



HAL
open science

Étude de modernisation de la régulation du canal de l'Union Luberon Sorgue Ventoux

Attikora Kouadio Ulrich Etche

► **To cite this version:**

Attikora Kouadio Ulrich Etche. Étude de modernisation de la régulation du canal de l'Union Luberon Sorgue Ventoux. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03611300

HAL Id: dumas-03611300

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03611300v1>

Submitted on 17 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de
[Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement]

Présenté par

Attikora Kouadio Ulrich ETCHE

ÉTUDE DE MODERNISATION DE LA RÉGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBÉRON SORGUE VENTOUX



Photo: BRLI 2020

Date de soutenance: 11 Décembre 2020

Référent école : Gilles ISENMANN

Maître de stage: Pierre SAVEY | Directeur de projet

Année académique: 2019 - 2020

REMERCIEMENTS

Le chemin à parcourir pour être sel et lumière du monde par le travail est fait de reconnaissance et de gratitude.

A cet effet, je tiens à exprimer mes remerciements à :

- Monsieur Pierre Savey, mon maître de stage, directeur de projet à BRLi, pour ses conseils, son encadrement, sa confiance, sa disponibilité tout au long de mon stage ;
- Messieurs Anthony Blache (Chef de projet) et Sothea Hong (Ingénieur hydraulicien) pour leur confiance, compréhension, encadrement et patience ;
- Toute l'équipe de la direction eau agricole et sécurité alimentaire pour l'ambiance de travail et spécialement à Marinne Gourcerol, Jérémie Richonier, Helene Livingston pour leur soutien moral ;
- La direction de la formation continue et professionnelle de l'ENGEES et aux enseignants pour la qualité d'encadrement de la formation, leur soutien à travers les conseils et leurs disponibilités.

Mes remerciements vont également à l'endroit :

- Des familles ETCHE et ASSOUMOU pour le soutien moral, financier, spirituel qui ont été déterminant pour ma vie et mes études ;
- De Sara LEKOMBO, David ZAUCYN, Aminata KONE, Geoffroy ALLA avec qui j'ai travaillé sur mon projet d'études à l'ENGEES et qui m'ont aidé par leurs prières, leurs disponibilités et leurs aides pour le financement de ma formation. Nous y arriverons !!!
- De Jean Paul DOMINGO et du Père Pierre LOMBARD qui m'ont accueilli à Nîmes et avec qui j'ai formé une famille.

Merci à l'Afrique qui est une source d'inspiration et de motivation.

Merci au peuple Français pour l'accueil et la fraternité.

Ubuntu !!!

« Je suis ce que je suis grâce à ce que nous sommes tous »

RESUME

L'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux, située dans le Vaucluse et gestionnaire du canal de l'Union qui permet la desserte en eau d'irrigation à différentes associations syndicales de propriétaires, rencontre quotidiennement des problèmes de régulation du canal. Ces problématiques portent notamment sur l'adaptation du débit admis en tête et des niveaux d'eau par rapport aux besoins des différentes structures qu'il dessert. Jusqu'à présent, le principe de l'adaptation du débit transporté est celui du réglage par l'amont. Ce mode de régulation qui a fait ses preuves n'est toutefois ni le plus économe en eau, ni le plus facile à assurer, ni le moins onéreux (en terme de main d'œuvre). L'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux a donc mandaté BRLi pour effectuer une étude de la modernisation de la régulation du canal de l'Union. Cette étude a fait l'objet de la mission sur laquelle j'ai travaillé dans le cadre de mon stage de fin d'étude. Ce présent rapport est relatif au diagnostic du fonctionnement actuel.

Cette étude a été réalisée à partir des données issues des campagnes de jaugeage, des relevés topographiques et, des informations recueillies auprès des associations syndicales de propriétaires desservies par le canal de l'Union.

L'exploitation des informations ont permis de montrer que l'état des berges du canal de l'Union est qualifié de moyen à bon pour les tronçons revêtus et assez dégradé pour les tronçons non revêtus. Les ouvrages existants (prises, régulation, décharge) le long du canal sont globalement fonctionnels à l'exception de certains qui n'ont pas subi de modernisation depuis de nombreuses années et qui laissent apparaître des défaillances importantes. Aussi, il ressort de l'analyse menée que la gestion actuelle des ouvrages repose essentiellement sur la connaissance de l'ouvrage par le personnel du canal.

Par ailleurs, le canal a fait l'objet d'une modélisation hydraulique sous le logiciel SIC pour étudier son fonctionnement hydraulique actuel. Les résultats des simulations montrent que la capacité actuelle du canal permet de faire transiter les débits des canaux membres et que le temps de transfert de la prise en tête à la fin du canal est d'environ 6 heures.

Les simulations en périodes normales montrent qu'en période de pointe des irrigations, les prises sont correctement alimentées contrairement à la période hors pointe où il y'a des problèmes d'alimentation des prises. Le diagnostic des impacts de variations de débits prélevés sur la ligne d'eau ou les débits transitant le long du canal révèle que les impacts sont plus importants en aval du canal. Ces impacts pourraient être encore plus accentués dans la mesure où les simulations n'intègrent pas le fonctionnement réel des prises privées du fait de la méconnaissance du fonctionnement et le manque de données sur ces prises.

Les simulations en période pluvieuse mettent en évidence que le canal n'est pas en mesure d'absorber les débits entrants pour une pluie de période retour 20 ans. Cependant, pour des pluies de période de retour 10 ans, avec un temps d'anticipation raisonnable, les débordements peuvent être évités.

Pour terminer, la simulation en période de restriction du débit en tête (restriction de 20%) montre que si les structures le long du canal ne répercutent pas la restriction sur leur prélèvement, en fin de canal il est observé une baisse de débit de l'ordre de 52 %.

À partir de ces résultats, une réflexion a été menée sur les préconisations et aménagements à réaliser pour améliorer la situation actuelle. Ces propositions seront étudiées dans les prochaines phases de l'étude.

Mots clés : canal, irrigation, ouvrage, régulation, modernisation, modélisation, SIC, simulation.

ABSTRACT

« Union du canal Luberon Sorgue Ventoux », the authority in charge of the management of « Canal de l'Union », is facing some issues in the regulation of the canal. Those issues are generally the adjustment of the head discharge and water levels to meet the needs of water users associations. The regulation of the canal is based upstream control concept. This operation method which was one of the best system in the past, is no more efficient, nor the easiest in terms of operation and the least expensive. To improve the current situation, « Union du canal Luberon Sorgue Ventoux » commissioned BRLi to carry out a study on the modernization of the regulation of the canal. This study was the topic on which I worked during my internship. This report is related to the diagnosis of the current situation.

The study was carried out using data from gauging campaigns, topographical surveys and information collected from the water users associations. From the data processing, it was observed that, the banks of the canal are in medium to good state for the paved sections and degraded state for the unpaved sections. The existing structures (offtakes, check structures, discharge gates) along the canal are generally functional, except some structures that have not been modernized since many years.

In this study, SIC software was used for the modeling of the canal. The simulation results showed that the hydraulic capacity of the canal is sufficient to convey the water allocation of water users and the travel time between the upstream and downstream end of the canal is around 6 hours. Also, the simulation during the peak irrigation period, showed that the offtakes are correctly supplied. However, during the off-peak irrigation period, the different offtakes are not properly supplied. For those periods, the variations of the discharge and water levels are more significant at the downstream end of the canal.

The model was also used to estimate the capacity of the canal to absorb lateral inflows for rainfall events of 10- and 20-year return period. For 10-year return period, it is possible to avoid the overflow of the canal by anticipating the operation of the structures. On the other hand, for 20-year return period, even by anticipating the operation of the structures, the canal will overflow.

Finally, the simulation of the restriction of the head discharge (20%) showed that if water users do not apply the restriction, the discharge at the downstream end of the canal is reduced by around 52%.

Following this results, some recommendations were made to improve the current situation. Those solutions will be discussed in the next phase of the study.

Keywords: canal, irrigation, structures, control, modernization, modeling, SIC, simulation.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
RESUME	3
ABSTRACT	4
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES TABLEAUX.....	9
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	10
INTRODUCTION	11
1 GÉNÉRALITÉS	13
1.1 Présentation de l'entreprise d'accueil.....	13
1.1.1 Historique et organisation	13
1.1.2 BRL <i>Ingénierie</i>	13
1.2 Présentation du canal de l'Union.....	14
1.2.1 Contexte historique.....	14
1.2.2 Limites géographiques	15
1.2.3 Canaux membres et superficies desservies.....	17
1.2.4 Personnel administratif et technique du canal de l'union	17
1.2.5 Ressource en eau et débits disponibles.....	17
2 ETAT DE L'ART	19
2.1 Enjeux de la modernisation des canaux d'irrigation	19
2.2 Mode de distribution de l'eau d'irrigation	19
2.2.1 Tour d'eau ou rotation.....	19
2.2.2 Distribution à la demande	20
2.2.3 Distribution arrangée	20
2.3 Régulation des canaux d'irrigation	20
2.3.1 Commande par l'amont	20
2.3.2 Commande par l'aval.....	21
2.4 Modélisation des canaux d'irrigation	22
2.5 Organisation de l'étude.....	23
3 ETAT DES LIEUX.....	25
3.1 Berges du canal.....	25
3.2 Ouvrages de prise	27
3.2.1 Ouvrage de prise en tête	27
3.2.2 Ouvrages de prises latérales.....	27
3.2.3 Stations de pompage.....	30
3.3 Ouvrages de régulation	30
3.4 Ouvrages de décharge	31
3.5 Points de rejet dans le canal	33

3.6	Ouvrages de franchissement.....	33
3.7	Équipement de mesure et télétransmission	34
4	MODALITES DE GESTION DES OUVRAGES LE LONG DU CANAL.....	36
4.1	Prise en tête.....	36
4.2	Ouvrages de décharge	36
4.3	Ouvrages en ligne.....	37
4.4	Ouvrages de prise des canaux membres.....	38
4.4.1	Mode de distribution et modalité de gestion en période normale.....	38
4.4.2	Mode de distribution et modalité de gestion lors d'événements pluvieux	38
5	MODELISATION HYDRAULIQUE.....	39
5.1	Justification du choix du modèle utilisé	39
5.2	Présentation du logiciel SIC	39
5.3	Données de base pour la modélisation	40
5.3.1	Données topographiques	40
5.3.2	Données des campagnes des jaugeages	40
5.3.3	Historique de prélèvements des différentes structures	40
5.3.4	Évaluation des apports pluviométriques absorbés par le canal de l'Union	41
5.4	Construction du modèle.....	42
5.4.1	Géométrie du modèle	42
5.4.2	Prise en compte des ouvrages	44
5.4.3	Conditions aux limites.....	46
5.4.4	Pertes par infiltrations	47
5.5	Calage et validation du modèle	48
5.6	Exploitation du modèle hydraulique	50
5.6.1	Estimation de la capacité hydraulique du canal (simulation C01)	50
5.6.2	Estimation du temps de transfert (simulation T01).....	53
5.6.3	Simulation en période Normale – Pointe (Simulation N01).....	54
5.6.4	Simulation en période Normale – Hors Pointe (Simulation N02)	60
5.6.5	Simulations en période pluvieuse – Pointe (Simulations P01-A et P01-B)	65
5.6.6	Simulation en période pluvieuse – hors Pointe (Simulations P02-A et P02-B)	71
5.6.7	Simulation en période pluvieuse – événement réel (Simulation P03).....	77
5.6.8	Simulation lors de la restriction des prélèvements (simulation R01).....	79
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	81
	BIBLIOGRAPHIE	83
	Annexes.....	84
	Annexe 1. Carte de localisation du canal de l'Union	86
	Annexe 2. Cartes de localisation des ouvrages présents sur le canal de l'Union	87

Annexe 3.	Cartes de l'état des lieux des berges	88
Annexe 4.	Liste des ouvrages de régulation et leur état global.....	89
Annexe 5.	Modalités de gestion des prises des canaux membres.....	91
Annexe 6.	Profil en long du canal de l'Union	93
Annexe 7.	Résultats de la campagne de jaugeages	94
Annexe 8.	Hypothèses relatives à la part du débit des bassins versants	95
Annexe 9.	Coefficients de débit des ouvrages en ligne.....	97
Annexe 10.	Prises latérales modélisées	100

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Étape historique de la construction du canal de l'Union	14
Figure 1-2: Synoptique du canal de l'Union	16
Figure 2-1: Schéma descriptif de la régulation par l'amont	21
Figure 2-2: Schéma descriptif de la régulation par l'aval	21
Figure 2-3: Diagramme de synthèse de la démarche méthodologique	24
Figure 3-1: Type de revêtement et état des berges du canal	26
Figure 3-2 : Ouvrage de prise en tête - Module à Masque type C1 (PM-0)	27
Figure 3-3 : Prise gravitaire de capacité importante	29
Figure 3-4 : Exemple d'ouvrages de régulation et leur état	31
Figure 3-5 : Ouvrages de décharge et leur état	32
Figure 3-6 : Exemple d'ouvrage de franchissement	34
Figure 3-7 : Exemple d'équipements de mesure et de télégestion	35
Figure 5-1 : Bassins versants en amont du canal de l'Union	41
Figure 5-2 : Profil en long et profil en travers du canal de l'Union sous SIC	43
Figure 5-3: Description d'un ouvrage de régulation dans SIC	45
Figure 5-4: Description d'une prise dans SIC	46
Figure 5-5 : Conditions aux limites aval retenues	47
Figure 5-6: Aperçu du modèle du canal de l'Union	47
Figure 5-7: Profil en long du canal et ligne d'eau obtenue- Capacité du canal de l'Union	52
Figure 5-8: Variation du tirant d'eau dans le temps – période de pointe (simulation N01)	56
Figure 5-9: Variation du débit dans le temps - période de pointe (simulation N01)	57
Figure 5-10: Variation du débit et consignes de débit du canal Carpentras–Sans débit technique-SC-N01	58
Figure 5-11: Variation du débit et consignes de débit du canal Carpentras–Avec débit technique-SC-N01	58
Figure 5-12: Variation du tirant d'eau dans le temps - Période hors pointe (simulation N02)	62
Figure 5-13: Variation du débit dans le temps - Période hors pointe (simulation N02)	63
Figure 5-14: Profil en long du canal et ligne d'eau maximum obtenue - simulation P01-A – variante 1	67
Figure 5-15 : Profil en long du canal et ligne d'eau maximum obtenue - simulation P01-A – variante 2	68
Figure 5-16 : Profil en long du canal et ligne d'eau maximum obtenue - simulation P01-B – variante 2	70
Figure 5-17: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P02-A – Variante 1	73
Figure 5-18: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P02-A – Variante 2	74
Figure 5-19: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P02-B – Variante 2	76
Figure 5-20: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P03	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1: Canaux membres et superficies desservies	17
Tableau 1-2: Personnel du canal de l'Union	17
Tableau 1-3: Dotations historiques des canaux membres	18
Tableau 2-1: Exemple de logiciels utilisés pour la modélisation des canaux d'irrigation	22
Tableau 3-1: Type de revêtement et état des lieux des berges	26
Tableau 3-2: Ouvrage de prise en tête – capacité des modules à masque en service (type C1)	27
Tableau 3-3 : Récapitulatif des types de prise le long du canal par structure	28
Tableau 3-4: Prises gravitaires de capacité importante	28
Tableau 3-5: Caractéristiques des stations de pompage le long du canal	30
Tableau 3-6 : État des lieux des ouvrages de décharge	32
Tableau 3-7 : État des lieux des ouvrages de franchissement	33
Tableau 3-8 : Synthèse de l'état des lieux des équipements de mesure et de télétransmission	34
Tableau 4-1 : Modalité d'exploitation de la prise en tête	36
Tableau 4-2 : Modalité d'exploitation des décharges	36
Tableau 4-3 : Modalité d'exploitation des ouvrages en ligne	37
Tableau 5-1 : Synthèse des données de prélèvements 2018 et 2019	41
Tableau 5-2 : Liste des ouvrages de régulation intégrés au modèle	44
Tableau 5-3: Valeurs de coefficient de Strickler (K) retenues	48
Tableau 5-4 : Vérification du calage	49
Tableau 5-5 : Capacité hydraulique du canal par bief	51
Tableau 5-6: Simulation C01 - Localisation des sections dont la revanche est inférieure à 20 cm	51
Tableau 5-7: Temps de transfert par bief	53
Tableau 5-8: Vérification de l'alimentation des prises – simulation N01	55
Tableau 5-9: Vérification de l'alimentation des prises privées entre le PM 11 000 et 15 000 - simulation N01	55
Tableau 5-10 : Comparaison des fluctuations des débits simulés et mesurés en fin de canal – simulation N01	57
Tableau 5-11: Volume économisable en période de pointe - simulation N01	59
Tableau 5-12: Vérification de l'alimentation des prises – simulation N02	61
Tableau 5-13: Vérification de l'alimentation des prises privées entre le PM 11 000 et 15 000 - simulation N02	61
Tableau 5-14 : Comparaison des fluctuations des débits simulés et mesurés en fin de canal – simulation N02	63
Tableau 5-15 : Estimation des débits techniques – Simulation N02	64
Tableau 5-16: Volume économisable en période de pointe - simulation N02	64
Tableau 5-17 : Volume de débordement par bief – simulation P01-A – Variante 1	65
Tableau 5-18: Volume de débordement par bief – simulation P01-B – Variante 2	69
Tableau 5-19: Volume de débordement par bief – simulation P02-A – Variante 1	71
Tableau 5-20: Volume de débordement par bief – simulation P01-B – Variante 2	75
Tableau 5-21: Impact lié à la restriction des débits en tête sur chaque structure- variante 1	79
Tableau 5-22: Impact lié à la restriction des débits en têtes sur chaque structure- variante 2	80

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ASA	Association Syndicale Autorisée
ASCO	Association syndicale Constituée d'Office
ASP	Associations Syndicales de Propriétaires
BRL	Bureau Régional du Languedoc
CED	Commission Exécutive de la Durance
EDF	Electricité de France
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
K	Coefficient de Strickler
Mm3	Million de mètre cube
OD	Ouvrage de Décharge
OF	Ouvrage de Franchissement
OR	Ouvrage de Régulation
PM	Point Métrique
PR	Prise
SAR	Société d'Aménagement Régional
SCP	Société de Canal de Provence
SIC	Simulation Intégrée des Canaux et de leur Contrôle

INTRODUCTION

Cadre de l'étude

Depuis l'adoption des textes de lois réglementant leur création et leur fonctionnement en 1865, les associations syndicales ont été un des piliers essentiels de la politique française de développement de l'irrigation. Des systèmes de canaux datant parfois du Moyen Âge ont adopté ce statut et la puissance publique a financé la création de nombreux réseaux pour équiper les plaines du sud de la France à la fin du dix-neuvième siècle. Près d'un millier de ces associations plus que centenaies étaient encore fonctionnelles en 1991. Tout système de distribution confondu, on estimait en 2003 qu'elles géraient environ 20 % des surfaces irriguées françaises, soit la moitié des superficies arrosées sur des périmètres collectifs (Loubier & Garin, 2013).

Parmi les gestionnaires de canaux dans le sud de la France, on retrouve l'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux, établissement public administratif non rattaché, qui gère un ouvrage commun d'aménée d'eau (canal de l'Union) à plusieurs structures qui desservent près de 20 000 ha en eau d'irrigation sur le département du Vaucluse.

Les dispositifs devant servir à répartir et à évacuer les eaux ont bénéficié de quelques aménagements ponctuels, mais n'ont pas subi de profondes modifications depuis plusieurs décennies. La régulation du canal s'effectue par l'amont. Elle est calée sur les besoins en eau des canaux membres et doit satisfaire la demande dans un délai le plus court possible. La régulation est actuellement assurée manuellement et l'ajustement des débits ne se fait plus qu'au moyen d'un point de décharge, sur les trois historiquement utilisés, situé sur la commune de Robion, qui rejette les excédents dans le Coulon.

Les ouvrages présents le long du canal sont globalement fonctionnels (à l'exception de la décharge de Redortier qui est abandonnée et à la décharge de la Roquette qui n'est utilisée qu'en cas d'orage). La bonne connaissance du système par les gardes canaux permet d'assurer le service de l'eau aux usagers. Cependant, le manque d'instrumentation conduit à des pertes d'eau importantes (ce sont entre 5 et 10 Mm³ par an qui sont délestés dans le Coulon via la décharge de Robion) et une charge de travail importante pour les gardes canaux.

L'abandon progressif des points de rejet ainsi que le manque de dispositifs de contrôle (supervision) et de régulation (certains ne fonctionnant plus), engendrent de fortes contraintes de gestion tant en période normale qu'en cas d'épisode pluvieux.

En période d'exploitation normale, les demandes aux différentes prises sont très variables notamment pour :

- Les prélèvements du canal de Cabedan-neuf (y compris pour le canal du Plan Oriental) :
 - les prises gravitaires sont ouvertes aléatoirement (notamment les prises particulières qui sont gérées par les propriétaires fonciers du secteur. L'association n'a aucun droit de gestion sur ces prises et les volumes qui y transitent ne sont pas mesurés) ;
 - Les stations de pompage (le démarrage et arrêt des pompes peut impacter significativement la ligne d'eau du canal).
- Les prélèvements gravitaires et pression du canal de l'Isle, situés à l'aval de la décharge dans le Coulon et par nature variables, impliquant de fortes contraintes de gestion ;
- La consigne de prélèvement du canal de Carpentras, qui est « en bout de chaîne » et subit les variations de niveau à l'amont.

Ainsi, les gardes canaux doivent donc intervenir sur les différents ouvrages de régulation pour ajuster leurs réglages.

En cas d'épisodes pluvieux exceptionnels, les apports d'eau dans le canal sont importants et ne peuvent être gérés qu'avec la décharge de la Roquette en Durance et le déversoir de Robion dans le Coulon. Le manque d'instrumentation implique donc des contraintes de gestion puisque les gardes canaux

doivent intervenir manuellement sur les différents ouvrages le long du canal pour éviter le débordement (ouverture de vannes, retrait des planches de batardeaux...)

Par ailleurs, dans le contexte du changement climatique, les restrictions d'eau à l'avenir seront probablement de plus en plus fréquentes y compris pour le système Durance. En effet, la Commission Exécutive de la Durance (CED) peut imposer des restrictions d'eau en cours de saison d'irrigation qui s'appliquent notamment au canal de l'Union.

Au vu des différentes problématiques auxquelles l'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux est confrontée, il est important de doter le canal d'une régulation efficiente et moderne qui permet de gérer au mieux la dotation en eau en vue de satisfaire les besoins des usagers, même en période de restriction. À défaut, les économies d'eau réalisées par les Associations Syndicales Propriétaires (ASP) via leurs travaux de modernisation (mise en place de réseaux sous pression) ne se ressentiront pas forcément sur le prélèvement en tête.

C'est dans cette optique que l'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux, maître d'ouvrage de l'étude, a mandaté BRLi pour **l'étude de modernisation de la régulation du canal de l'Union. Cette étude a fait l'objet de la mission sur laquelle j'ai travaillé dans le cadre de mon stage de fin d'étude.**

Objectifs de l'étude

L'étude de modernisation de la régulation du canal a pour but d'optimiser la régulation et la modernisation des ouvrages que l'Union Luberon-Sorgue-Ventoux a en gestion.

Les principaux objectifs sont :

- Faciliter et améliorer la qualité du service de desserte en eau brute des canaux de distribution gérés par les canaux membres, même en période de restriction imposée par la Commission Exécutive de la Durance (CED) ;
- Sécuriser le fonctionnement du canal de l'Union lors d'épisodes pluvieux significatifs ;
- Mieux valoriser les économies d'eau réalisées suite aux travaux de modernisation des canaux membres de l'Union.

