

Tableau 6 Récapitulatif des PHE retenues en amont de la cave coopérative

Nom de la fiche	PHE (m NGF)	Décision
PAN_16	22.31	Retenue
PAN_17	23.14	Écartée car niveau topographique surestimé (incohérence)
PAN_18	21.24	Écartée car seulement traces sur sol relevées
PAN_39	20.89	Retenue
PAN_40	19.66	Écartée car seulement dépôts relevés (Niveau sous-évalué)
PAN_41	20.49	Retenue
PAN_42	20.06	Retenue
PAN_43	18.61	Retenue
PAN_44	18.38	Retenue
PAN_45	18.1	Écartée car influence probable directions écoulements (Phe suivante supérieure retenue à la place)
PAN_46	18.24	
PAN_47	18.38	Retenue

### Pont Ducournau



En amont et en aval du pont Ducournau, les modifications du lit effectuées après les crues font que la topographie effective en janvier et en novembre 2014 n'est pas connue. Ainsi, il n'a pas été possible de caler le modèle sur ce secteur. Les niveaux d'eau obtenus pour ces deux crues sont inférieurs aux niveaux physiquement observés, ce qui est cohérent puisque le lit mineur a été élargi depuis les crues.

### Aval confluence

Seule une PHE a été écartée en aval de la confluence. Il s'agit de la PHE PAN 26, qui correspond à un levé de traces au niveau du sol et qui n'est donc pas représentative des niveaux d'eau atteint.

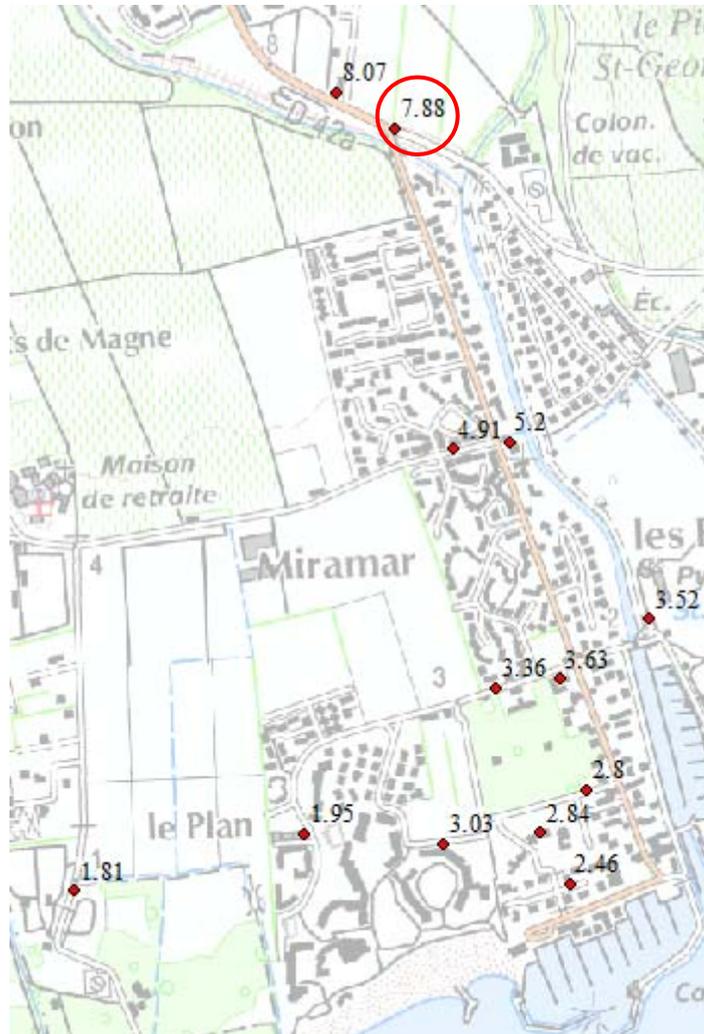


Figure 26 Localisation et choix des PHE écartées en aval de la confluence