Ce présent rapport de stage est relatif au diagnostic du fonctionnement actuel qui a pour objectif de :

- Faire un état des lieux des infrastructures du canal de l'Union ;
- Comprendre les règles actuelles de gestion du canal (en période normale et en période d'évènement pluvieux) ;
- Estimer la capacité hydraulique du canal de l'Union ;
- Réaliser les simulations hydrauliques du fonctionnement du canal en période normale, en période d'évènement pluvieux et cas de restriction des prélèvements imposés par la CED.

La présente étude est structurée en cinq grandes parties. La première partie traite de la présentation de l'entreprise d'accueil et du canal de l'Union. La seconde partie concerne l'état de l'art qui présente les enjeux de la modernisation et les modes de régulation des canaux d'irrigation. Ensuite, l'état des lieux permet de décrire les différents ouvrages de régulation, de prise et de décharge présents le long du canal ainsi que leurs états. La quatrième partie explique les modalités de gestion des ouvrages le long du canal et la cinquième et dernière partie est relative à la modélisation hydraulique pour l'étude du fonctionnement hydraulique actuel du canal.

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Présentation de l'entreprise d'accueil

1.1.1 Historique et organisation

BRL, la Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc, a été créée en 1955 dans le cadre d'un programme de maîtrise des ressources en eau et d'aménagement de l'espace rural dans les départements de l'ancienne région du Languedoc Roussillon, maintenant la Région Occitanie – Pyrénées Méditerranée.

Les activités de BRL s'articulent autour des prestations d'assistance au Maître d'ouvrage pour le montage des opérations, des études d'ingénierie complètes et, enfin, de la gestion, l'exploitation et la maintenance des ouvrages réalisés. BRL dispose d'un personnel permanent de 700 agents, dont 400 cadres, ingénieurs, experts, techniciens. BRL qui est concessionnaire et opérateur, est aujourd'hui organisé en groupe :

- **BRL Exploitation** : Exploitation d'ouvrages hydrauliques, gestion de contrats d'eau, conseil et vente de matériel d'irrigation ;
- **BRL Ingénierie** : Société d'ingénierie internationale spécialisée dans l'eau, l'environnement et l'aménagement ;
- **BRL Espaces Naturels** : Production de végétaux, création, aménagement et entretien d'espaces verts ;
- **PREDICT Services** : Aide à la gestion des inondations ;
- **BRL Madagascar** : Bureau d'études dans le domaine de l'eau, de l'environnement et de l'aménagement.

1.1.2 BRL Ingénierie

BRL Ingénierie (BRLi) intervient en interne pour le Groupe BRL et en coordination avec BRL Exploitation dans toutes les missions concernant le suivi et diagnostic des ouvrages et des équipements, les extensions et modernisations du Réseau Hydraulique Régional. Cette proximité et cette synergie apporte à BRL Ingénierie une expertise étroitement liée à l'expérience de l'exploitation et de la maintenance des ouvrages.

BRLi est un bureau d'étude actif dans tous les domaines de la gestion de l'eau et des ressources naturelles, de l'aménagement du territoire et du développement rural, dans leurs dimensions techniques, stratégiques, institutionnelles, financières et organisationnelles.

BRLi dispose d'un personnel permanent de 190 agents, dont 150 cadres, ingénieurs, experts, techniciens, capables d'intervenir sur les domaines d'activités suivants:

- Eau agricole et sécurité alimentaire ;
- Développement territorial ;
- Évaluation environnementale ;
- Gestion intégrée des ressources en eau ;
- Gestion de la biodiversité et du développement durable ;
- Gestion Intégrée des zones côtières ;
- Navigation et ports ;
- Eau potable et assainissement ;
- Grands transferts et ouvrages hydrauliques.

Mon stage de fin d'étude s'est déroulé à la direction Eau Agricole et Sécurité Alimentaire (EASA) dont les domaines d'intervention sont les suivants :

- Conception et modernisation des réseaux d'irrigation et de drainage ;

- Structuration des filières agricoles ;
- Accompagnement du développement de l'agriculture commerciale et les investisseurs privés ;
- Développement de l'agroécologie ;
- Modernisation de la gestion des périmètres irrigués, structuration de montage PPP (Partenariat Public Privé) ;
- Organisation des usagers de l'eau.

1.2 Présentation du canal de l'Union

1.2.1 Contexte historique

Le canal s'est constitué au travers de l'élargissement progressif du canal de Cabedan-neuf dont la construction a été entreprise en 1767. Le tracé de ce canal sera réutilisé en 1849 par le canal de l'Isle puis en 1853, par le canal de Carpentras. En 1859, le syndicat Mixte des canaux de Cabedan-neuf, l'Isle et Carpentras est chargé de la gestion du tronçon de canal commun à ces associations communément appelé « Canal Mixte ».

En 1959, dans le cadre de l'aménagement hydroélectrique de la Durance par EDF, la prise historique du canal Mixte s'est vue regroupée avec celle du canal Saint Julien. Conventionnellement avec EDF, les droits d'eau en Durance pour les canaux membres de l'Union ont été saisonnalisés. En parallèle, le canal a été recalibré et bétonné par EDF depuis sa prise à Mérindol jusqu'à la prise dite de Bel Hoste. L'Union s'est alors engagée à transporter à titre gratuit la dotation pleine et entière du canal Saint Julien sur ce tronçon. Le 17 décembre 2013, le Syndicat Mixte des canaux de Cabedan-Neuf, de l'Isle et de Carpentras met en conformité ses statuts avec l'ordonnance du 1er juillet 2004, **pour devenir l'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux**, dont l'ouvrage de transport des eaux est dénommé dans la suite de ce rapport **canal de l'Union**.

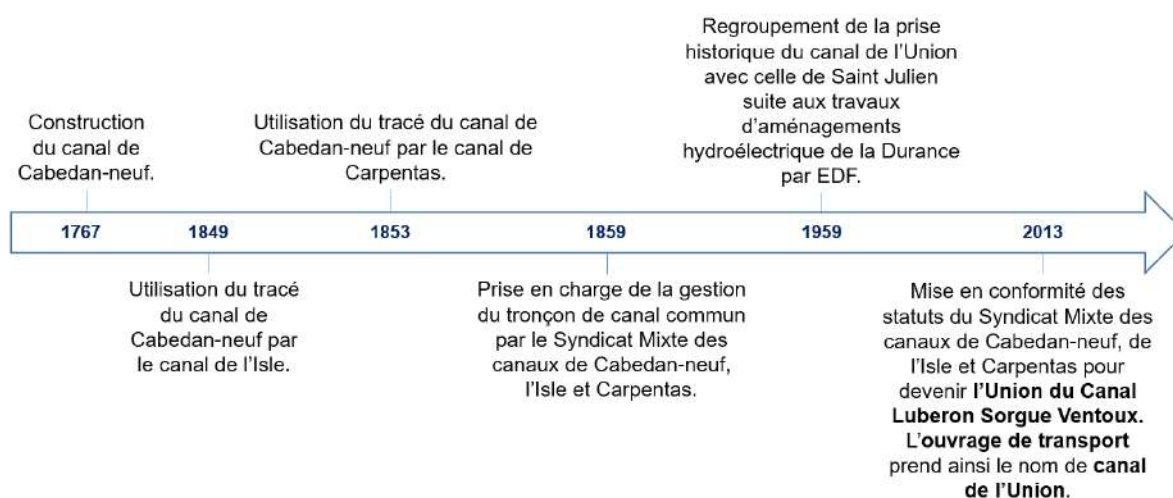


Figure 1-1 : Étape historique de la construction du canal de l'Union

1.2.2 Limites géographiques

Le canal de l'Union se développe sur les communes de Mérindol, Cheval Blanc, Cavaillon, les Taillades et Robion, jusqu'à la Tour de Sabran sur Lagnes, sur une longueur totale de 24km. Accroché aux pentes du Luberon puis du Plateau de Vaucluse, le canal est creusé en remblai-déblai avec utilisation des matériaux naturels sur la plus grande partie de son linéaire. L'exception étant la traversée de la vallée du Coulon, où l'ouvrage est construit en remblais.

La prise du canal en Durance, appelée indifféremment *prise de Mérindol* ou *prise de Mallemort* se trouve au niveau du barrage dit de Mallemort. Le canal y est alimenté en rive droite de la Durance via une conduite sous un écoulement fluvial, passant en siphon sous la Durance, depuis le canal EDF.

La Figure 1-2 ci-après présente le synoptique du canal de l'Union avec les principaux ouvrages.

L'Annexe 1 présente la carte de localisation du canal de l'Union sous la totalité de son linéaire.

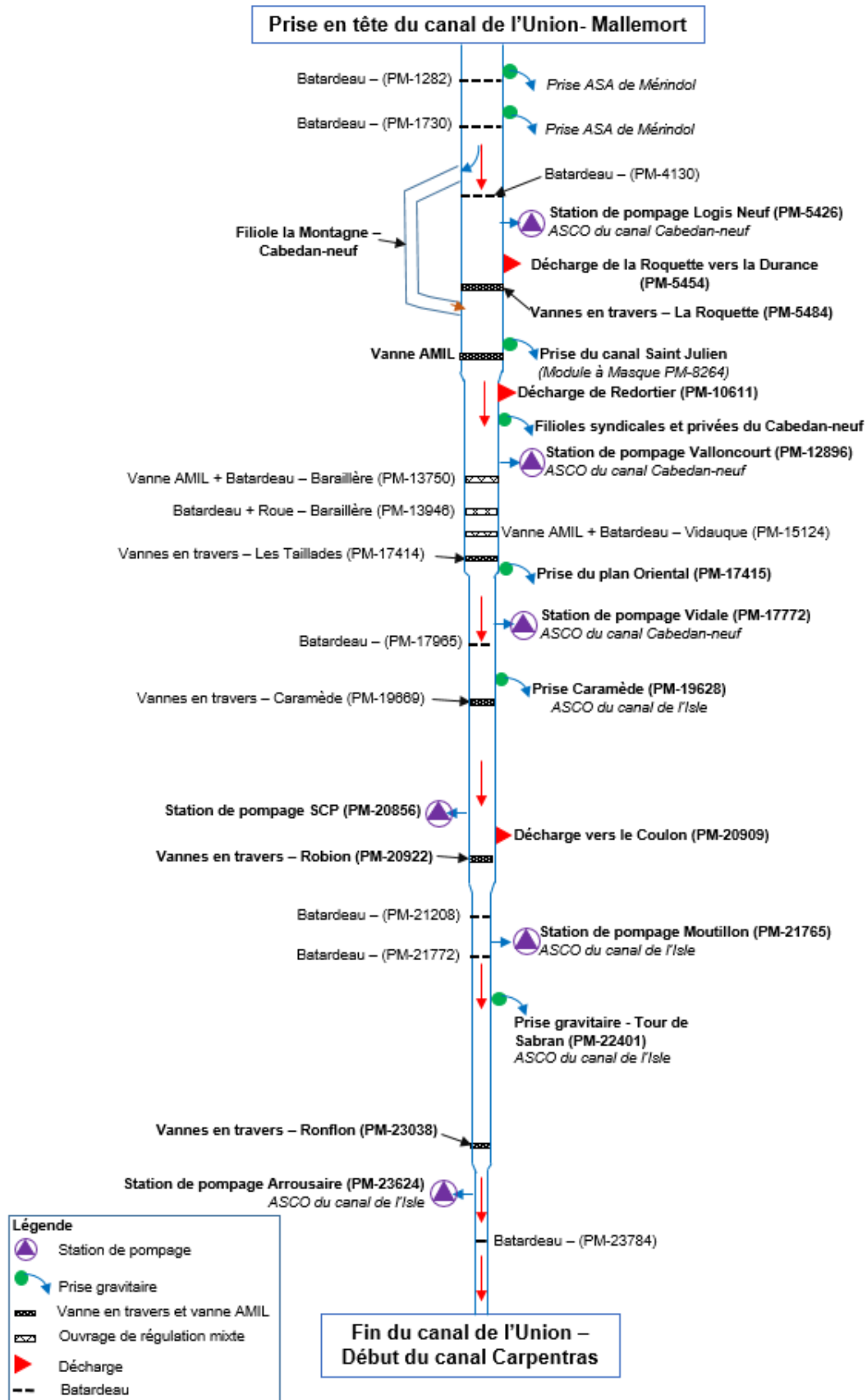


Figure 1-2: Synoptique du canal de l'Union

1. GÉNÉRALITÉS

1.2.3 Canaux membres et superficies desservies

Le canal de l'Union dessert le long de ses 24 km de nombreux usagers regroupés pour la plupart en associations de propriétaires. Le Tableau 1-1 présente ces différentes associations de propriétaires ainsi que les superficies desservies par chaque structure. Ces structures sont les principaux bénéficiaires de cette étude.

Tableau 1-1: Canaux membres et superficies desservies

	Structures	Date de création	Type de structure	Nombre d'adhérents	Superficie desservie		
					Gravitaire (ha)	Sous-pression (ha)	Totale
Canaux statutairement membres de l'Union du canal Luberon Sorgue Ventoux	Canal de Cabedan-neuf	1765	Association syndicale Constituée d'Office (ASCO) - Établissement public à caractère Administratif	1 250	474	457	931
	Canal de l'Isle	10 janvier 1849	Association syndicale Constituée d'Office (ASCO)	2 900	7 50	2 550	3 300
	Canal Carpentras	1857	Association Syndicale Autorisée (ASA)	15 000	4 200	7 800	12 000
Usagers non membres de l'Union	Canal Saint Julien	30 juillet 1818	Association Syndicale Autorisée (ASA) - Établissement public à caractère administratif	5 000	-	-	6 000
	Canal de Mérindol	1 janvier 1984	Association Syndicale Autorisée (ASA)	3 07	-	-	422
	Société de Canal de Provence (SCP)	1960	Société d'Aménagement Régional (SAR)	-	-	2 000(*)	2 000

Source : enquêtes auprès des structures

(*) : Superficie estimée sur géoportail (<https://www.geoportail.gouv.fr/carte>)

1.2.4 Personnel administratif et technique du canal de l'union

Le personnel du canal est composé de **4 personnes** assurant les fonctions techniques et administratives. La composition de l'équipe est présentée dans le Tableau 1-2.

Tableau 1-2: Personnel du canal de l'Union

Nature	Fonction	Nombre
Personnel administratif	- (assuré par le secrétaire du canal de l'Isle)	
Personnel d'encadrement	- 1 Directeur	1
Personnel de terrain	- 1 conducteur du canal et 2 gardes canaux chargés également des travaux collectifs d'entretien des canaux	3
Total personnel		4

Source : enquêtes auprès des structures

1.2.5 Ressource en eau et débits disponibles

Le long de son linéaire, le canal de l'Union transporte l'eau aux différentes structures conformément à leur droit et titre. Ces droits d'eau anciens ont été saisonnalisés en 1959, par convention avec EDF dans

le cadre de l'aménagement hydroélectrique de la Durance. Le débit en tête du canal varie d'environ 20 m³/s depuis sa prise principale en Durance à 8 m³/s à son extrémité aval (entrée du canal Carpentras).

Le Tableau 1-3 présente la dotation conventionnelle saisonnée à la prise de Mérindol, du canal Saint Julien et de l'Union mois par mois, ainsi que le détail par canal membre.

Tableau 1-3: Dotations historiques des canaux membres

Q (l/s)	Total à la prise de Mérindol (Union Luberon Sorgue Ventoux + Saint Julien)	Canal Saint Julien	Canal de l'Union Luberon Sorgue	Dont			
				Canal de l'Isle (20%)	Canal Cabedan-neuf (12%)	Plan Oriental (8%)	Canal Carpentras (60%)
Janvier	0	0	0	0	0	0	0
Février (1)	5 300	2 100	3 200	640	384	256	1 920
Février (2)	5 700	2 500	3 200	640	384	256	1 920
Mars (1)	12 300	4 200	8 100	1 620	972	648	4 860
Mars (2)	14 200	4 200	10 000	2 000	1 200	800	6 000
Avril (1)	16 100	4 500	11 600	2 320	1 392	928	6 960
Avril (2)	17 300	5 500	11 800	2 360	1 416	944	7 080
Mai	19 518	7 228	12 290	2 458	1 475	983	7 374
Juin	19 518	7 228	12 290	2 458	1 475	983	7 374
Juillet	19 518	7 228	12 290	2 458	1 475	983	7 374
Août	19 518	7 228	12 290	2 458	1 475	983	7 374
Septembre (1)	16 600	5 000	11 600	2 320	1 392	928	6 960
Septembre (2)	15 500	5 000	10 500	2 100	1 260	840	6 300
Octobre (1)	12 500	4 000	8 500	1 700	1 020	680	5 100
Octobre (2)	11 100	4 000	7 100	1 420	852	568	4 260
Novembre	6 500	2 500	4 000	800	480	320	2 400
Décembre	5 900	2 400	3 500	700	420	280	2 100

(1) : les deux premières semaines du mois

(2) : les deux dernières semaines du mois

Source : CCTP canal de l'Union, 2019

Il convient de noter que l'Union ne prélève pas aujourd'hui la totalité de sa dotation du fait des différentes évolutions structurelles et des travaux de modernisation.

NB : N'apparaissent pas dans le tableau, les données de l'ASA de Mérindol qui prélève en amont des modules à masque desservant le canal de l'Union et le droit d'eau de la SCP pour l'alimentation de sa station de pompage qui est dérivé de son droit d'eau sur le Verdon.

2 ETAT DE L'ART

2.1 Enjeux de la modernisation des canaux d'irrigation

Parmi les prélèvements d'eau en France, l'eau prélevée pour l'irrigation représente entre 10 et 15 % selon les années, mais à la différence d'autres secteurs, elle est faiblement restituée et représente près de 70 % des prélèvements nets (Loubier & Gleyses, 2011).

Face à l'augmentation de la demande en eau pour l'irrigation, à la compétition entre les différents secteurs d'activité pour l'usage de l'eau et aux problèmes causés par le changement climatique, la question de l'économie d'eau devient de plus en plus cruciale.

L'économie d'eau peut se faire dans la méthode d'utilisation de cette eau en visant la réduction de la quantité d'eau consommée, ou dans la distribution qui vise à réduire les pertes d'eau dans le réseau (Hong, 2014).

- Dans le premier cas de figure, il s'agit de l'amélioration des pratiques agricoles notamment la sélection des variétés économes en eau ou tolérantes à la sécheresse, la conduite des cultures permettant de réduire substantiellement le besoin en eau d'irrigation des cultures, la maximisation des efficacités d'application.
- Le second cas de figure, qui porte sur la gestion des systèmes hydrauliques (canaux d'irrigation), concerne généralement la modernisation des réseaux, le type de gestion à savoir la gestion tactique (programmation des allocations d'eau en fonction des ressources disponibles) et la gestion opérationnelle (régulation du canal et les ouvrages pour satisfaire les objectifs de la distribution) (techniques d'irrigation).

Selon (Pochet & Chauvet, 1974), la modernisation des réseaux d'irrigation vise généralement deux objectifs:

- Faciliter l'exploitation des ouvrages pour alléger les frais de gestion ;
- Reconvertir le canal pour l'adapter à de nouvelles conditions de distribution et pour réduire, en particulier, le gaspillage d'eau.

La présente étude, traite dans sa globalité, de la modernisation d'un canal pour améliorer les conditions d'exploitation et valoriser les économies d'eau potentielles réalisables. Pour un réseau existant, elle vise en outre :

- la motorisation des vannes de régulation de niveau d'eau ou de débit ;
- la réalisation de travaux de cuvelage ;
- le remplacement ou la réhabilitation d'ouvrages de régulation existants, et ;
- l'installation de nouvelles prises, de nouveaux ouvrages de régulation, d'un système de télégestion et de nouveaux dispositifs de contrôle et de mesure de débit.

2.2 Mode de distribution de l'eau d'irrigation

L'organisation du mode de distribution de l'eau reflète la manière dont les usagers ont accès à l'eau et dont ils échangent avec l'exploitant du réseau. Ainsi, la distribution de l'eau peut être organisée de différentes manières. Nous décrivons ci-dessous trois modes de distribution qui sont : le tour d'eau, la distribution à la demande et la distribution arrangée.

2.2.1 Tour d'eau ou rotation

C'est un mode de distribution dans lequel l'eau est fournie aux usagers de manière intermittente. La distribution repose sur trois paramètres : le débit, la durée qui dépend de la surface irriguée et la fréquence. Les différents paramètres peuvent être fixes ou variables, déterminés par le gestionnaire en fonction des besoins en eau estimés ou des demandes formulées par les usagers. Ce mode de distribution permet le dimensionnement des canaux avec de faibles capacités.

2.2.2 Distribution à la demande

Dans ce mode de distribution, les usagers ont un libre accès à l'eau. Ces systèmes sont généralement coûteux car :

- la dimension des canaux est plus importante que dans une distribution au tour d'eau, afin de faire face à une demande de pointe ;
- elle doit être commandée par l'aval pour permettre au système de réagir instantanément à la variation de la demande.

Dans la pratique, ce mode de distribution est quasi inexistant dans les réseaux de canaux. Il existe cependant un cas particulier important qui est celui du transport par canaux avec distribution par canalisations sous-pression (Pierre & Jean-Pierre, 1993). On peut citer par exemple : le Canal de Provence, le canal du Bas Rhône-Languedoc.

2.2.3 Distribution arrangée

Le mode de distribution arrangé a été développé aux États-Unis (Renault et al., 2007). C'est un bon compromis entre le tour d'eau et la distribution à la demande. Les usagers expriment leur demande au gestionnaire par divers moyens (téléphone, internet...) en indiquant à l'avance le débit demandé (Q) et le moment où ils souhaitent avoir de l'eau (début et durée). Le gestionnaire traite ensuite toutes les demandes et conçoit une solution adaptée pour fournir les débits demandés. Certaines demandes peuvent être satisfaites sans changement ; d'autres peuvent être retardées, d'un ou deux jours.

Les différents modes de distribution rencontrés sur le canal de l'Union sont généralement la distribution à la demande (cas des stations de pompage qui démarrent et s'arrêtent automatiquement et des filioles privées) et la distribution arrangée via des demandes formelles (par courrier) et non formelles (échange au téléphone).

2.3 Régulation des canaux d'irrigation

L'objectif de la régulation d'un canal est d'optimiser le réglage des ouvrages en vue de satisfaire la demande en eau tout en limitant les pertes d'eau dans le réseau.

Les variables contrôlées dans l'exploitation des systèmes d'irrigation sont : le débit, les volumes ou une combinaison de débit et de volume. Le contrôle des débits est la procédure de contrôle la plus courante. Le contrôle des débits peut être direct ou, plus communément, indirect par le contrôle de la profondeur d'eau dans le canal. D'autres systèmes sont conçus et exploités pour contrôler le volume dans les tronçons de canal. Cette dernière technique nécessite une capacité de stockage : soit un stockage en ligne dans le canal lui-même, soit dans des réservoirs intermédiaires.

La description des modes de régulation des canaux présentés ci-dessous se limite à leur principe sans détailler les différents ouvrages mis en œuvre.

2.3.1 Commande par l'amont

La plupart des systèmes d'irrigation gravitaire sont commandés par l'amont (Renault et al., 2007). Avec cette technique, les régulateurs sont réglés en fonction du débit imposé par la prise d'eau principale. L'objectif est de maintenir un niveau d'eau constant (ou quasi constant) en amont de chaque régulateur.

Lors d'une variation du débit en tête, la ligne d'eau pivote autour d'un axe situé en aval des différents biefs. Elle est comprise entre la ligne d'eau à débit maximum (parallèle au radier) et la ligne d'eau à débit nul (horizontale).

Les changements de régime, s'effectuent bief par bief d'amont vers l'aval. Chaque bief introduit un temps de retard (appelé retard hydraulique ou temps de transfert) puisqu'une augmentation de débit s'accompagne d'une augmentation de volume du bief (Pierre & Jean-Pierre, 1993). Ce mode de régulation est donc anticipatif.

La Figure 2-1 illustre le principe de la régulation à niveau amont constant.

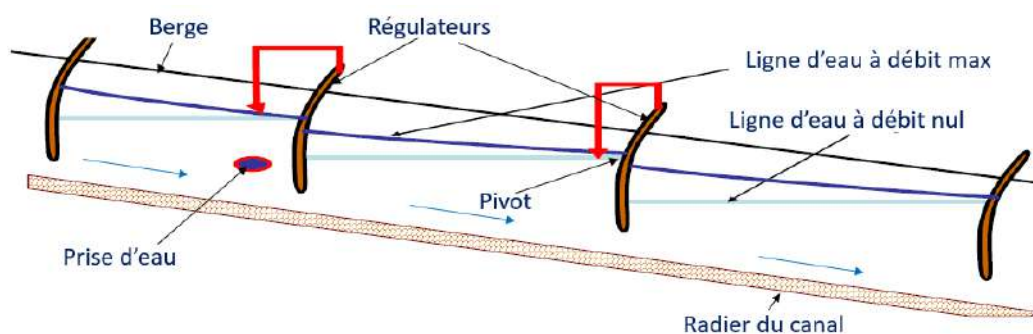


Figure 2-1: Schéma descriptif de la régulation par l'amont

Source : (Renault et al., 2007)

2.3.2 Commande par l'aval

La régulation par l'aval, a attiré l'attention des ingénieurs et des responsables de l'irrigation en raison de ses avantages potentiels. Le contrôle par l'aval répond automatiquement aux fluctuations de la demande des usagers en aval et peut minimiser les pertes d'eau.

La ligne d'eau est comprise entre une ligne d'eau horizontale à débit nul et une ligne d'eau parallèle au radier au débit maximal. Cette technique nécessite donc des berges de canal horizontales et des régulateurs automatiques.

Les régulateurs sont asservis au niveau aval qu'ils maintiennent constant (ou quasi constant). Lors d'une variation du débit en tête, la ligne d'eau pivote autour d'un axe situé en amont des différents biefs (Pierre & Jean-Pierre, 1993).

La Figure 2-2 illustre le principe de la régulation à niveau aval constant.

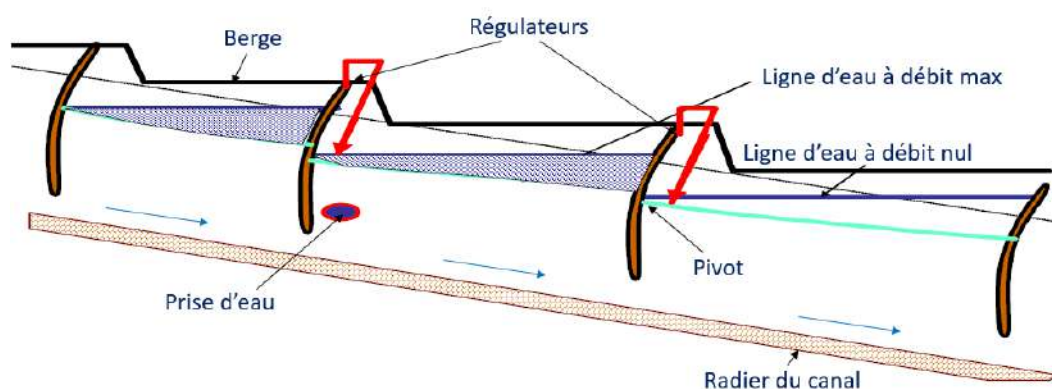


Figure 2-2: Schéma descriptif de la régulation par l'aval

Source : (Renault et al., 2007)

Le mode de régulation du canal de l'Union est la commande par l'amont mais le débit admis en tête est fonction des demandes exprimées en aval. Les ouvrages de régulation présents le long du canal, permettent de maintenir généralement un niveau d'eau amont constant pour l'alimentation des prises.

2.4 Modélisation des canaux d'irrigation

La modélisation des canaux d'irrigation permet de représenter leurs fonctionnements en différentes situations à partir d'outils numériques. Dans le cas des canaux d'irrigation, elle permet de simuler différentes situations de fonctionnement et analyser les conséquences sur le réseau dans le cadre d'un diagnostic ou de la création d'un nouveau réseau.

Aujourd'hui, avec les avancées technologiques, il existe une grande variété de modèles utilisés pour la modélisation des canaux d'irrigation. Les principales différences entre ces modèles se trouvent au niveau de la taille du réseau à modéliser et les régimes d'écoulements pouvant être simulés.

Certains modèles sont capables de simuler uniquement des écoulements en régime permanent tandis que d'autres sont capables de simuler des écoulements en régime permanent et transitoire. Ils sont généralement utilisés pour l'analyse de la performance du canal sous différents modes de régulations, de gestion de la distribution et de planification de l'irrigation (Javaid & Latif, 2010). Le Tableau 2-1 présente une liste de modèles utilisés pour la modélisation des canaux d'irrigation capables de simuler des conditions d'écoulement en régime permanent et transitoire.

Tableau 2-1: Exemple de logiciels utilisés pour la modélisation des canaux d'irrigation

Modèle	Développeur	Objet et principaux traits caractéristiques
Canal Management (CANALMAN)	Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, USA	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation des écoulements non permanents dans les systèmes ramifiés de canaux. - Catalogue intégré d'une quinzaine de types d'ouvrages. - Trois modes opérationnels : manuel, préréglé et programmé.
CALcul des Rivières MAillées (CARIMA)	SOGREAH Consulting Engineers, Grenoble, France	<p>Simulation des écoulements, permanents ou non, dans les systèmes de rivières et canaux, et dans les plaines inondables. Le package CARIMA peut inclure des modules additionnels, parmi lesquels :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le module CASCADE, pour l'étude et la mise au point de stratégies opérationnelles et d'algorithmes de commande automatique ; - le module CONDOR pour la simulation de la qualité des eaux (transport, diffusion et évolution de polluants chimiques ou organiques ou de matières dissoutes, transferts thermiques).
Modeling Drainage and Irrigation System (MODIS)	Delft University of Technology, The Netherlands	Étude et fonctionnement des systèmes de canaux d'irrigation, en particulier les systèmes automatisés, avec diverses options pour le mode de régulation.
MIKE 11	Danish Hydraulic Institute (DHI)	Package professionnel d'ingénierie pour la modélisation des rivières et canaux, incluant de nombreux modules de base et optionnels pour la simulation des écoulements, du ruissellement, de la qualité des eaux et des transports solides, avec interface GIS.
Simulation of irrigation Canals (SIC)	CEMAGREF, France	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation du fonctionnement des canaux en régime permanent ou non permanent, en commande manuelle ou automatique. - Inclut un catalogue d'ouvrages standard et une bibliothèque d'algorithmes usuels de régulation automatique, avec possibilité d'introduction d'algorithmes spécifiques.
Unsteady Model (USM)	US Bureau of Reclamation, Denver, USA	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation des régimes non permanents dans les canaux. - Efficace pour la résolution de problèmes hydrauliques sur des pas de temps court avec des variations brusque de l'écoulement que sur les pas de temps long avec des écoulements graduellement variés. - Limité aux canaux linéaires de 40 biefs maximum délimités par des ouvrages ou des conditions aux limites.

Source : (Javaid & Latif, 2010)

2. ETAT DE L'ART

Le calcul de la ligne d'eau à partir des modèles présentés dans le Tableau 2-1 est basé sur la résolution des équations différentielles partielles unidimensionnelle de Barré de Saint Venant excepté le modèle USM qui utilise la méthode des caractéristiques.

Les conditions d'écoulement sont décrites par :

- la loi de la conservation de la masse (équation de continuité)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

- l'équation de la quantité de mouvement (équation de la dynamique) exprimé comme suit :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \times A \times \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) = -(g \times A) \times S_f + K \times (qV)$$

La résolution des différentes équations différentielles partielles requiert une condition initiale et deux conditions aux limites (Akan, 2006) :

- Condition initiale : ligne d'eau résultant de la simulation en régime permanent.
- Conditions aux limites : hydrogramme au nœud amont du bief (débit entrant en fonction du temps) et la courbe de tarage au nœud aval du model.

L'équation de Barré de Saint Venant n'a pas de solution analytique en géométrie réelle. Les équations sont donc résolues numériquement par discrétisation : les dérivées partielles sont remplacées par des différences finies. La discrétisation utilisée est un schéma implicite à quatre points connus sous le nom de *fente de Preissmann*.

Il est toutefois intéressant de noter que la plupart des modèles présentés ont presque les mêmes limites dans leurs capacités de modélisation :

- Les écoulements torrentiels, l'assèchement des canaux et les ressauts hydrauliques ne peuvent pas être simulés;
- Les calculs ne peuvent pas être effectués pour un niveau d'eau égal à zéro (canal vide) à l'exception de CANALMAN et MODIS qui sont capable de simuler de telles conditions.

2.5 Organisation de l'étude

Les recherches bibliographiques effectuées ont permis de comprendre les aspects techniques de l'étude. La démarche méthodologique utilisée dans l'étude est synthétisée dans le diagramme de la Figure 2-3. Il convient de préciser que la collecte des données (phase 1 de l'étude de la modernisation) était achevée avant le début du stage.

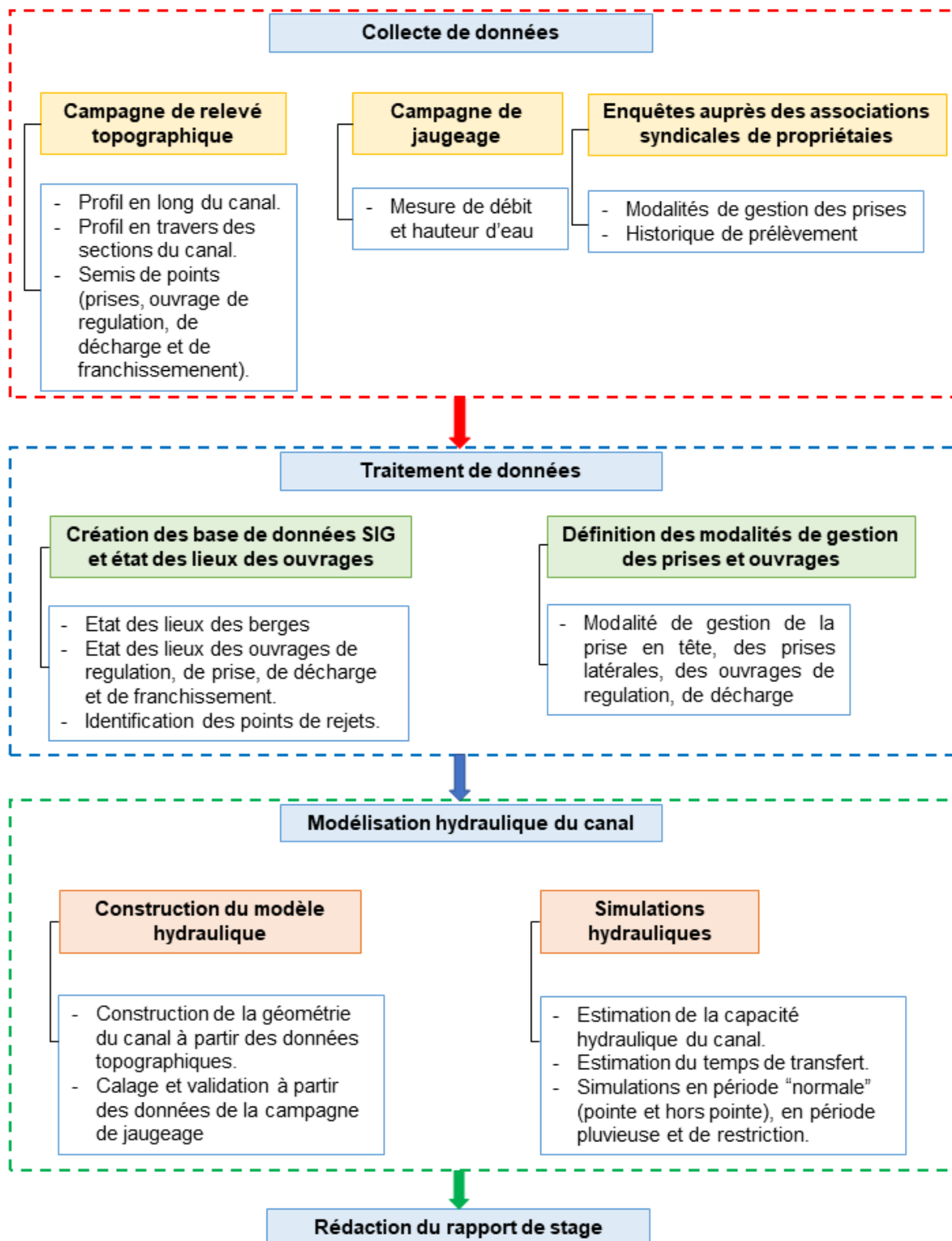


Figure 2-3: Diagramme de synthèse de la démarche méthodologique

3 ETAT DES LIEUX

L'état des lieux du canal a été établi à partir des visites de terrain et des données issues des relevés topographiques. Les informations collectées ont permis non seulement d'apprécier l'état général du canal, mais aussi de faire l'état des lieux :

- des berges du canal ;
- des ouvrages de régulation ;
- des ouvrages de prises principaux ;
- des ouvrages structurels ;
- des points de rejets le long du canal ;
- des équipements de mesure et de télétransmission existants.

L'ensemble des ouvrages (prises syndicales, ouvrages de régulation et structurels) sont présentés en **7 tronçons** (Annexe 2) dont les limites sont les suivantes :

- **Tronçon 1** : de la prise en tête au PM 3 039 ;
- **Tronçon 2** : du PM 3 039 au PM 5 922 ;
- **Tronçon 3** : du PM 5 922 au PM 9 471 ;
- **Tronçon 4** : du PM 9 471 au PM 13 892 ;
- **Tronçon 5** : du PM 13 892 au PM 17 965 ;
- **Tronçon 6** : du PM 17 965 au PM 22 410 ;
- **Tronçon 7** : du PM 22 410 au PM 23 784 (à l'entrée du canal Carpentras).

3.1 Berges du canal

Le revêtement des berges du canal de l'Union est varié. On retrouve le long du linéaire du béton, de la terre et des enrochements. On note une forte dominance des **berges bétonnées environ 90% (soit un linéaire d'environ 21 800 m)** que ce soit en rive droite ou en rive gauche.

L'état des berges est apprécié selon quatre (04) catégories:

- **Neuf** : revêtement entièrement refait ;
- **Bon** : revêtement ne présentant pas de fissure, pas de fuite d'eau, pas de végétation, pas de décollement des plaques de béton et qui ne nécessite pas de travaux immédiat ;
- **Moyen** : revêtement présentant des fissures, fuite d'eau maîtrisée, présence de végétation et décollement des plaques de béton à certains endroits, et qui nécessite des travaux à moyen terme (5 ans) ;
- **Dégradé** : revêtement présentant des fissures importantes et un décollement des plaques de béton, détachement des pierres (cas des enrochements), fuite d'eau non maîtrisée et qui nécessite des travaux immédiat

La détermination du type et l'état du revêtement sont importants dans la mesure où elle permet de définir les coefficients de Strickler qui est une donnée d'entrée indispensable du modèle hydraulique.

Le Tableau 3-1 récapitule l'état des berges du canal. L'état des lieux des berges est aussi présenté sous forme cartographique en Annexe 3.

Tableau 3-1: Type de revêtement et état des lieux des berges

Type de revêtement	Etat	Rive gauche		Rive droite	
		Linéaire (m)	Pourcentage	Linéaire (m)	Pourcentage
Béton	Neuf	2 670	11%	1 401	6%
	Bon	11 100	47%	8 955	38%
	Moyen	5 620	24%	8 574	36%
	Dégradé	3 543	15%	3 475	15%
Enrochement	Dégradé	216	1%	216	1%
Terre	Dégradé	635	3%	1 163	5%
Linéaire total (m)		23 784		23 784	

Globalement, sur la partie béton, l'état général du canal peut être qualifié de **bon en rive gauche** et **moyen à bon en rive droite**. Néanmoins, les tronçons en terre ou en enrochement sont relativement dégradés.



a) Revêtement en béton - bon état (PM-15090)



b) Enrochement – dégradé (PM-13951)



c) Revêtement en terre - état dégradé (PM-17678)



d) Revêtement en béton – Moyen (PM-16807)

Figure 3-1: Type de revêtement et état des berges du canal

3. ETAT DES LIEUX

3.2 Ouvrages de prise

3.2.1 Ouvrage de prise en tête

La prise principale du canal de l'Union (Figure 3-2) se trouve sur la commune de Mérindol. L'ouvrage de prise est une propriété d'EDF qui en assure l'entretien. Seule la partie télégestion appartient au canal de l'Union. La prise en tête est constituée d'une batterie de modules à masque de capacité totale de 19,1 m³/s (cf. Tableau 3-2) et une (01) vanne plate qui est hors service.

Tableau 3-2: Ouvrage de prise en tête – capacité des modules à masque en service (type C1)

Capacité/ module (l/s)	Nombre de module à masques	Capacité totale (m ³ /s)
1000	18	18
400	2	0.8
200	1	0.2
100	1	0.1
TOTAL		19.1

La prise est équipée d'une armoire de contrôle de commande qui date du début des années 2000. Elle alimente huit (08) vannes motorisées qui permettent d'obturer les modules à masques des deux passes en rive droite. Ces modules à masque sont donc motorisés et télégérés et ont une capacité totale de 6 m³/s :

- 05 modules à masques de 1 000 l/s chacun ;
- 02 modules à masques de 400 l/s chacun ;
- 01 module à masques 200 l/s.

L'ouvrage est en état moyen (présence de rouille, dysfonctionnement de certains capteurs de fin de course...). On note également, la condamnation de la vanne plate et d'un bloc de modules à masque ; et un problème de mécanisme des vannes AVIO.



Figure 3-2 : Ouvrage de prise en tête - Module à Masque type C1 (PM-0)

3.2.2 Ouvrages de prises latérales

Les prélèvements d'eau dans le canal de l'Union se font au moyen de diverses prises : martelière, station de pompage, module à masques.

Le Tableau 3-3 récapitule le nombre de prises par canal membre et non membre. Il existe un grand nombre de prises privées (plus d'une centaine), notamment celles du Cabedan-Neuf qui prélèvent directement dans le canal de l'Union.

Tableau 3-3 : Récapitulatif des types de prise le long du canal par structure

Structure	Martelière syndicale	Martelière privée	Module à masque	Pompage privé	Prise condamnée	Station de pompage	Buse	Total
ASA de Mérindol	2	-	-	-	-	-	-	2
ASCO du canal Cabedan-Neuf	21	93	-	139	2	3	1	259
ASA du canal Saint-Julien	-	-	1	-	-	-	-	1
Société de Canal de Provence (SCP)	-	-	-	-	-	1	-	1
ASCO du canal de l'Isle	3	4	1	1	-	2	-	11
ASA du canal de Carpentras	Continuité du canal de l'Union							-
Total	26	97	2	140	2	6	1	274

Le Tableau 3-4 décrit les prises gravitaires de capacité importante (prélèvement supérieur > 500 l/s) ainsi que leurs caractéristiques et leur localisation (PM). Ces prises sont présentées à la Figure 3-3.

Tableau 3-4: Prises gravitaires de capacité importante

Structure	Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Etat	Description	Utilisation	Fonction de l'ouvrage
ASA du canal Saint Julien	PR-8264	8264	Bel Hoste	Module à masque	Moyen	09 modules à masque de capacité totale 8,55 m ³ /s + 02 vannes AMIL D450 + 01 Seuil	En service	Prise du canal Saint Julien
ASCO du canal Cabedan-neuf et ASA du Canal Saint Julien	PR-17415	17415	Les Taillades	Vanne	Dégradé	2 vannes de prise	En service	Prise du Plan Oriental
ASCO du canal de l'Isle	PR-19628	19628	Caramède		Moyen	Buse (Conduite en béton) de diamètre 1m et de capacité 1 m ³ /s.	En service	Prise de Caramède (ASCO du canal de l'Isle)
ASCO du canal de l'Isle	PR-22401	22401	La Tour de Sabran	Vannes en travers et Vanne déversante	Bon	2 vannes en amont dont une est motorisée et télégérée. 1 vanne déversante se trouve en aval des deux vannes de la prise. 1 capteur de niveau à l'aval de la prise	En service	Prise gravitaire du canal de l'Isle
ASA du canal Carpentras	PR-23784	23784	Prise du canal Carpentras : le canal de l'Union devient canal de Carpentras					

3. ETAT DES LIEUX



a) Prise du canal Saint Julien - Bel Hoste PR-8264



b) Prise du Plan Oriental – Les Taillades PR-17415



c) Prise du canal de l'Isle - Caramède PR-19628



d) Prise du canal de l'Isle - Tour de Sabran PR-22401



e) Début du canal Carpentras - PM 23784

Figure 3-3 : Prise gravitaire de capacité importante

3.2.3 Stations de pompage

Le long du canal de l'Union, il existe six (06) stations de pompage. Le Tableau 3-5 présente les caractéristiques techniques de ces stations de pompage.

Tableau 3-5: Caractéristiques des stations de pompage le long du canal

Structure	Nom	Code	Etat	Nombre de pompe	Description	Débit maximum (l/s)	Superficie desservie (ha)
ASCO du canal Cabedan-Neuf	Station de Logis Neuf	PR-5426	Bon	3	3 pompes de 40l/s	120 l/s lorsque les pompes fonctionnent en parallèle	55
	Station de Valloncourt	PR-12896	Bon	5	3 pompes de 40 l/s et 2 pompes de 17 l/s	170 l/s lorsque les pompes fonctionnent en parallèle	53
	La Vidale	PR-17772	Moyen	4	2 pompes de 45l/s et 2 pompes de 15l/s	105 l/s lorsque les pompes fonctionnent en parallèle	90
SCP	SCP	PR-20856	Bon	3	3 pompes de capacité totale (installée) 640 l/s	500 l/s lorsque toutes les pompes sont en marche	-
ASCO du canal de l'Isle	Moutillon	PR-21765	Moyen	5	3 pompes de 36 l/s dont 1 à vitesse variable et 2 pompes de 100 l/s dont une à vitesse variable	300 l/s lorsque toutes les pompes sont en marche	182
ASCO du canal de l'Isle	L'Arrousaire	PR-23624	Bon	4	4 pompes de 200 l/s	750 l/s lorsque toutes les pompes fonctionnent	784

Source

Superficie desservies par les stations du Cabedan Neuf

<https://canal-Cabedan-Neuf.fr/index.php/l-asco-de-Cabedan-Neuf/le-canal>

Superficie desservies par les stations du canal de l'Isle

<http://www.canal-isle.fr/les-ouvrages/>

3.3 Ouvrages de régulation

Au total, on distingue 19 ouvrages de régulations le long du canal de l'union. Ces ouvrages sont composés de :

- 01 vanne AMIL ;
- 05 vannes plates à crémaillère ;
- 05 ouvrages de régulation mixte (03 ouvrages batardeau + vanne AMIL, 01 ouvrage roue + batardeau et 01 ouvrage batardeau + vanne plate crémaillère) ;
- 08 batardeaux.

Parmi ces ouvrages,

- 02 servent à l'alimentation des prises et décharge ;
- 11 servent à l'alimentation des prises ;
- 01 sert à l'alimentation de la roue et des prises (Taillades) ;
- 01 sert à l'alimentation de la roue (Baraillère) ;
- 04 sont hors service.

3. ETAT DES LIEUX

La Figure 3-4 présente quelques ouvrages de régulation qu'on retrouve le long du canal de l'Union. L'Annexe 4 décrit les différentes caractéristiques et l'état des ouvrages de régulation.



a) Batardeau (OR-1282) – État moyen



b) Vannes plates à crémaillère (OR-2247) – Dégradé



c) Vannes plates à crémaillère (OR-20922) – État moyen

Figure 3-4 : Exemple d'ouvrages de régulation et leur état

3.4 Ouvrages de décharge

Le canal de l'Union dispose de trois (03) ouvrages de décharge (Figure 3-5). Parmi ces 03 décharges, seulement deux (02) permettent d'assurer aujourd'hui la sécurité du canal vis-à-vis du débordement. Les ouvrages sont généralement des vannes de décharge associées à des déversoirs latéraux. Le Tableau 3-6 présente l'état des lieux des ouvrages de décharge ainsi que leurs caractéristiques.

Tableau 3-6 : État des lieux des ouvrages de décharge

Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Etat	Description	Dimension	Utilisation	Fonction de l'ouvrage
OD-5454	5454	La Roquette	Déversoir latéral + Vanne de décharge	Moyen	2 vannes motorisées pour la décharge	-Déversoir L* = 19,78 m -Vannes h** = 2 m l*** = 1,57 m	En service	Sécurisation du canal en cas d'orage et Vidange pour l'entretien.
OD-10611	10611	Redortier	Vanne droite + Siphon Neyrtec	Dégradé	-		Hors service	
OD-20909	20909	Robion	Vanne de décharge + Seuil latéral	Moyen	5 vannes plates dont 2 vannes motorisées et télégérées	- Déversoir L = 19,35 m - Vanne h = 1.57 m l = 1.20 m (pour chaque vanne)	En service	Réglage des débits pour maintenir les niveaux d'eau à la station de l'Arrousaire selon la consigne du canal de Carpentras et sécurisation du canal en cas d'orage (Décharge vers le Coulon)

(*) : Longueur

(**) : Hauteur

(***) : Largeur



a) Décharge de la Roquette (OD-5454) - Bon



b) Décharge de Redortier (OD-10611) – Dégradé



c) Décharge de Robion vers le Coulon (OD-20909)- Moyen

Figure 3-5 : Ouvrages de décharge et leur état

3. ETAT DES LIEUX

3.5 Points de rejet dans le canal

Il existe un nombre important d'arrivées d'eau dans le canal. Les principaux points de rejet identifiés sont :

- 03 points de rejets des eaux provenant des canaux d'irrigation (retours des canaux secondaires) ;
- 02 points de rejet d'eaux usées ;
- 02 sources (Saint Ferréol et source de Régalon) ;
- 28 points de rejets d'eaux pluviales : les eaux provenant soit d'un ruissellement naturel ou canalisé (écoulement facilité).

3.6 Ouvrages de franchissement

Le long du linéaire du canal, soixante-treize (73) ouvrages de franchissement ont été recensés. Les ouvrages de franchissements présentés dans le Tableau 3-7 sont ceux qui sont susceptibles d'avoir un impact sur la ligne d'eau (création de perte de charge) et présentent des risques de mise en charge fréquents. En général, ce sont des ponts dont le tablier repose sous la berge du canal.

Tableau 3-7 : État des lieux des ouvrages de franchissement

Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Etat	Hauteur entre la berge et le tablier du pont (cm)	Hauteur entre la trace d'eau bien marquée et la berge (cm)	Hauteur entre la trace d'eau moins marquée et la berge (cm)
OF-1703	1 703	Les Canaux	Pont avec tablier sur la berge	-	-	-	-
OF-3274	3 274	La Baume	Pont avec tablier sous la berge	Bon	50	80	50
OF-3563	3 563	Les Gardioles	Pont avec tablier sous la berge	Bon	60	-	-
OF-3761	3 761	Les Gardioles	Pont avec tablier sous la berge	Bon	30	65	25
OF-3883	3 883	Les Gardioles	Pont avec tablier sous la berge	Bon	20	20	-
OF-4659	4 659	Logis Neuf	Pont avec tablier sous la berge	Bon	25	65	25
OF-4890	4 890	Logis Neuf	Pont avec tablier sous la berge	Bon	50	80	45
OF-8441	8 441	Maison Escoffier (Bel Hoste)	Pont en maçonnerie avec pile centrale dans le canal	Moyen	-	-	-
OF-19865	19 865	Caramède	Pont en maçonnerie avec pile centrale dans le canal	-	-	-	-



Pont en maçonnerie avec pile centrale (OF-8441)



Pont-dalle sans pile centrale (tablier sous la berge du canal) (OF-3761)

Figure 3-6 : Exemple d'ouvrage de franchissement

3.7 Equipement de mesure et télétransmission

Les équipements de mesures et de télétransmission existants le long du canal sont présentés dans le Tableau 3-8 en fonction des ouvrages où ceux-ci sont installés. On distingue :

- Des capteurs de fin de course qui détectent les positions d'ouverture et de fermeture des vannes motorisées ;
- Des sondes de mesure de niveau d'eau dans le canal ;
- Des armoires de contrôle « commande » qui permettent de commander les vannes motorisées et assurer la télégestion des ouvrages.

Tableau 3-8 : Synthèse de l'état des lieux des équipements de mesure et de télétransmission

Site	PM	Etat
Prise de Mallemort - modules à masques motorisés et télégérés	0	
8 Modules à masques motorisés et télégérés		Bon (mais le capteur de fin de course présente des dysfonctionnements)
Sonde de mesure de niveau - amont		Bon
Sonde de mesure de niveau - aval		Bon
Armoire de contrôle commande		Bon
Site de la Roquette - vannes de décharge + vannes en ligne	5 484	
2 vannes en ligne motorisées et télégérées		Bon
2 vannes de décharge motorisées et télégérées		Bon
Sonde de mesure de niveau - amont dans le canal de l'Union		(dysfonctionnement)
Sonde de mesure de niveau - aval dans le canal de l'Union		Bon
Sonde de mesure de niveau - aval dans le canal de décharge		(hors service)
Armoire de contrôle commande		Bon (mais le matériel est obsolète)
Site de Robion- vannes de décharge + vannes en ligne	20 909	
2 vannes en ligne motorisées et télégérées		Bon
2 vannes de décharge motorisées et télégérées		Bon
Sonde de mesure de niveau - amont dans le canal de l'Union		Bon (mais ne mesure pas l'intégralité de la hauteur d'eau au regard de sa position)
Sonde de mesure de niveau - aval dans le canal de l'Union		(dysfonctionnement)
Sonde de mesure de niveau - aval dans le canal de décharge		Bon
Armoire de contrôle commande		Bon

3. ETAT DES LIEUX

Site	PM	Etat
Site de la station de l'Arrousaire	23 624	Bon
Sonde de mesure de niveau - aval dans le canal de l'Union		Bon
Armoire de contrôle commande		Bon



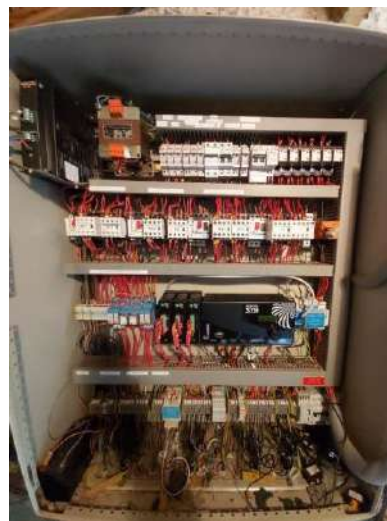
a) Sonde de mesure de niveau



b) Capteur de fin de course



c) Face avant armoire contrôle commande



d) Intérieur armoire contrôle commande

Figure 3-7 : Exemple d'équipements de mesure et de télégestion

4 MODALITES DE GESTION DES OUVRAGES LE LONG DU CANAL

4.1 Prise en tête

La prise en tête est utilisée quotidiennement et réglée en fonction des besoins en eau des canaux membres. Le Tableau 4-1 décrit la manière dont la prise est gérée pour ajuster les débits en condition d'exploitation normale comme exceptionnelle (en cas d'orage). La consigne de réglage est une consigne de débit. Le débit en tête est déterminé à partir des demandes de chaque structure : demande formelle (canal Saint Julien) et non formelle (autres structures). Pour le canal Saint Julien, la navette (prévision des débits à prélever) est adressée au canal de l'Union dans un délai de 48h. Quant aux autres membres, la demande est faite par téléphone au conducteur du canal.

Tableau 4-1 : Modalité d'exploitation de la prise en tête

Type d'ouvrage	Exploitation en période normale	Exploitation en exceptionnel
Module à masques	<ul style="list-style-type: none"> - Début de saison: le conducteur de canal règle les modules fixes (non motorisés) selon la demande du canal de St Julien à Bel Hoste. - Au cours de la saison: Ajustement des débits réalisé en fonction de la demande des canaux membres soit par les modules fixes, soit par les modules motorisés et télégerés selon le débit demandé. - Les modules motorisés et télégerés servent à régler les variations moins importantes notamment dans la journée. 	Coupure en urgence d'une partie de la prise en cas d'orage

4.2 Ouvrages de décharge

Les ouvrages de décharge présents sur le canal de l'Union permettent :

- d'assurer la sécurité du canal en cas d'évènements pluvieux
- en période normale :
 - de contrôler les débits dans le canal afin de respecter les consignes au niveau du canal Carpentras et la station de pompage de l'Arrousaire via le déversoir de Robion, et ;
 - d'éviter les débordements via la décharge de la Roquette et le déversoir de Robion.

Le mode d'exploitation des décharges est présenté dans le Tableau 4-2.

Tableau 4-2 : Modalité d'exploitation des décharges

Type d'ouvrage	Exploitation en période normale	Exploitation en exceptionnel
Vannes de décharge de la Roquette (PM - 5 454)	<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture en début de saison pour le nettoyage du canal - Fermeture en période normale - Manœuvres effectuées manuellement en local (réglage au cm) ou à distance (réglage par pas de 20 cm). 	Ouverture des vannes motorisées (Les décisions concernant le réglage de la décharge sont prises par le conducteur du canal en fonction de son expérience et des observations).
Décharge de Redortier (PM - 10 611)	Hors service	Hors service
Vannes de décharge de Robion (PM - 20 909)	<ul style="list-style-type: none"> - Réglages effectués en fonction des variations des lignes d'eau à station de l'Arrousaire. - Ouverture des vannes motorisées se fait soit sur place (localement à l'aide de l'automate) soit télégerée. 	Intervention des gardes canaux pour l'ouverture de la décharge. Le surplus d'eau est envoyé vers le Coulon.

4. MODALITES DE GESTION DES OUVRAGES LE LONG DU CANAL

4.3 Ouvrages en ligne

Les ouvrages de régulation servent principalement à régler les niveaux d'eau dans le canal pour assurer l'alimentation des prises (martelières, stations de pompage du canal Cabedan Neuf et SCP).

Les niveaux maintenus peuvent être très proches du niveau des berges avec une revanche de 20 cm, ce qui complexifie l'exploitation. En effet, lors d'une modification de prélèvement dans le canal, le niveau d'eau en amont des batardeaux peut varier rapidement.

Le conducteur du canal de l'Union contrôle ainsi souvent les niveaux d'eau le long du canal. En fonction de l'évolution des demandes, le conducteur du canal estime par expérience s'il faut régler uniquement ces ouvrages de régulation en ligne, ou s'il faut régler le débit à la décharge de Robion, voire le débit en tête.

La contrainte de maintien de niveaux d'eau élevés (faible revanche) conduit à des risques accrus de débordement lors des orages.

La description des modalités d'exploitation suivies par les gardes canaux pour la gestion des ouvrages est présentée dans le Tableau 4-3.

Tableau 4-3 : Modalité d'exploitation des ouvrages en ligne

Type d'ouvrage	Exploitation en période normale	Exploitation en exceptionnel
Batardeaux	<ul style="list-style-type: none"> - Mérindol (PM - 1 282 et PM - 1 730), et le Moutillon (PM - 21 772) : 60 cm de hauteur en période de pointe et hors pointe. - La Barthelasse (PM - 4 130) : 140 à 160 cm en début de saison (Février-Mars) et 80 cm le reste du temps. - Baraillère (PM - 13 750): hauteur basée sur l'expérience du conducteur de canal et PM - 13 946 (60 cm de hauteur en période de pointe et hors pointe) - Vidauque (PM - 15 124) : 20 cm de revanche en amont de l'ouvrage en période de pointe et hors pointe. - Les Taillades (PM - 17 965): 1,2 m de hauteur en période de pointe et hors pointe. - Robion (PM - 23 784) : 40 cm de hauteur en période de pointe et hors pointe. 	Retrait des batardeaux.
Vannes en ligne	<ul style="list-style-type: none"> - La Roquette (PM - 5 484): Réglée localement avec le système de motorisation pour maintenir un niveau d'eau variant entre 5 cm en dessous de la côte seuil du déversoir et la côte seuil du déversoir (période de pointe et hors pointe). - Les Taillades (PM - 17 414): 2 grandes vannes ouvertes en pleine saison et fermée en saison basse (seulement la vanne de roue est ouverte). - Caramède (PM - 19 669): Réglée manuellement de sorte à maintenir 10 cm de revanche en amont des vannes. - Robion (PM - 20 922): Réglée localement ou à distance avec le système de motorisation pour maintenir un niveau d'eau variant entre 10 cm en dessous de la côte seuil du déversoir et la côte seuil du déversoir (période de pointe et hors pointe). - Ronflon (PM - 23 038): Toutes les vannes sont ouvertes en période de pointe. La gestion en période hors pointe est inconnue. 	<ul style="list-style-type: none"> - La Roquette (PM - 5 484): Ouverture des vannes. - Les Taillades (PM - 17 414) : 2 grandes vannes ouvertes en pleine saison et fermée en saison basse (seulement la vanne de roue est ouverte). - Caramède (PM - 19 669): En cas de crue, on fait varier les vannes transversales pour la régulation en plus de la vanne AMIL. - Robion (PM - 20 922): Vannes baissées dans la mesure du possible.
Vannes AMIL	<ul style="list-style-type: none"> - Bel Hoste (PM - 8 264) et Caramède (PM - 19 669): Niveau d'eau maintenu à la côte de l'axe. - Vidauque (PM - 15 124): Vanne AMIL non fonctionnelle car elle est bloquée. 	-

4.4 Ouvrages de prise des canaux membres

4.4.1 Mode de distribution et modalité de gestion en période normale

Les modes de distribution et modalité de gestion des prises en période normale ont été définis à partir d'enquêtes réalisées auprès de chaque structure.

- De manière générale, la distribution de l'eau aux structures est faite à la demande à travers :
- des échanges non formels entre le garde canal de la structure et le conducteur de canal de l'Union pour adapter les consignes (cas du canal Carpentras et du canal de l'Isle notamment en ce qui concerne la station de l'Arrousaire) ;
- une demande adressée sous 48h : cas du canal Saint Julien ;
- des prélèvements aléatoires des prises privées du canal de Cabedan Neuf pour lesquels il n'existe aucune règle suivie : le débit maximum prélevé par ces prises est difficile à connaître.

4.4.2 Mode de distribution et modalité de gestion lors d'événements pluvieux

Lors des orages, la gestion des prises varie d'une structure à une autre selon les prévisions météorologiques :

- Le canal de Cabedan Neuf et le Canal de Mérindol décident de la fermeture ou non des prises en fonction des alertes météo ;
- Les canaux de l'Ilse et de Carpentras situés un peu en aval réduisent leurs prélèvements ;
- La station de pompage de la SCP est mise en arrêt pour éviter la turbidité dans les réseaux en aval ;
- Les prélèvements du Canal Saint Julien ne sont pas modifiés.

Les tableaux en Annexe 5 décrivent la gestion des prises en période normale et en cas de crue.

5 MODELISATION HYDRAULIQUE

La modélisation du fonctionnement hydraulique du canal principal est une étape essentielle de l'étude. Cela permet de simuler le fonctionnement hydraulique actuel en vue :

- de connaître la capacité hydraulique du canal ;
- de déterminer le temps de transfert dans le canal, paramètre important pour la gestion ;
- d'analyser les risques de débordement ;
- de vérifier si la régulation permet d'alimenter correctement les prises.

5.1 Justification du choix du modèle utilisé

Il existe un grand nombre de logiciels permettant de modéliser les écoulements dans les canaux d'irrigation (c.f section 2.4). Le logiciel retenu dans le cadre de cette étude est SIC. Le choix de ce logiciel s'appuie sur les arguments suivants :

- BRLi possède une grande expérience dans la modélisation sous SIC, et en particulier sur des canaux de transport d'eau pour l'irrigation ;
- Il est très performant dans la modélisation des ouvrages de régulation et des prises, et permet en particulier de simuler de manière efficace des variations de débits et les tours d'eau sur ces prises (BRLi & SCP, 2019) ;
- Le modèle, une fois établi, est facilement modifiable.

5.2 Présentation du logiciel SIC

Le logiciel SIC (Simulation Intégrée des Canaux et de leur Contrôle) est un logiciel de simulation hydraulique adapté au calcul des écoulements unidimensionnels dans les canaux d'irrigation, les rivières, les fleuves et les réseaux d'assainissement.

Développé par IRSTEA avec la participation de BRL, ce logiciel permet de modéliser les écoulements en régime permanent et en régime transitoire à l'aide des équations de Saint-Venant, en prenant en compte l'effet des ouvrages hydrauliques tels que les prises, les vannes, les siphons, et les seuils. Le logiciel permet également de mettre au point et de tester très facilement des algorithmes de contrôle automatique des ouvrages de régulation présents sur le réseau (vannes, seuils mobiles, etc.).

Les pertes de charges singulières des ouvrages peuvent être modélisées à l'aide d'un coefficient d'ouvrage. La perte de charge linéaire est quant à elle modélisée avec le coefficient de Strickler, dont la valeur est définie en fonction de l'état des berges du canal, et calée avec des mesures sur le terrain.

Le logiciel est construit autour de trois programmes principaux (Pierre & Jean-Pierre, 1993) :

- **TALWEG** : Permet de reconstituer la géométrie du canal à partir des données topographiques (profil en long, profils en travers, semis de points). Le canal est décrit par une succession de profil en travers perpendiculaires au sens de l'écoulement et par des biefs qui sont délimités par un nœud amont et un nœud aval. La structure du canal sous SIC est composée:
 - des sections dites normales ;
 - des sections singulières au niveau desquelles sont créés les ouvrages de régulation en ligne (vannes, batardeaux, seuils, déversoir en ligne) avec leurs caractéristiques;
 - des nœuds au niveau desquels sont créés les ouvrages latéraux comme les prises, les décharges latérales et sont définis les conditions aux limites.
- **FLUVIA** : Permet de calculer la ligne d'eau dans le canal en régime permanent. Avec la simulation en régime permanent, il est possible de calculer les ouvertures des prises et des vannes de sorte à respecter les consignes en débit des prises et le niveau d'eau objectif en amont des ouvrages de régulation en ligne (Pierre & Jean-Pierre, 1993).

- **SIRENE:** Permet de simuler le comportement hydraulique d'un canal soumis à des perturbations (ouverture ou fermeture des prises) et des manœuvres d'ouvrage de régulation en ligne en régime transitoire. Le calcul de la ligne d'eau est basé sur la résolution des équations différentielles partielles unidimensionnelle de Barré de Saint Venant.

5.3 Données de base pour la modélisation

5.3.1 Données topographiques

Les données topographiques utilisées dans l'étude ont été réalisées le long du canal pendant la période de chômage du canal. Les précisions sur les données topographiques sont les suivantes :

- écart moyen de positionnement inférieur à 3 cm en planimétrie ;
- écart moyen de positionnement inférieur à 2 cm en altimétrie.

Ils ont permis :

- d'établir le profil en long et les profils en travers des sections du canal ;
- de relever les prises le long du canal ;
- de relever les ouvrages le long du canal (batardeaux, ouvrages vannés, seuils, vanne AMIL, décharges).

L'Annexe 6 présente le profil en long du canal ainsi que la position des ouvrages le long du canal. Tous les ouvrages ne figurent pas sur le profil en long. Les ouvrages manquants sont essentiellement des prises privées pour lesquelles la côte radier n'étaient pas connues par manque de données. Toutefois, les principaux ouvrages indispensables à l'étude y figurent.

5.3.2 Données des campagnes des jaugeages

La campagne de jaugeages a consisté en la mesure de débit et hauteur en 10 points le long du canal avec un ADCP (**profileurs acoustiques de vitesse par effet Doppler**).

Deux campagnes de jaugeage ont été effectuées :

- La première campagne s'est déroulée du 21 au 22 avril 2020 : correspond à la mi-saison où les niveaux d'eau et le débit dans le canal sont moins importants ;
- La deuxième campagne de jaugeage a eu lieu les 07 et 08 juillet 2020 : correspond à la période de pointe où les hauteurs d'eau et le débit dans le canal sont importants.

Les résultats des campagnes de jaugeages ont été utilisés pour **caler le modèle hydraulique du canal**. Ces résultats sont présentés dans les tableaux en Annexe 7.

5.3.3 Historique de prélèvements des différentes structures

Les données de prélèvement collectées auprès des canaux membres et utilisées dans cette étude sont récapitulées dans le Tableau 5-1. Ces données ont permis de construire les hydrogrammes utilisés dans le modèle comme conditions aux limites au droit des prises.

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

Tableau 5-1 : Synthèse des données de prélèvements 2018 et 2019

Structure	Type de prise	Description
ASCO Cabedan-neuf	Filiole syndicale	Volume mensuel (m ³) / débit (l/s) à chaque ouverture
	Station de pompage	Débit instantané (l/s) (arrêt et démarrage des pompes)
	Filiole privée	Volume mensuel (m ³) des prises / Débit moyen estimé (l/s) par prise par période
	Pompage privé	-
ASA Saint-Julien	Module à masque Type C1	- Débit prévisionnel journalier (l/s) - Volume mensuel prélevé (m ³)
ASCO de l'Isle	Prise gravitaire et station de pompage	Débit instantané (l/s) au pas de temps de 10 minutes.
ASA de Carpentras	Continuité du canal de l'Union	- Volume mensuel (m ³) - Débit moyen mensuel (l/s) - Débit instantané (l/s) au pas de temps de 10 minutes.
ASA de Mérindol	Filiole syndicale	Débit moyen journalier (l/s)
Société de Canal de Provence (SCP)	Station de pompage	Débit instantané (m ³ /s) au pas de temps de 15 minutes.

5.3.4 Evaluation des apports pluviométriques absorbés par le canal de l'Union

5.3.4.1 Bassins versants et évènements pluvieux considérés

La zone d'étude est composée de 44 bassins versants situés en amont (en rive droite) du canal de l'Union (Figure 5-1). Ils sont caractérisés par des superficies comprises entre 0,1 et 14,5 km². Ces bassins sont localisés sur le massif du Luberon, massif montagneux (altitude max de 1100 m NGF) pouvant engendrer des pentes importantes sur les versants de certains bassins.

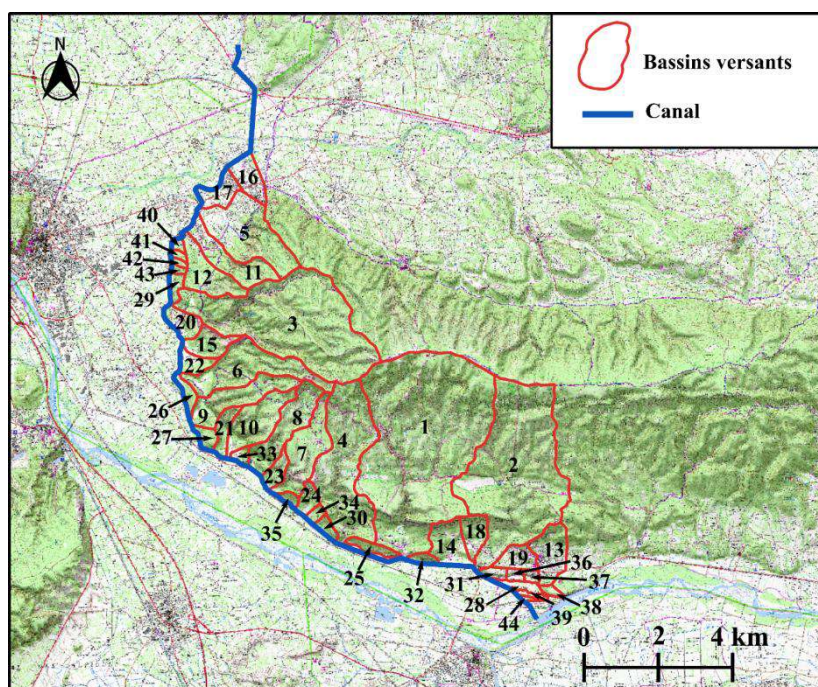


Figure 5-1 : Bassins versants en amont du canal de l'Union

Pour les besoins de l'étude de sécurisation des ouvrages lors périodes des pluviuses, 3 évènements pluvieux ont été considérés:

- **Un évènement réel** (pluie de décembre 2019) : choisi en concertation avec le canal de l'Union (évènement marquant qui bien que n'ayant pas généré de débordement, mais a nécessité des interventions importantes de la part des garde canaux). Il est caractérisé par des pluies modestes (inférieures à 5 ans pour l'ensemble des durées) mais sous des conditions initiales humides.
- **Deux évènements théoriques :**
 - Un évènement avec une période de retour 10 ans ;
 - Un évènement avec une période de retour 20 ans.

Ces évènements ont été choisi afin de simuler des évènements de référence dits « non majeur » et « majeur » pour :

- identifier des risques et contraintes pour la gestion ;
- concevoir des dispositifs de mesure ;
- concevoir des nouveaux ouvrages et des adaptations des ouvrages existants.

5.3.4.2 Hydrogrammes des évènements pluvieux

La détermination des débits de référence des bassins versants a fait l'objet d'une hydrologique particulière. La méthode mise en œuvre est présentée brièvement sans entrer dans les détails.

En effet, étant donné les superficies relativement faibles (de 0.07 à 14.54 km²) et le caractère non jaugé des bassins versants, la méthode d'estimation des débits référence mise en œuvre s'appuie sur la méthode SHYPRE-pluie couplée avec le modèle pluie-débit de type SCS-CN. À partir de la distribution des débits de référence (à la fois en pointe et en volume), des hydrogrammes de crue mono fréquences ont été construits selon la méthode SOCOSE.

Dans le cadre de cette étude, des hypothèses sur le débit entrant dans le canal ont été faites car la totalité du débit provenant des bassins versants ne rentre pas forcément dans le canal de l'Union. Ainsi, seuls les 28 points de rejets d'eaux pluviales (cf. section 3.5), associés à des bassins versants situés en amont du canal de l'Union, ont été considérés dans le modèle hydraulique. Les hypothèses relatives au pourcentage de débit entrant dans le canal ainsi que les volumes sont décrites en Annexe 8.

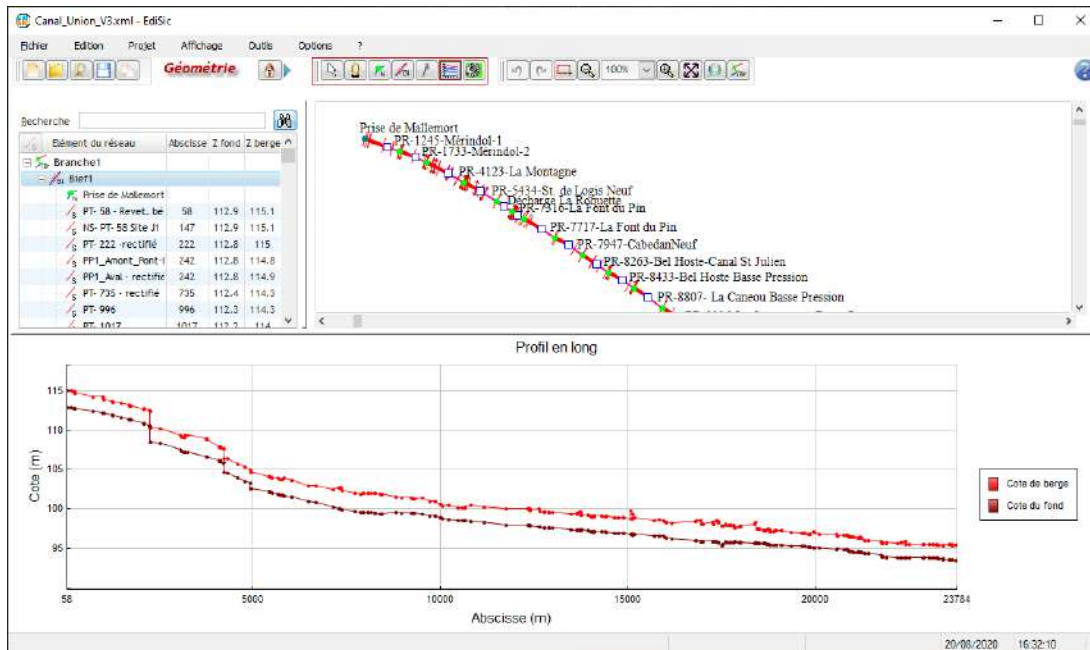
5.4 Construction du modèle

5.4.1 Géométrie du modèle

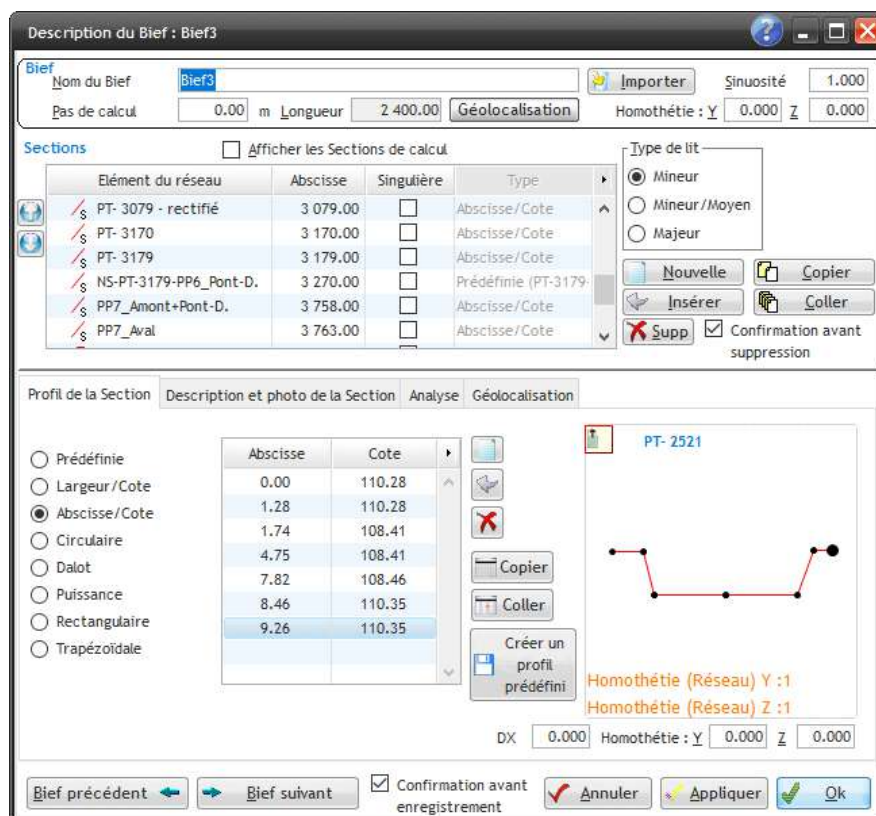
Dans la présente étude, le modèle a été construit à l'aide des levés topographiques (section 5.3.1). L'ensemble des profils en travers et en long ont été importé dans le modèle à partir d'une macro Excel.

La Figure 5-2 illustre le profil en long du canal et un exemple de profil en travers obtenus sous SIC.

5. MODELISATION HYDRAULIQUE



a) Profil en long sous SIC



b) Profil en travers de section

Figure 5-2 : Profil en long et profil en travers du canal de l'Union sous SIC

Note

- Des profils supplémentaires ont été générés aux endroits des prises latérales, des décharges et des changements de pente longitudinale. Les nouveaux profils ont été extrapolés depuis un

profil en travers en amont ou aval, selon la connaissance du terrain et l'analyse du profil en long issu du relevé topographique.

5.4.2 Prise en compte des ouvrages

5.4.2.1 Ouvrage de régulation

Les ouvrages de régulation sont créés au niveau des sections singulières définies lors de la création de la géométrie du modèle. Sur les 19 ouvrages de régulation, seize (16) sont pris en compte dans le modèle (Tableau 5-2). Les ouvrages hors service ne sont pas considérés à l'exception de l'OR-2247 où bien qu'étant hors service les ouvrages sont présents.

Tableau 5-2 : Liste des ouvrages de régulation intégrés au modèle

N°	Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage
1	OR-1282	1 282	Mérindol	Batardeau (trapézoïdale)
2	OR-1730	1 730	Mérindol	Batardeau (trapézoïdale)
3	OR-2247	2 247	Ancien Moulin	Batardeau (rectangulaire) + Vanne plate à crémaillère
4	OR-4130	4 130	La Montagne	Batardeau (rectangulaire)
5	OR-5484	5 484	La Roquette	Vanne plate à crémaillère
6	OR-8264	8 264	Bel Hoste	Vanne AMIL
7	OR-13750	13 750	La Baraillère	Vanne AMIL + batardeau (rectangulaire)
8	OR-13946	13 946	La Baraillère	Roue + Batardeau (rectangulaire) + déversoir transversal (bord à arêtes vives)
9	OR-15124	15 124	Vidauque	Vanne AMIL + batardeau (rectangulaire)
10	OR-17414	17 414	Les Taillades	Vanne plate à crémaillère + roue + déversoir transversal (bord à arêtes vives)
11	OR-17965	17 965	Les Taillades	Batardeau (rectangulaire)
12	OR-19669	19 669	Caramède	Vanne AMIL + Vanne plate à crémaillère + déversoir transversal (bord arrondi)
13	OR-20922	20 922	Robion	Vanne plate à crémaillère
14	OR-21772	21 772	Le Moutillon	Batardeau (trapézoïdale)
15	OR-23038	23 038	Ronflon	Vanne plate à crémaillère
16	OR-23784	23 784	Route de Robion	Batardeau (rectangulaire)

Lorsque l'ouvrage de régulation est composé de plusieurs types d'ouvrage, les différents ouvrages sont modélisés dans SIC au niveau de la même section singulière (Figure 5-3).

Les informations renseignées pour la description des ouvrages en ligne sont généralement composées de :

- la côte radier ;
- la côte seuil : cas des batardeaux et déversoirs transversaux ;
- le fruit de berge : cas des batardeaux ayant une section trapézoïdale ;
- la largeur et l'ouverture des vannes ;
- le type de vanne AMIL ;
- la loi hydraulique de l'ouvrage et le coefficient de débit.

Les coefficients de débits retenus au niveau des ouvrages sont présentés en Annexe 9.

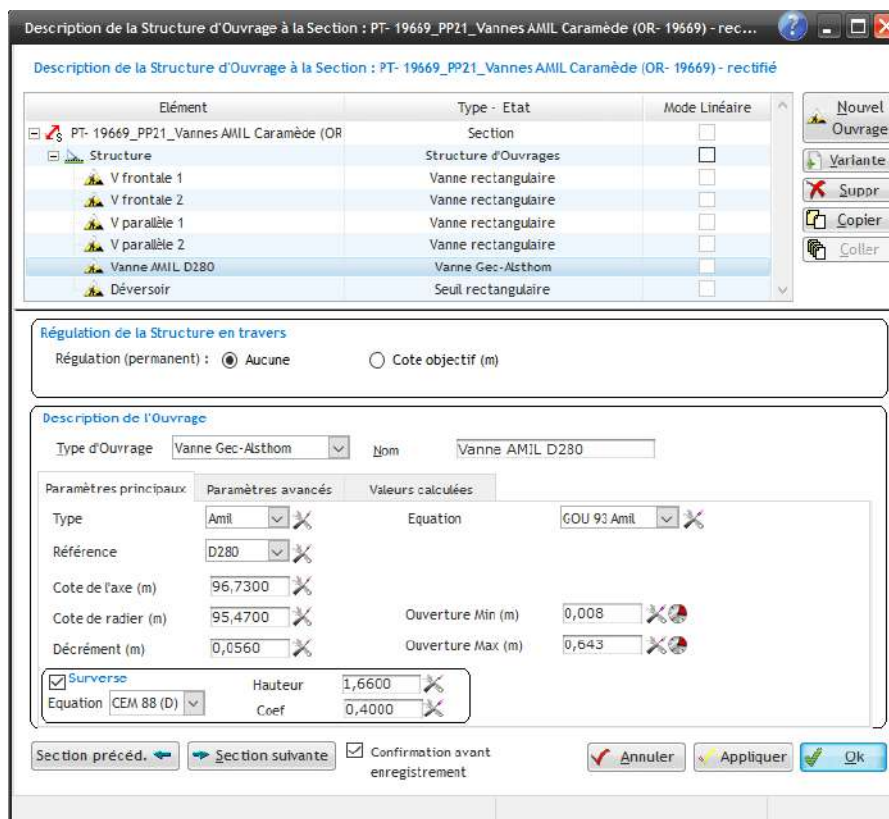


Figure 5-3: Description d'un ouvrage de régulation dans SIC

5.4.2.2 Ouvrages de franchissement

Au total, neuf (9) ponts (cf. section 3.6) sont modélisés afin de tenir compte des pertes de charges dans le canal. Ces ponts sont modélisés comme des vannes plates dans SIC.

- Les ponts avec tablier sous la berge sont en charge lorsque le canal est plein. En fonctionnement normal, ces ponts ne génèrent pas de perte de charge.
- En revanche, les ponts en maçonnerie avec pile centrale génèrent une faible perte de charge de l'ordre de 2 à 5 cm (selon les observations réalisées sur le terrain par l'équipe de jaugeage pendant les deux campagnes de jaugeage).

5.4.2.3 Prises et décharges latérales

Dans le logiciel, les prises et les décharges latérales sont modélisés au niveau des nœuds. Pour chaque nœud, l'information renseignée est la condition limite à l'aval qui peut être :

- un débit imposé (Q) ;
- une cote fixe (Z) ;
- un débit en fonction de la cote $Q(Z)$;
- une fonction Q alpha.

Sur les 274 prises (section 3.2.2), seulement soixante-six (66) prises ont été modélisées :

- 29 prises syndicales dont 6 stations de pompage ;
- 37 prises martelières privées. En effet, comme une grande partie de ces martelières privées sont hors service ou constituent des prises à très faible débit, seules les prises privées principales sont retenues pour la modélisation. Il convient de noter que le choix des prises privées retenues s'est fait en concertation avec l'association syndicale de propriétaires concernée.

Les prises considérées dans le modèle sont en Annexe 10. La Figure 5-4 présente la description d'une prise dans le logiciel SIC.

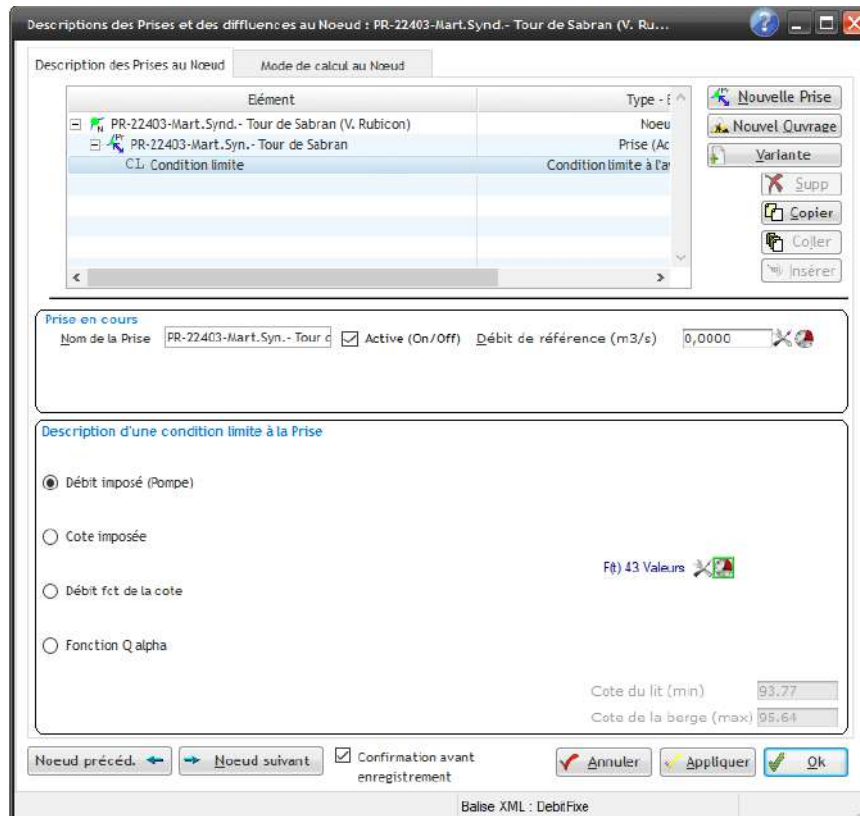


Figure 5-4: Description d'une prise dans SIC

5.4.3 Conditions aux limites

Le logiciel SIC permettant de modéliser les écoulements à l'aide des équations de Saint-Venant, il est indispensable de spécifier les conditions aux limites amont et aval du réseau afin d'effectuer les calculs.

5.4.3.1 Condition aux limites amont

Le canal de l'Union est un canal régulé par l'amont. Les débits entrant dans le canal sont contrôlés par des modules à masques. La condition aux limites amont est donc le débit entrant dans le canal.

5.4.3.2 Condition aux limites aval

Le canal se termine dans le canal de Carpentras et il n'y a aucun obstacle hydraulique immédiat en aval. La condition limite aval est considérée comme étant la hauteur normale dans le canal de Carpentras, qui est définie à partir :

- du coefficient K (valeur calée¹) ;
- de la pente longitudinale $i = 0.000178$ m/m (pente moyenne entre la prise Arrousaire et le point correspondant à la fin du canal de l'Union).

¹ La méthode utilisée est itérative car le coefficient K obtenu est un résultat final du calage

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

Selon le coefficient K retenu (cf. paragraphe 5.5), les conditions aux limites aval sont définies comme indiqué dans la Figure 5-5.

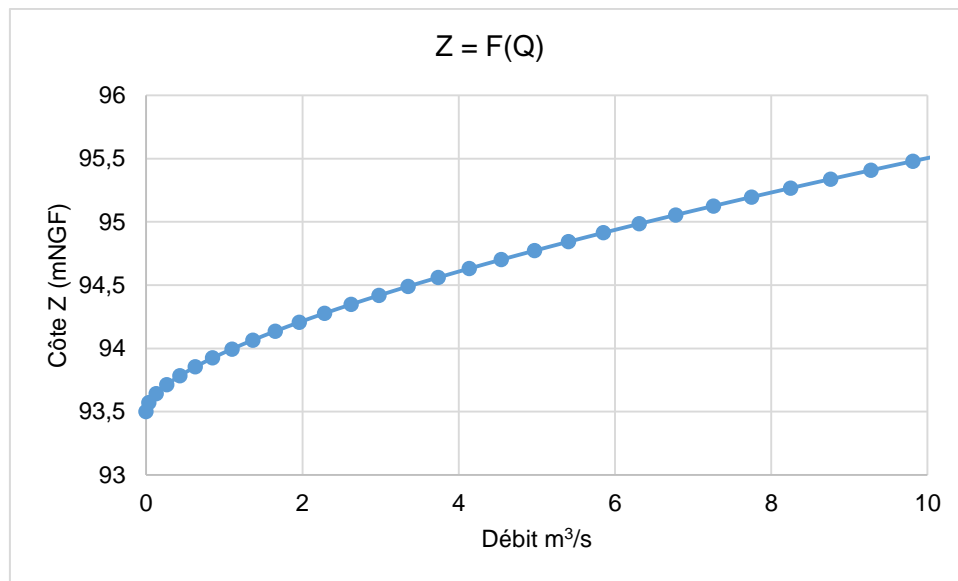


Figure 5-5 : Conditions aux limites aval retenues

5.4.4 Pertes par infiltrations

Les pertes linéaires sont estimées à partir des valeurs recommandées par la FAO. Pour un canal revêtu, les pertes par infiltration sont de l'ordre de 30l/m² de section mouillée. Une perte par infiltration de 40l/m² a été considérée pour tenir compte des tronçons non revêtus. Cela représente environ 5,5 l/s/km.

La Figure 5-6 présente la structure du modèle du canal de l'Union construit sous le logiciel SIC.

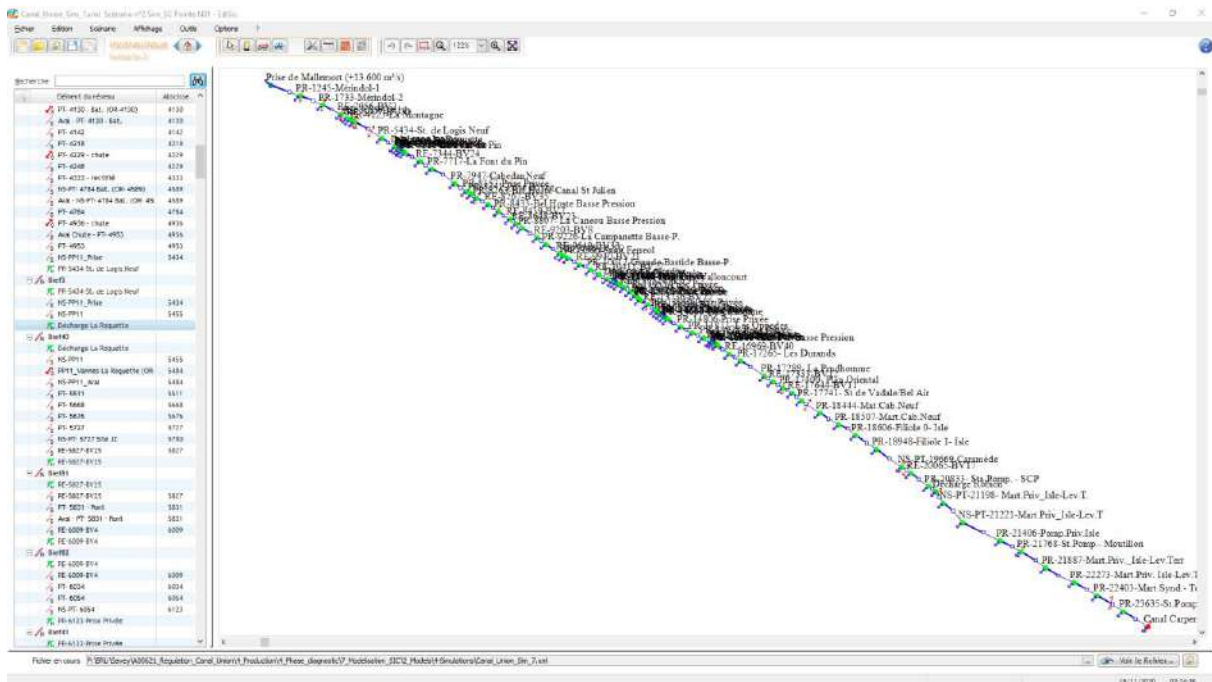


Figure 5-6: Aperçu du modèle du canal de l'Union

5.5 Calage et validation du modèle

À partir de l'exploitation des données des campagnes de jaugeage et du modèle créé, il a été possible d'effectuer le calage du modèle ainsi que la validation. Dans un premier temps, des coefficients de Strickler ont été affectés à chaque tronçon en fonction du type et l'état du revêtement selon les valeurs recommandées de la FAO(FAO, s.d). Ensuite, le calage du modèle a consisté à déterminer les coefficients de Striquer (K) pour chaque tronçon afin d'approcher au mieux les observations de terrain.

Le résultat du calage (valeurs de Strickler retenues) est présenté dans le Tableau 5-3.

Tableau 5-3: Valeurs de coefficient de Strickler (K) retenues

Section	PM	Revêtement	Etat	K théorique	1 ere campagne de jaugeage			2e campagne de jaugeage			K retenu	Remarque
					Q mesuré (m3/s)	H mesurée (m)	K calé -1	Q mesuré (m3/s)	H mesurée (m)	K calé -2		
PT- 58	58	béton	bon	60			54			51	52	
Bf : Bief1 > S : NS- PT- 58 Site J1	147			60	8.543	0.9	54	13.112	1.27	51	52	
PP11_Vannes La Roquette	5 484			60			53			56	52	
NS-PT- 5727 Site J2	5 780			60	7.471	1.01	53	12.086	1.34	56	52	K retenu légèrement différent du K issu des mesures pour prendre en compte les résultats obtenus en amont et en aval
NS-PT- 8249_PP12 Van.AMIL (OR- 8264)	8 263			60			51			52	52	
NS-PT- 8249 Site J3	8 400			60	4.373	1.31	51	7.895	1.7	52	52	
NS- PT- 8950 - Site J4	9 250			60	4.399	0.78	51	7.641	1.1	52	52	
NS- PT- 8950	9 300			60			53			52	52	
NS- PT- 8950	9 300			55			53			52	52	
PT- 10809	10 809			55			53			52	52	
PT- 10809	10 809			60			60			60	52	
NS-PT- 12377	12 353			60			60			60	52	
NS-PT- 12377	12 353			55			55			50	50	
NS -PT- 12903 Site J5	12 995			55	3.996	1.07	55	7.298	1.42	50	50	
NS- PT- 14401	14 290			55			55			50	50	
NS- PT- 14401	14 290			60			60			50	52	
NS-PT-14738	15 071			60			60			50	52	
PT- 15071	15 071			40			40			40	40	
NS-PT- 15114_PP19-VanAMIL (Vidauque C	15 124			40			40			40	40	
NS-PP19 Aval	15 124			55			55			55	50	
NS-PT- 15962	16 022			55			55			55	50	
NS-PT- 15962	16 022			50			50			50	50	
NS- PT-16814	16 953			50			50			50	50	
NS- PT-16814	16 953			30			30			30	30	
PT- 17249	17 249			30			30			30	30	
PT- 17249	17 249			50			50			50	50	
PT- 17514	17 514			50			50			50	50	
PT- 17514	17 514			25			25			25	25	
NS-PT- 17629 Site J6 (1er campagne)	17 600	25	3.848	1.4	25			25	25			
NS-PT- 17985-rectifié Site J6 (2e capagne)	17 950	25			25	5.925	1.41	25	25			
NS-PT- 17985 - Bat.	17 990	25			25			25	25			
NS-PT- 18010	17 990	55			55			50	50			
NS- PT-19350	19 630	55			55			50	50			
NS- PT-19350 - Revet. béton (bon)	19 630	60			60			60	50			
PP21_Vannes AML Caramède	19 669	60			52			52	52			
NS-PT- 19716 Site J7	19 815	60	3.652	1.04	52	5.716	1.2	52	52			
PP-22 Vanes. Robion (OR- 20922)	20 922	60			52			52	52			
NS-PT- 20972 Site J8	21 030	60	3.29	0.82	54	4.937	1.07	52	52			
NS-PT- 21319	21 319	65			60			60	60			
NS-PT- 21768	21 768	65			60			60	60			
NS-PT- 22389	22 400	60			60			60	60			
NS-Prise	22 403	65			80			70	70			
NS-Site J9	22 490	65	2.619	0.92	80	3.849	1.22	70	70			
PP25_Van.Amont (OR- 23038) - neuf	23 038	65			80			70	70			
NS-PP25 Aval - Revet. béton (bon)	23 038	60			60			60	60			
NS-PT- 23284_PP26 Pont	23 393	60			60			60	60			
NS-PT- 23284_PP26_Pont	23 393	55			45			50	50			
NS-PT- 23776 Site J10	23 730	55	2.783	1.11	45	3.838	1.41	50	50			
PT- 23784	23 784											

A partir des coefficients de Strickler retenus, les simulations ont été refaites et les hauteurs d'eau simulées ont été comparées aux hauteurs mesurées. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 5-4.

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

Tableau 5-4 : Vérification du calage

id	PM	Nom du site	Type revêtement	Etat	K retenu	1ère campagne de jaugeages				2e campagne de jaugeages			
						H mesurée (m)	H simulé (m)	Ecart (m)	Ecart %	H mesurée (m)	H simulé (m)	Ecart (m)	Ecart %
1	147	Prise de Mallemort	Trapèze béton	bon	52	0,90	0,92	-0,02	-2,44	1,27	1,24	0,02	1,73
2	5 750	La Roquette	Trapèze béton	bon	52	1,01	1,02	-0,01	-1,29	1,34	1,38	-0,04	-3,28
3	8 400	Prise Bel Hoste	Trapèze béton	bon	52	1,31	1,25	0,06	4,50	1,70	1,63	0,06	3,65
4	9 750	Amont D. Redortier	Trapèze béton	bon	52	0,78	0,78	-0,01	-1,15	1,10	1,09	0,00	0,36
5	12 995	SP Valloncourt	Trapèze béton	moyen	50	1,07	1,12	-0,05	-5,14	1,42	1,39	0,03	1,90
6	17 600	Taillade	Trapèze Terre	dégradé	25	1,40	1,40	0,00	0,00	1,41	1,45	-0,04	-2,91
7	19 815	Caramède	Trapèze béton	bon	52	1,04	1,07	-0,03	-3,08	1,20	1,16	0,03	2,83
8	21 030	D. Robion	Dalle béton	bon	52	0,82	0,85	-0,04	-4,39	1,07	1,07	-0,01	-0,84
9	22 490	Pr. Tour de Sabran	Trapèze béton	neuf	70	0,92	0,95	-0,03	-3,70	1,22	1,22	0,00	-0,08
10	23 730	Fin canal	Trapèze béton	moyen	50	1,11	0,96	0,14	12,97	1,41	1,38	0,02	1,70

Les écarts constatés sont inférieurs à 5 % à l'exception de deux valeurs qui sont :

- **site 5 (Valloncourt)**, où l'écart est de -5.14%. Cet écart faible peut s'expliquer par la position du point de mesure qui est localisé dans le modèle avec une petite marge d'erreur potentielle.
- **site 10 (Fin du canal)**, où la hauteur d'eau mesurée est 14 cm au-dessus de la hauteur d'eau calculée. L'écart est grand, mais un bon calage a été obtenu lors du 2^{ème} jaugeage. Cet écart ponctuel peut s'expliquer par la position du point de mesure, effet cumulé avec l'incertitude de mesure ou des données d'entrée sur les batardeaux ou les vannes le jour des jaugeages.

Au vu des résultats du Tableau 5-4, le modèle a été validé.

5.6 Exploitation du modèle hydraulique

Le diagnostic des conditions de fonctionnement actuel du canal a été fait à partir du modèle hydraulique calé et validé. Au total, 10 simulations ont été réalisées :

- Simulation C01 : simulation permettant d'estimer la capacité hydraulique du canal ;
- Simulation T01 : simulation permettant d'estimer les temps de transfert.
- Deux simulations en période « normales » :
 - Simulation N01 : Période de pointe des irrigations : juin, juillet, août, septembre ;
 - Simulation N02 : Période hors pointe : février, mars, avril, mai, octobre et novembre.
- Des simulations dites « de crise » :
 - Episodes pluvieux (5 simulations) ;
 - Périodes de restrictions des prélèvements (1 simulation).

5.6.1 Estimation de la capacité hydraulique du canal (simulation C01)

L'objectif de la simulation est d'estimer la capacité hydraulique de chaque tronçon du canal. Pour les besoins de l'étude, le canal a été scindé en treize (13) biefs en fonction de la position des principaux ouvrages de régulation.

5.6.1.1 Hypothèses retenues et méthode

La capacité maximum de transport du canal a été déterminée avec le logiciel SIC à partir du modèle calé et validé. La simulation a été réalisée à partir des hypothèses suivantes:

- **Mode de calcul** : Simulation en régime permanent.
- **Consigne de réglage des ouvrages**:
 - Batardeaux complètement retirés ;
 - Vannes en ligne ouvertes ;
 - Vanne AMIL en fonctionnement normal.
- **Revanche minimum acceptable**: 20 cm.

La capacité de chaque bief est estimée de manière itérative selon les étapes suivantes :

- le débit est injecté dans le bief situé le plus en aval (fin du canal) jusqu'à obtenir la valeur cible de revanche (20 cm) ;
- une fois la capacité du bief situé le plus en aval est connue, l'étape précédente est réitérée au bief juste en amont. La même procédure est réalisée jusqu'au premier bief (en tête du canal).

5.6.1.2 Résultats

Les résultats des simulations montrent que la capacité du canal varie d'environ 20 m³/s en tête du canal à 7,5 m³/s à l'extrémité aval. La ligne d'eau correspondante au débit maximum respecte globalement la revanche minimale de 20 cm (Figure 5-7).

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

Le Tableau 5-5 indique la capacité hydraulique du canal par bief hydraulique depuis la prise en tête jusqu'à l'extrémité aval du canal.

Tableau 5-5 : Capacité hydraulique du canal par bief

Numéro du bief	Pm amont	Pm aval	Description	Capacité hydraulique (m ³ /s)
1	0	5 484	Prise Mallemort - Décharge de la Roquette	20
2	5 484	8 264	Décharge de la Roquette - Bel Hoste	20
3	8 264	10 664	Bel Hoste - Décharge de Redortier	12
4	10 664	13 750	Décharge de Redortier - Baraillère	12
5	13 750	15 124	Baraillère - Vidauque	12
6	15 124	17 415	Vidauque - Vannes des Taillades	12
7	17 415	17 990	Vannes des Taillades - batardeaux des Taillades	10
8	17 990	19 669	Batardeaux des Taillades - Caramède	10
9	19 669	20 922	Caramède - Décharge de Robion	10
10	20 922	21 770	Décharge Robion - Moutillon	9
11	21 770	23 038	Moutillon - Ronflon	9
12	23 038	23 635	Ronflon - Arrousaire	9
13	23 635	23 784	Arrousaire - Fin du canal	7,5

La capacité hydraulique du canal est suffisante pour transporter la dotation des canaux membres. Par ailleurs, il convient de souligner que très ponctuellement l'hypothèse de revanche minimum n'a pas été respectée pour certaines sections (Tableau 5-6).

Tableau 5-6: Simulation C01 - Localisation des sections dont la revanche est inférieure à 20 cm

Entre	Et	Lieu-dit	Revanche approximative (cm)
PM amont	PM aval		
1 250	1 300	Batardeau ASA de Mérindol	15
5 400	5 500	En amont de la décharge de la Roquette	12
10 050	10 200	En aval de la décharge de Redortier	12
21 770	22 200	En aval des batardeaux de Moutillon	14
22 400	22 500	En amont des vannes de Ronflon	15

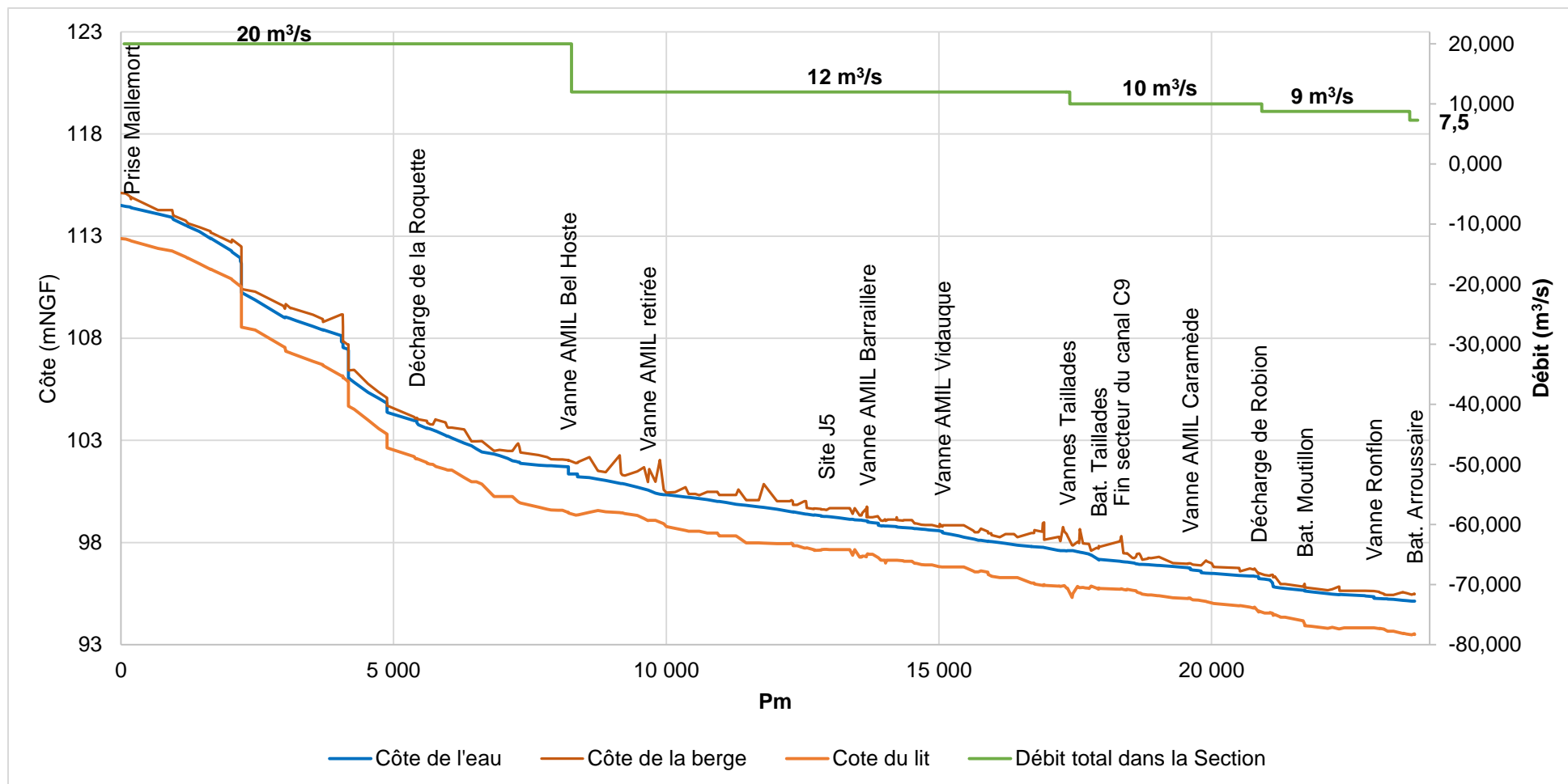


Figure 5-7: Profil en long du canal et ligne d'eau obtenue- Capacité du canal de l'Union

5.6.2 Estimation du temps de transfert (simulation T01)

L'objectif de la simulation est d'estimer les temps de transfert le long du canal. Le temps de transfert ou encore retard hydraulique est le temps de passage d'un état à un autre dans le canal.

Dans la présente étude, le temps de transfert pour les différents tronçons a été déterminé à la suite d'une simulation en régime transitoire pour un passage d'une situation dite hors pointe à une situation de pointe.

Pour chaque bief considéré, la durée de montée du débit à la section aval a été évaluée. La durée de montée du débit déterminée à cette section est ainsi égale au temps de transfert de ce bief. Par exemple, pour une variation du débit en tête de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ à $13 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit correspondant à la situation de pointe est atteint au bout de 1h30 mn au niveau de la Roquette. Ainsi, le temps de transfert de la prise de Mallemort à la Roquette est égal à 1h30 mn.

Les temps de transfert pour l'ensemble des biefs sont présentés dans Tableau 5-7.

Tableau 5-7: Temps de transfert par bief

Numéro du bief	PM amont	PM aval	Description	Temps de transfert entre PM amont et PM aval	Temps de transfert entre la prise Mallemort (PM 0) et PM aval
1	0	5 455	De la prise de Mallemort à la Roquette	1h30	1h30
2	5 455	8 263	De la Roquette à Bel Hoste	30mn	2h
3 à 6	8 263	17 415	De Bel Hoste aux Taillades	1h30	3h30
7 à 9	17 415	20 920	Des Taillades à Robion	1h30	5h
10 à 13	20 920	23 784	De Robion à la fin du canal	1h30	6h30

5.6.3 Simulation en période Normale – Pointe (Simulation N01)

La simulation du fonctionnement du canal en période normale – pointe a pour objectif :

- De vérifier que les prises sont correctement alimentées (respect des consignes de débits et niveaux de chaque prise) ;
- De diagnostiquer les impacts de variations de débits prélevés sur la ligne d'eau ou les débits en aval et les contraintes de gestion qui en découlent ;
- D'estimer les économies d'eau potentielles sur la période simulée.

5.6.3.1 Hypothèses retenues

L'étude du fonctionnement du canal en période de pointe a été faite à partir des hypothèses décrites ci-dessous :

- **Mode de calcul** : Simulation en régime transitoire sur 3 jours centrés sur le jour de pointe de l'année sèche (2019).
- **Période simulée** : 5, 6 et 7 juillet 2019.
- **Consigne de débit** : Hydrogrammes de prélèvement réel pour toutes prises sauf pour les filiales et pompes privés du Cabedan Neuf. Pour ces filiales privées, les débits ont été définis à partir des débits nominaux des prises.
- **Consigne de niveau** : Les consignes de niveau sont connues pour toutes les prises sauf les filiales et pompes privés du Cabedan Neuf. Pour ces filiales privées, la consigne retenue après concertation est 60 cm de charge hydraulique sur le radier des prises.
- **Réglage des ouvrages de régulation** : les ouvrages sont réglés selon les modalités d'exploitation en période de pointe (cf. section 4.3).

5.6.3.2 Résultats

Les résultats de la simulation sont présentés ci-après en fonction des objectifs de la simulation.

5.6.3.2.1 Vérification des côtes d'alimentation des prises

Les consignes de réglage des ouvrages de régulation en période de pointe permettent généralement de maintenir un plan d'eau suffisant afin de respecter des consignes de niveau.

Le Tableau 5-8 présente l'analyse de la vérification des côtes d'alimentation des prises.

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

Tableau 5-8: Vérification de l'alimentation des prises – simulation N01

Structure	Nom	PM	Type	Niveau d'eau dans le canal de l'Union		Charge hydraulique sur radier de prise	
				Consigne (mNGF)	Niveau min simulé (mNGF)	Consigne (m)	Charge min simulée (m)
ASA du canal de Mérindol	Grand Menier	1 288	Martelière syndicale	selon réglage des batardeaux	113,37	-	-
	Prévot	1 733	Martelière syndicale		112,66		-
ASA du canal Saint Julien	Bel Hoste	8 263	Module à masques	Vanne AMIL	101,69	-	-
ASCO du canal Cabedan neuf			Martelière syndicale	pas de consigne	-	0,60	1.35
			Station de Pompage	pas de consigne	-	-	-
			Martelière privée	pas de consigne	-	0,60	0,30
SCP	SCP	20 856	Station de pompage	96,04	96,12	-	-
ASCO du canal de l'Isle	Caramède	19 628	Module à masques	96,77	96,73	-	-
	Moutillon	21 765	Station de pompage	pas de consigne	-	-	-
	Tour de Sabran	22 410	Martelière syndicale	94,72	94,98	-	-
	L'Arrousaire	23 624	Station de pompage	pas de consigne	-	-	-
ASA du canal Carpentras	Carpentras	23 784	Gravitaire	94,83*	94,6	-	-

* consigne de niveau à 5 km en aval de fin du canal

Le tableau précédent montre que toutes les prises sont alimentées correctement à l'exception de certaines prises martelières privées du canal de Cabedan-Neuf.

Les problèmes d'alimentation sont localisés entre le PM 11 000 et le PM 15 000 (entre la décharge Redortier et Vidauque). Le Tableau 5-9 donne le détail sur l'alimentation des prises situées dans ce tronçon.

Tableau 5-9: Vérification de l'alimentation des prises privées entre le PM 11 000 et 15 000 - simulation N01

Code	PM	Rive	Côte radier (m NGF)	Côte consigne (m NGF)	Côte minimum simulée (m NGF)	Différence (m)	Charge sur radier	Problème d'alimentation ?
PR-11131	11 131	Gauche	98.71	99.31	99.61	0.30	0.90	Non
PR-11277	11 277	Gauche	98.68	99.28	99.61	0.33	0.93	Non
PR-11401	11 401	Gauche	98.65	99.25	99.51	0.26	0.86	Non
PR-11447	11 447	Droite	98.77	99.37	99.49	0.12	0.72	Non
PR-11730	11 730	Gauche	98.87	99.47	99.43	-0.04	0.56	Oui
PR-12760	12 760	Droite	98.86	99.46	99.16	-0.30	0.30	Oui
PR-12926	12 926	Gauche	98.41	99.01	99.13	0.12	0.72	Non
PR-13841	13 841	Droite	98.1	98.7	98.74	0.04	0.64	Non
PR-13892	13 892	Droite	98.06	98.66	98.72	0.06	0.66	Non
PR-14116	14 116	Droite	98.16	98.76	98.63	-0.13	0.47	Oui
PR-14304	14 304	Gauche	98	98.6	98.58	-0.02	0.58	Oui
PR-14827	14 827	Droite	97.75	98.35	98.54	0.19	0.79	Non

Les différences sont globalement faibles à l'exception des deux prises situées au PM 12 760 et au PM 14 116. Toutefois, ces deux prises ont des charges hydrauliques minimales de 30 cm sur le radier. Pour le stade de diagnostic, nous pouvons considérer **qu'en période de pointe on n'a pas de problème d'alimentation.**

5.6.3.2.2 Diagnostic des impacts liés à la variation des débits prélevés

La variation des débits prélevés a deux impacts :

- Fluctuation des tirants d'eau dans le canal ;
- Fluctuation des débits dans le canal et particulièrement en aval.

Fluctuation des tirants d'eau dans le canal

Les variations des débits prélevés entraînent des fluctuations de la ligne d'eau. La Figure 5-8 présente la variation du tirant d'eau à différents points du canal.

On observe :

- une faible variation de tirant d'eau dans la journée au niveau de Valloncourt et la fin du canal Cabedan-Neuf
- une variation modérée au niveau de Robion (autour de 5 cm) ;
- une fluctuation plus importante en aval du canal (environ 10 cm).

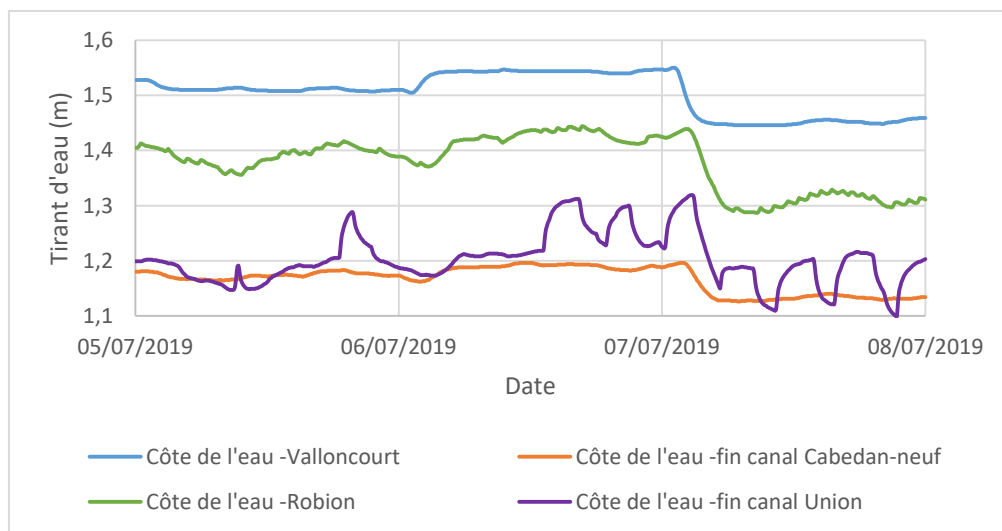


Figure 5-8: Variation du tirant d'eau dans le temps – période de pointe (simulation N01)

Fluctuation de débits dans le canal

La simulation en régime transitoire a permis d'apprécier la fluctuation des débits dans le canal. La Figure 5-9 montre la variation de débit à Valloncourt (PM 12 896), à la fin du canal Cabedan Neuf (PM 18 405), à Robion (PM 20 922) et à la fin du canal de l'Union (PM 23 784).

On observe :

- une faible variation de débit dans la journée au niveau de Valloncourt et de la fin du canal Cabedan Neuf ;
- une variation modérée du débit au niveau de Robion (autour de 200 l/s) ;
- une fluctuation plus importante en aval du canal (environ 630 l/s).

Les fluctuations observées sont dues à l'arrêt et au démarrage des stations de pompage de Moutillon, l'Arrousaire et de la SCP. En effet, sur la période simulée :

- le débit à la station de pompage de l'Arrousaire a varié d'environ 20 l/s à 600 l/s ;

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

- le débit à Moutillon a varié d'environ 20 l/s à 140 l/s ;
- le débit à la station de pompage de la SCP a varié d'environ 10 l/s à 300 l/s.

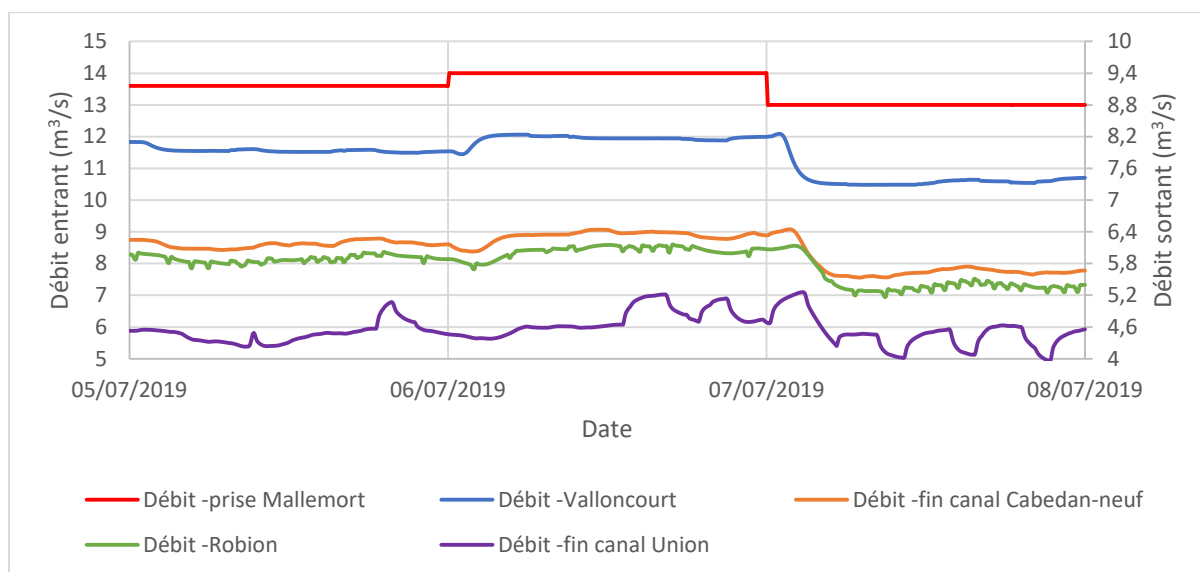


Figure 5-9: Variation du débit dans le temps - période de pointe (simulation N01)

Pour un débit en tête donné, les fluctuations de débit sont relativement faibles le long du canal à l'exception de la fin de canal.

Les variations de niveaux et débits présentées sont des variations théoriques dans la mesure où les débits déchargés à Robion ne sont pas intégrés dans le modèle.

Le tableau suivant indique les différences entre :

- l'amplitude maximale de variation de débit théorique simulée en fin de canal de l'union
- l'amplitude maximale de variation de débit selon les données de mesures à 5 km en aval du canal de l'Union.

Tableau 5-10 : Comparaison des fluctuations des débits simulés et mesurés en fin de canal – simulation N01

Du	Au	Amplitude maximum de variation de débit selon la simulation (l/s)	Amplitude maximum de variation de débit selon données mesurées 5 km en aval de la fin du canal de l'Union (l/s)	Différence (l/s)
05/07/2019	06/07/2019	500	450	50
06/07/2019	07/07/2019	600	400	200
07/07/2019	08/07/2019	600	350	250

Note : On considère que dans les 5 premiers kilomètres du canal de Carpentras il n'y a pas de prélèvement.

Ces chiffres traduisent que la régulation effectuée par le conducteur de canal (au niveau de la décharge de Robion) permet de limiter les fluctuations de débits.

5.6.3.2.3 Estimation du débit technique

Le débit technique correspond au débit supplémentaire à rajouter en tête par rapport aux besoins théoriques (débits prélevés) afin :

- D'assurer un niveau d'eau dans le canal permettant d'alimenter correctement les prises ;
- De compenser les fluctuations de débits pour assurer le débit minimal requis en fin de canal.

Dans la mesure où les prises sont correctement alimentées, nous considérons qu'il n'y a pas de débit technique nécessaire pour l'alimentation des prises.

La Figure 5-10 présente la variation de débit à l'entrée du canal Carpentras et les débits de consignes minimum et maximum à respecter avant l'ajout du débit technique.

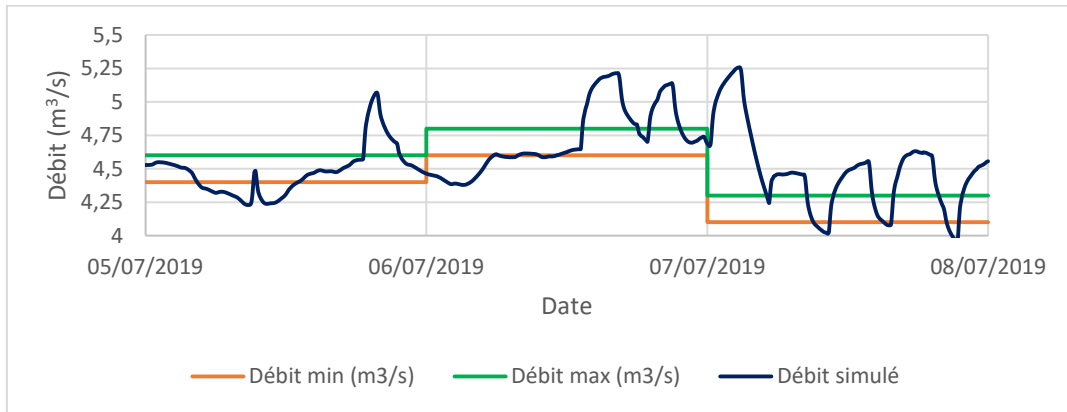


Figure 5-10: Variation du débit et consignes de débit du canal Carpentras–Sans débit technique-SC-N01

Pour respecter le débit minimal demandé lors des 3 jours de simulations il faut :

- Ajouter un débit d'environ 200l/s les 05 et 06 juillet 2019 ;
- Ajouter un débit d'environ 150 l/s le 07 juillet 2019.

La Figure 5-11 présente le débit théorique en prenant en compte ces ajustements.

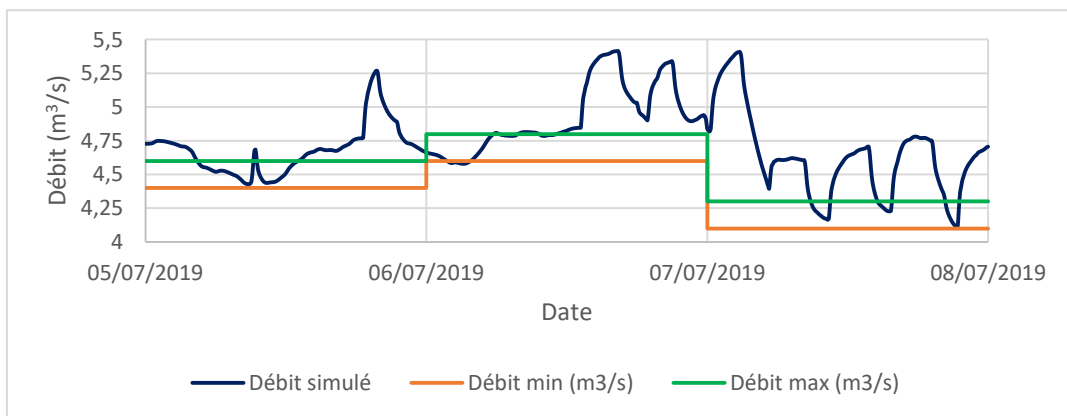


Figure 5-11: Variation du débit et consignes de débit du canal Carpentras–Avec débit technique-SC-N01

5.6.3.2.4 Économie d'eau potentielle sur la période simulée

Le volume économisable est estimé à partir de la Figure 5-11. Il correspond à l'excédent de débit au-delà du débit maximum désiré.

Le Tableau 5-11 indique le volume économisable sur les 3 jours de simulation et une interpolation pour estimer le volume économisable sur toute la période de pointe (du 1^{er} juin au 30 septembre).

L'interpolation a été faite en considérant que la période simulée est représentative d'un jour moyen pour la période considérée. Cette hypothèse n'est malheureusement pas vérifiable mais permet de donner un ordre de grandeur du volume économisable pour la période considérée.

Tableau 5-11: Volume économisable en période de pointe - simulation N01

	Valeur	Unité
Volume maximum économisable sur 3 jours	43 000	m ³
Volume moyen journalier	14 000	m ³ /j
Nombre de jour - pointe (1er juin au 30 septembre)	122	Jours
Volume maximum économisable total selon la périodicité	1 708 000	m³

5.6.4 Simulation en période Normale – Hors Pointe (Simulation N02)

La simulation du fonctionnement du canal en période normale – hors pointe a pour objectif :

- De vérifier que les prises sont correctement alimentées (respect des consignes de débits et niveaux de chaque prise) ;
- De diagnostiquer les impacts de variations de débits prélevés sur la ligne d'eau ou les débits en aval et les contraintes de gestion qui en découlent ;
- D'estimer les économies d'eau potentielles sur la période simulée.

5.6.4.1 Hypothèses retenues

L'étude du fonctionnement du canal en période hors pointe a été faite à partir des hypothèses décrites ci-dessous :

- **Mode de calcul** : Simulation en régime transitoire sur 3 jours centrés sur le jour hors pointe de l'année humide (2018).
- **Période simulée** : 20, 21 et 22 mars 2018.
- **Consigne de débit** : Hydrogrammes de prélèvement réel pour toutes prises sauf pour les filiales et pompages privés du Cabedan Neuf. Pour ces filiales privées, les débits ont été définis à partir des débits nominaux des prises.
- **Consigne de niveau** : Les consignes de niveau sont connues pour toutes les prises sauf les filiales et pompages privés du Cabedan Neuf. Pour ces filiales privées, la consigne retenue après concertation est 40 cm de charge hydraulique sur le radier des prises.
- **Réglage des ouvrages de régulation** : les ouvrages sont réglés selon les modalités d'exploitation en période de pointe (cf. section 4.3).

5.6.4.2 Résultats

Les résultats de la simulation sont présentés ci-après en fonction des objectifs de la simulation.

5.6.4.2.1 Vérification des côtes d'alimentation des prises

Les consignes de réglage des ouvrages de régulation permettent généralement de maintenir un plan d'eau suffisant afin de respecter des consignes de niveau.

Le Tableau 5-12 montre l'analyse de la vérification des côtes d'alimentation des prises.

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

Tableau 5-12: Vérification de l'alimentation des prises – simulation N02

Structure	Nom	PM	Type	Niveau d'eau dans le canal de l'Union		Charge hydraulique sur radier de prise	
				Consigne (mNGF)	Niveau min simulé (mNGF)	Consigne (m)	Charge min simulée (m)
ASA du canal de Mérindol	Grand Menier	1 288	Martelière syndicale	selon réglage des batardeaux	113,13	pas d'info	-
	Prévoit	1 733	Martelière syndicale		112,47		-
ASA du canal Saint Julien	Bel Hoste	8 263	Module à masques	Vanne AMIL	101,67	-	-
ASCO du canal Cabedan neuf			Martelière syndicale	pas de consigne		0,3	1.20
			Station de Pompage	pas de consigne	-	-	-
			Martelière privée	pas de consigne		0,4	0,14
SCP	SCP	20 856	Station de pompage	96,04	96,14	-	-
ASCO du canal de l'Isle	Caramède	19 628	Module à masques	96,77	96,69	-	-
	Mouillon	21 765	Station de pompage	pas de consigne	-	-	-
	Tour de Sabran	22 410	Martelière syndicale	94,57	94,85	-	-
	L'Arrousaire	23 624	Station de pompage	pas de consigne	-	-	-
ASA du canal Carpentras	Carpentras	23 784	Gravitaire	94,20*	94,04	-	-

* consigne de niveau à 5 km en aval de la fin du canal

Le tableau précédent montre que toutes les prises sont alimentées correctement à l'exception de certaines prises martelières privées du canal de Cabedan-Neuf.

Les problèmes d'alimentation sont localisés entre PM 11 000 et 15 000 (entre la décharge Redortier et Vidauque). Le Tableau 5-13 donne le détail sur l'alimentation des prises situées dans ce tronçon.

Tableau 5-13: Vérification de l'alimentation des prises privées entre le PM 11 000 et 15 000 - simulation N02

Code	PM	Rive	Côte radier (m NGF)	Côte consigne (m NGF)	Côte minimum simulée (m NGF)	Différence (m)	Charge sur radier	Problème d'alimentation ?
PR-11131	11 131	Gauche	98.71	99.11	99.16	0.05	0.45	Non
PR-11277	11 277	Gauche	98.68	99.08	99.12	0.04	0.44	Non
PR-11401	11 401	Gauche	98.65	99.05	99.11	0.06	0.46	Non
PR-11447	11 447	Droite	98.77	99.17	99.11	-0.06	0.34	Oui
PR-11730	11 730	Gauche	98.87	99.27	99.08	-0.19	0.21	Oui
PR-12760	12 760	Droite	98.86	99.26	99	-0.26	0.14	Oui
PR-12926	12 926	Gauche	98.41	98.81	99	0.19	0.59	Non
PR-13841	13 841	Droite	98.1	98.5	98.52	0.02	0.42	Non
PR-13892	13 892	Droite	98.06	98.46	98.52	0.06	0.46	Non
PR-14116	14 116	Droite	98.16	98.56	98.49	-0.07	0.33	Oui
PR-14304	14 304	Gauche	98	98.4	98.48	0.08	0.48	Non
PR-14827	14 827	Droite	97.75	98.15	98.47	0.32	0.72	Non

Les différences sont globalement faibles à l'exception des deux prises situées au PM 11 730 et PM 12 760. **En période hors pointe, on considère que ces deux prises ne sont pas correctement alimentées. Pour alimenter correctement les prises, il est nécessaire d'injecter un débit supplémentaire en tête du canal. Ce débit supplémentaire est appelé « débit technique ».**

5.6.4.2.2 Diagnostic des impacts liés à la variation des débits prélevés

La variation des débits prélevés a deux impacts :

- Fluctuation des débits dans le canal et particulièrement en aval ;
- Fluctuation des tirants d'eau dans le canal.

Fluctuation des tirants d'eau dans le canal

Les variations des débits prélevés entraînent des fluctuations de la ligne d'eau. La Figure 5-12 présente la variation du tirant d'eau à différents points du canal.

On observe :

- une faible variation de tirant d'eau dans la journée au niveau de Valloncourt et à la fin du canal Cabedan Neuf
- une variation modérée au niveau de Robion (autour de 4 cm) ;
- une fluctuation plus importante en aval du canal (environ 10 cm).

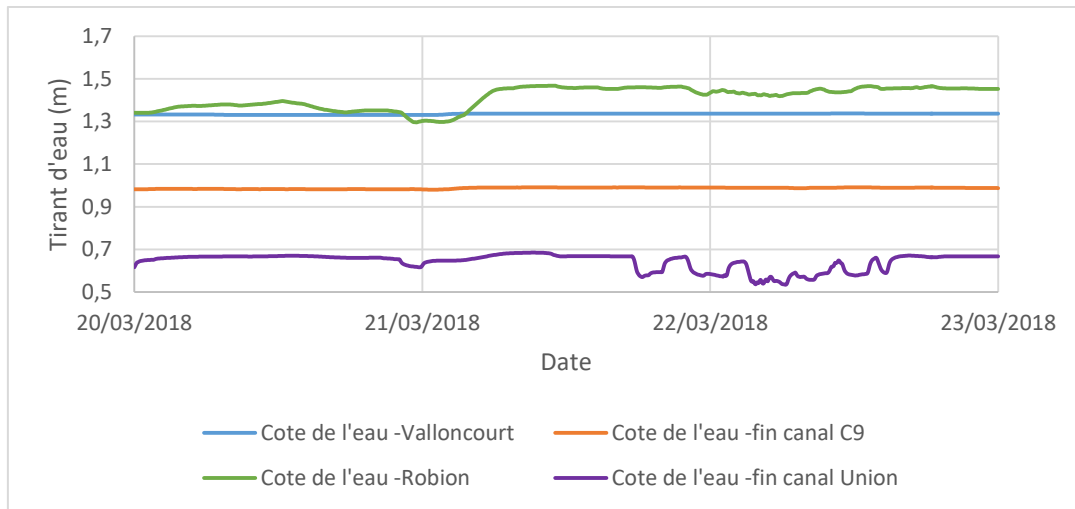


Figure 5-12: Variation du tirant d'eau dans le temps - Période hors pointe (simulation N02)

Fluctuation de débits dans le canal

La simulation en régime transitoire a permis d'apprécier la fluctuation des débits dans le canal. La Figure 5-13 montre la variation de débit à Valloncourt (PM 12 896), à la fin du canal Cabedan Neuf (PM 18 405), à Robion (PM 20 922) et à la fin du canal de l'Union (PM 23 784).

On observe :

- une faible variation de débit dans la journée au niveau de Valloncourt et à la fin du canal Cabedan Neuf ;
- une variation modérée du débit au niveau de Robion (autour de 200 l/s) ;
- une fluctuation plus importante en aval du canal (environ 500 l/s).

Les fluctuations observées sont dues à l'arrêt et au démarrage des stations de pompage de Moutillon, l'Arrousaire et de la SCP. Sur la période simulée :

- le débit à la station de pompage de l'Arrousaire a varié d'environ 10 l/s à 500 l/s ;

5. MODELISATION HYDRAULIQUE

- le débit à Moutillon a varié d'environ de 0 à 80 l/s ;
- le débit à la station de pompage de la SCP a varié d'environ 10 l/s à 200 l/s.

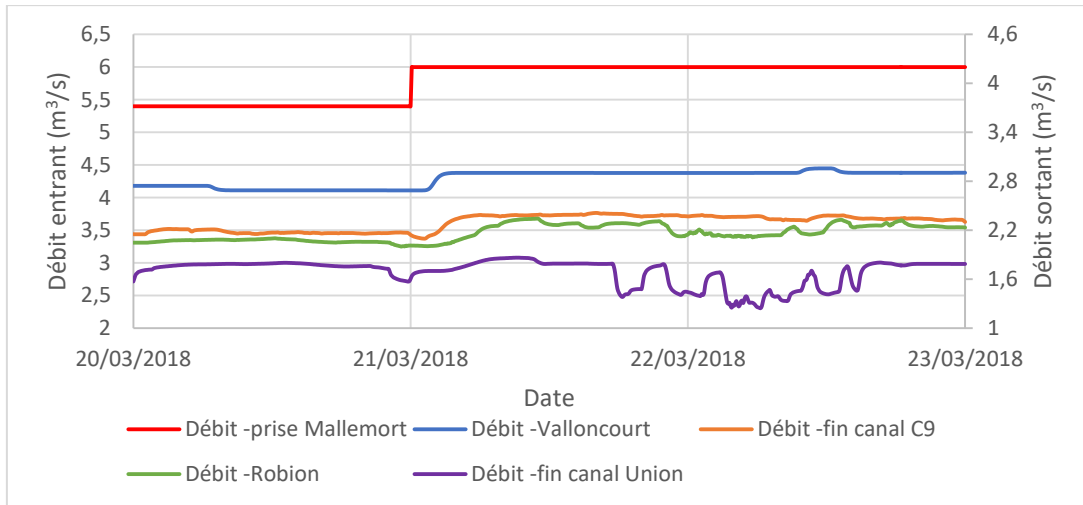


Figure 5-13: Variation du débit dans le temps - Période hors pointe (simulation N02)

Pour un débit en tête donné, les fluctuations de débit sont relativement faibles le long du canal à l'exception de la fin de canal

Les variations de niveaux et débits présentées sont des variations théoriques dans la mesure où les débits déchargés à Robion ne sont pas intégrés dans le modèle.

Le tableau suivant indique les différences entre :

- l'amplitude maximale de variation de débit théorique simulée en fin de canal de l'union ;
- l'amplitude maximale de variation de débit selon les données de mesures à 5 km en aval du canal de l'Union.

Tableau 5-14 : Comparaison des fluctuations des débits simulés et mesurés en fin de canal – simulation N02

Du	Au	Amplitude maximum de variation de débit selon simulation (l/s)	Amplitude maximum de variation de débit selon données mesurées 5 km en aval de la fin du canal de l'Union (l/s)	Différence (l/s)
20/03/2018	21/03/2018	250	120	130
21/03/2018	22/03/2018	450	200	250
22/03/2018	23/03/2018	500	100	400

Note : on considère que dans les 5 premiers km du canal de Carpentras il n'y a pas de prélèvement.

Ces chiffres traduisent que la régulation effectuée par le conducteur de canal (au niveau de la décharge de Robion) permet de limiter les fluctuations de débits.

5.6.4.2.3 Estimation du débit technique

Le débit technique correspond au débit supplémentaire à rajouter en tête par rapport aux besoins théoriques (débits prélevés) afin :

- D'assurer un niveau d'eau dans le canal permettant d'alimenter correctement les prises ;
- De compenser les fluctuations de débits pour assurer le débit minimal requis en fin de canal.

Pour l'alimentation des prises, le débit technique injecté dans le modèle est indiqué dans le Tableau 5-15.

Tableau 5-15 : Estimation des débits techniques – Simulation N02

Date	Débit technique (m ³ /s)
20/03/2018	1.1
21/03/2018	0.5
22/03/2018	0.5

L'injection de ce débit technique permet d'obtenir une charge hydraulique sur le radier d'au moins 40 cm pour les prises situées entre le PM 11 447 et 14 1116 à l'exception des prises suivantes :

- 30 cm à la prise située au PM 11 730
- 16 cm à la prise située au PM 12 760

Pour assurer la charge 30 cm au PM 12 760 il serait nécessaire d'injecter un débit technique d'environ : 4 500 l/s. Ce débit étant important pour seulement une seule prise, elle est donc exclue de l'analyse.

5.6.4.2.4 Économie d'eau potentielle sur la période simulée

Le Tableau 5-16 indique le volume économisable sur les 3 jours de simulation et la période hors pointe (du 14 février au 31 mai et du 01 octobre au 30 novembre).

L'interpolation a été faite en considérant que la période simulée est représentative d'un jour moyen pour la période considérée. Cette hypothèse n'est malheureusement pas vérifiable mais permet de donner un ordre de grandeur du volume économisable pour la période considérée

Tableau 5-16: Volume économisable en période de pointe - simulation N02

	Valeur	Unité
Volume maximum économisable sur 3 jours	181 500	m ³
Volume moyen journalier	60 500	m ³ /j
Nombre de jour - hors pointe (Du 14 février au 31 mai et du 01 octobre au 30 novembre)	168	Jours
Volume maximum économisable total selon la périodicité	10 164 000	m³

5.6.5 Simulations en période pluvieuse – Pointe (Simulations P01-A et P01-B)

L'objectif des simulations est d'estimer la capacité du canal à absorber un événement pluvieux intervenant en période de pointe pour des pluies de période de retour 10 ans (simulation P01-A) et 20 ans (simulation P01-B).

5.6.5.1 Hypothèses retenues

Les simulations P01-A et P01-B ont été réalisées à partir des hypothèses suivantes :

- **Mode de calcul** : Simulation en régime transitoire sur 3 jours.
- **Période simulée** : 5, 6 et 7 juillet 2019 (événement pluvieux intervenant le deuxième jour).
- **Consigne de débit** :
 - débits prélevés: Identique à la simulation N01 (période normale – pointe) ;
 - débits des bassins versants : hydrogrammes des bassins versants selon les périodes de retour.
- **Régulation des ouvrages** : A ce niveau, on distingue deux variantes :

Pour la variante 1, l'intervention sur les ouvrages se fait quand les eaux de ruissellement provenant des bassins versants arrivent dans le canal :

- Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne au début de l'arrivée du ruissellement des bassins versants ;
- Retrait des batardeaux au début de l'arrivée du ruissellement des bassins versants.

Pour la variante 2, l'arrivée des eaux de ruissellement provenant des bassins versants est anticipée en :

- Ouvrant en avance les vannes de décharge (La Roquette et Robion) et les vannes en ligne
- Retirant en avance les batardeaux.
- **Revanche minimale** : aucune revanche minimale acceptable n'est définie.

5.6.5.2 Résultats – simulation P01-A

5.6.5.2.1 Variante 1 : Intervention quand le ruissellement arrive dans le canal

La Figure 5-14 montre le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Les principales zones où l'on observe des débordements sont situées entre la Baraillère et Robion.

Pour estimer les volumes de débordement, des déversoirs latéraux fictifs ont été mis en place au niveau des biefs où les débordements sont observés.

Le Tableau 5-17 indique les volumes de débordement estimés par bief.

Tableau 5-17 : Volume de débordement par bief – simulation P01-A – Variante 1

Numéro du bief	PM amont	PM aval	Description	Débordement ?	Volume débordement (m ³)
1	0	5 454	De la prise Mallemort à la Roquette	Non	-
2	5 454	8 264	De la Roquette à Bel Hoste	Non	-
3	8 264	10 664	De Bel Hoste à Redortier	Non	-
4	10 664	13 750	De Redortier à la Baraillère	Non	-
5	13 750	15 124	De la Baraillère à Vidauque	Oui	11 000
6 à 9	15 124	20 922	De Vidauque à Robion	Oui	32 000
10 à 13	20 922	23 784	De Robion à la fin du canal	Non	-

5.6.5.2 Variante 2 : Anticipation de l'arrivée du ruissellement

Pour limiter les débordements, les consignes suivantes ont été modélisées :

- Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne entre la Baraillère et Robion **2 heures avant l'évènement**
- Retrait des batardeaux **2 heures avant l'évènement**.

La Figure 5-15 indique le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Pour cette simulation, malgré le fait que la ligne d'eau soit suffisamment haute au niveau de certains biefs, aucun débordement n'est observé le long du canal.

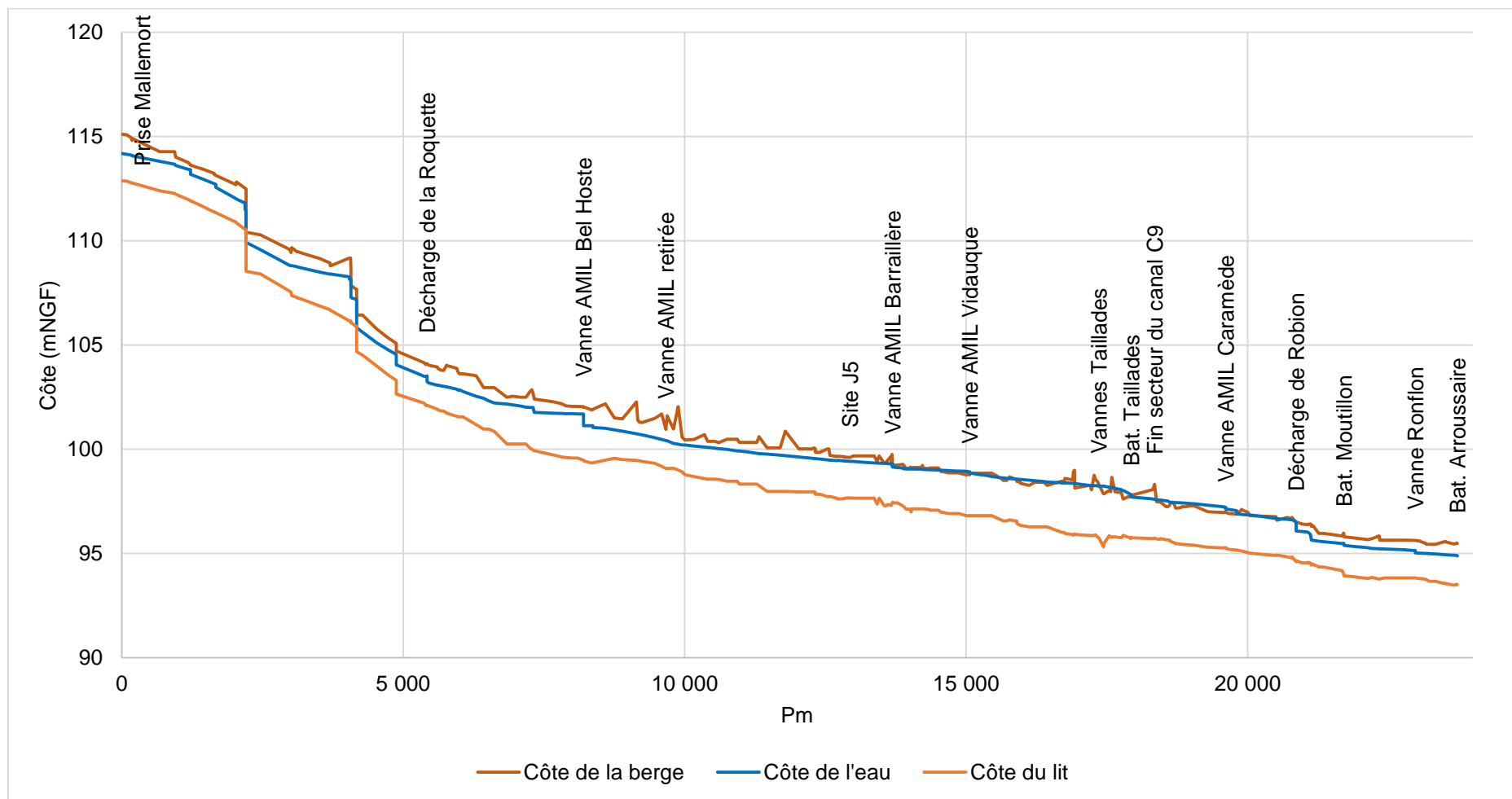


Figure 5-14: Profil en long du canal et ligne d'eau maximum obtenue - simulation P01-A – variante 1

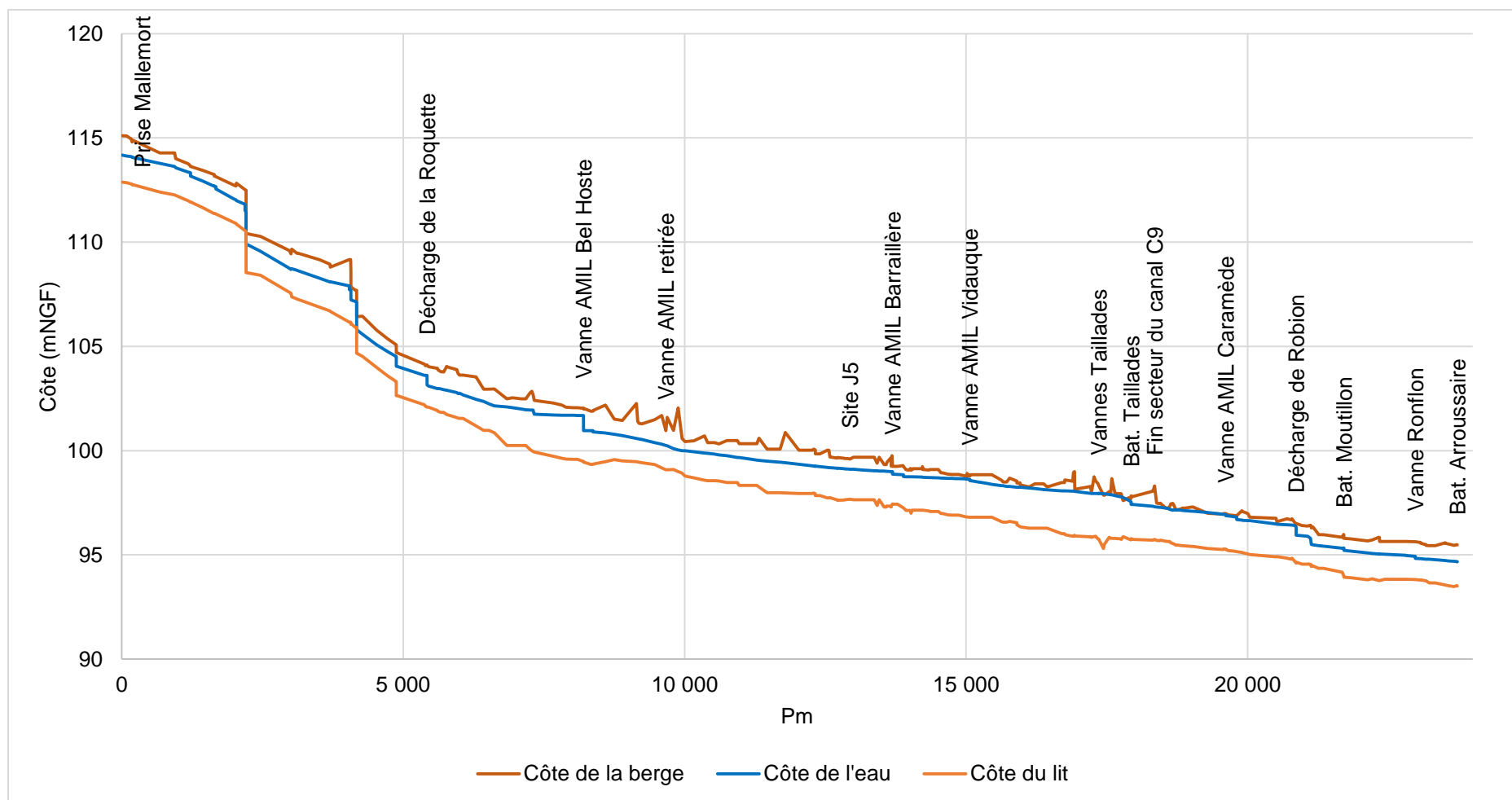


Figure 5-15 : Profil en long du canal et ligne d'eau maximum obtenue - simulation P01-A – variante 2

5.6.5.3 Résultats – simulation P01-B

5.6.5.3.1 Variante 1 : Intervention quand le ruissellement arrive dans le canal

Pour la période de retour 20 ans, au regard du fait que les débits et les volumes entrants dans le canal sont très importants, seule la variante 2 permettant de limiter les débordements a été étudiée.

5.6.5.3.2 Variante 2 : Anticipation de l'arrivée du ruissellement

Pour limiter les débordements du canal, les consignes suivantes ont été modélisées :

- Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne entre la Baraillère et Robion **10 à 11 heures** avant l'arrivée du ruissellement ;
- Retrait des batardeaux **10 à 11 heures** avant l'arrivée du ruissellement.

La Figure 5-16 indique le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Les principales zones où l'on observe des débordements sont situées entre la Baraillère et Robion.

Pour estimer les volumes de débordement, des déversoirs latéraux fictifs ont été mis en place au niveau des biefs où les débordements sont observés.

Le Tableau 5-18 indique les volumes de débordement estimés par bief.

Tableau 5-18: Volume de débordement par bief – simulation P01-B – Variante 2

Numéro du bief	PM amont	PM aval	Description	Débordement ?	Volume débordement (m ³)
1	0	5 454	De la prise Mallemort à la Roquette	Non	-
2	5 454	8 264	De la Roquette à Bel Hoste	Non	-
3	8 264	10 664	De Bel Hoste à Redortier	Non	-
4	10 664	13 750	De Redortier à la Baraillère	Non	-
5	13 750	15 124	De la Baraillère à Vidauque	Oui	10 300
6 à 9	15 124	20 922	De Vidauque à Robion	Oui	40 000
10 à 13	20 922	23 784	De Robion à la fin du canal	Non	-

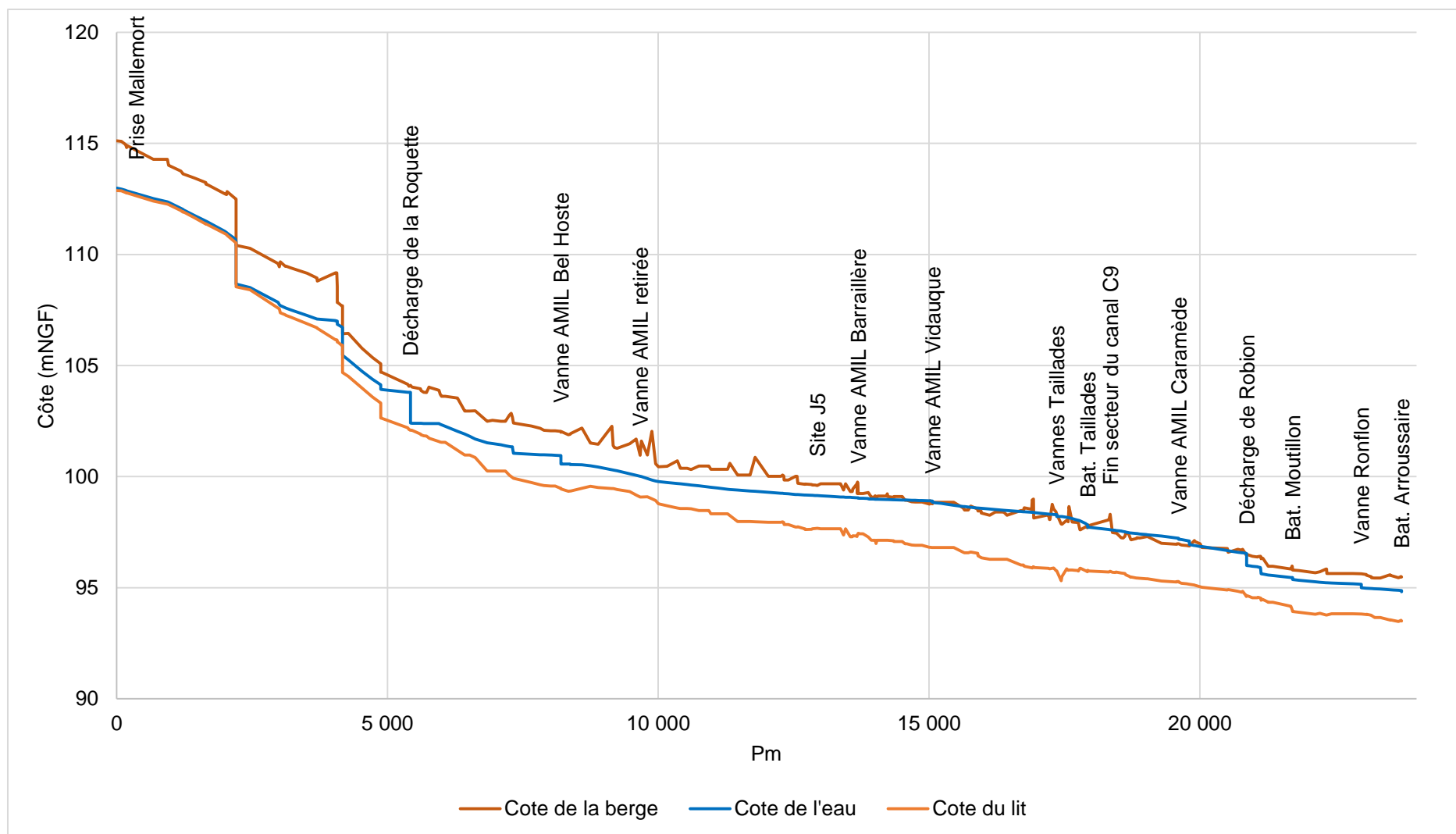


Figure 5-16 : Profil en long du canal et ligne d'eau maximum obtenue - simulation P01-B – variante 2

5.6.6 Simulation en période pluvieuse – hors Pointe (Simulations P02-A et P02-B)

L'objectif des simulations est d'estimer la capacité du canal à absorber un événement pluvieux intervenant en période hors pointe pour des pluies de période de retour 10 ans (simulation P02-A) et 20 ans (simulation P02-B).

5.6.6.1 Hypothèses retenues

Les simulations P02-A et P02-B ont été réalisées à partir des hypothèses suivantes :

- **Mode de calcul** : Simulation en régime transitoire sur 3 jours.
- **Période simulée** : 20, 21 et 22 mars 2018 (événement pluvieux intervenant le deuxième jour).
- **Consigne de débit** :
 - débits prélevés: Identique à la simulation N02 (période normale – hors pointe) ;
 - débits des bassins versants : hydrogrammes des bassins versants selon les périodes de retour.
- **Régulation des ouvrages** : A ce niveau, on distingue deux variantes :

Pour la variante 1, l'intervention sur les ouvrages se fait quand les eaux de ruissellement provenant des bassins versants arrivent dans le canal :

- Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne au début de l'arrivée du ruissellement des bassins versants ;
- Retrait des batardeaux au début de l'arrivée du ruissellement des bassins versants.

Pour la variante 2, l'arrivée des eaux de ruissellement provenant des bassins versants est anticipée en :

- Ouvrant en avance les vannes de décharge (La Roquette et Robion) et les vannes en ligne
- Retirant en avance les batardeaux.
- **Revanche minimale** : aucune revanche minimale acceptable n'est définie.

5.6.6.2 Résultats – simulation P02-A

5.6.6.2.1 Variante 1 : Intervention quand le ruissellement arrive dans le canal

La Figure 5-17 montre le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Les principales zones où l'on observe des débordements sont situées entre les Taillades et Robion.

Pour estimer les volumes de débordement, un déversoir latéral fictif a été mis en place au niveau des biefs où les débordements sont observés.

Le Tableau 5-19 montre les volumes de débordement estimés par bief.

Tableau 5-19: Volume de débordement par bief – simulation P02-A – Variante 1

Numéro du bief	PM amont	PM aval	Description	Débordement ?	Volume débordement (m ³)
1	0	5 454	De la prise Mallemort à la Roquette	Non	-
2	5 454	8 264	De la Roquette à Bel Hoste	Non	-
3	8 264	10 664	De Bel Hoste à Redortier	Non	-
4	10 664	13 750	De Redortier à la Baraillère	Non	-
5	13 750	15 124	De la Baraillère à Vidauque	Non	-
6	15 124	17 415	De Vidauque au Taillades	Non	-
7 à 9	17 415	20 922	Des Taillades à Robion	Oui	7 200
10 à 13	20 922	23 784	De Robion à la fin du canal	Non	-

5.6.6.2 Variante 2 : Anticipation de l'arrivée du ruissellement

Pour limiter les débordements, les consignes suivantes ont été modélisées :

- Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne situées entre la Baraillère et Robion environ **1h30** avant l'évènement
- Retrait des batardeaux environ **1h30 avant l'évènement** ;

La Figure 5-18 indique le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Pour cette simulation, malgré le fait que la ligne d'eau soit suffisamment haute au niveau de certains biefs, aucun débordement n'est observé le long du canal.

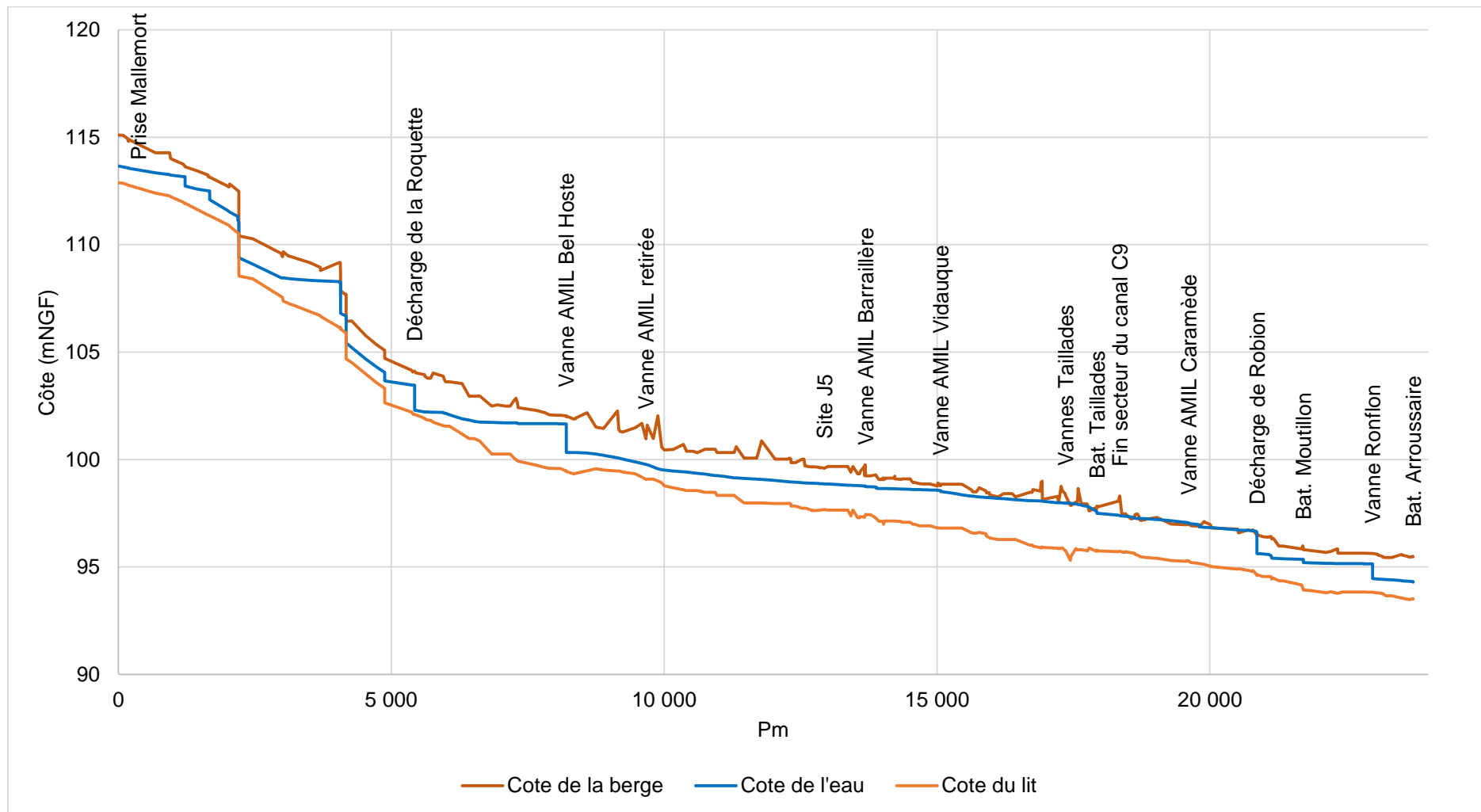


Figure 5-17: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P02-A – Variante 1

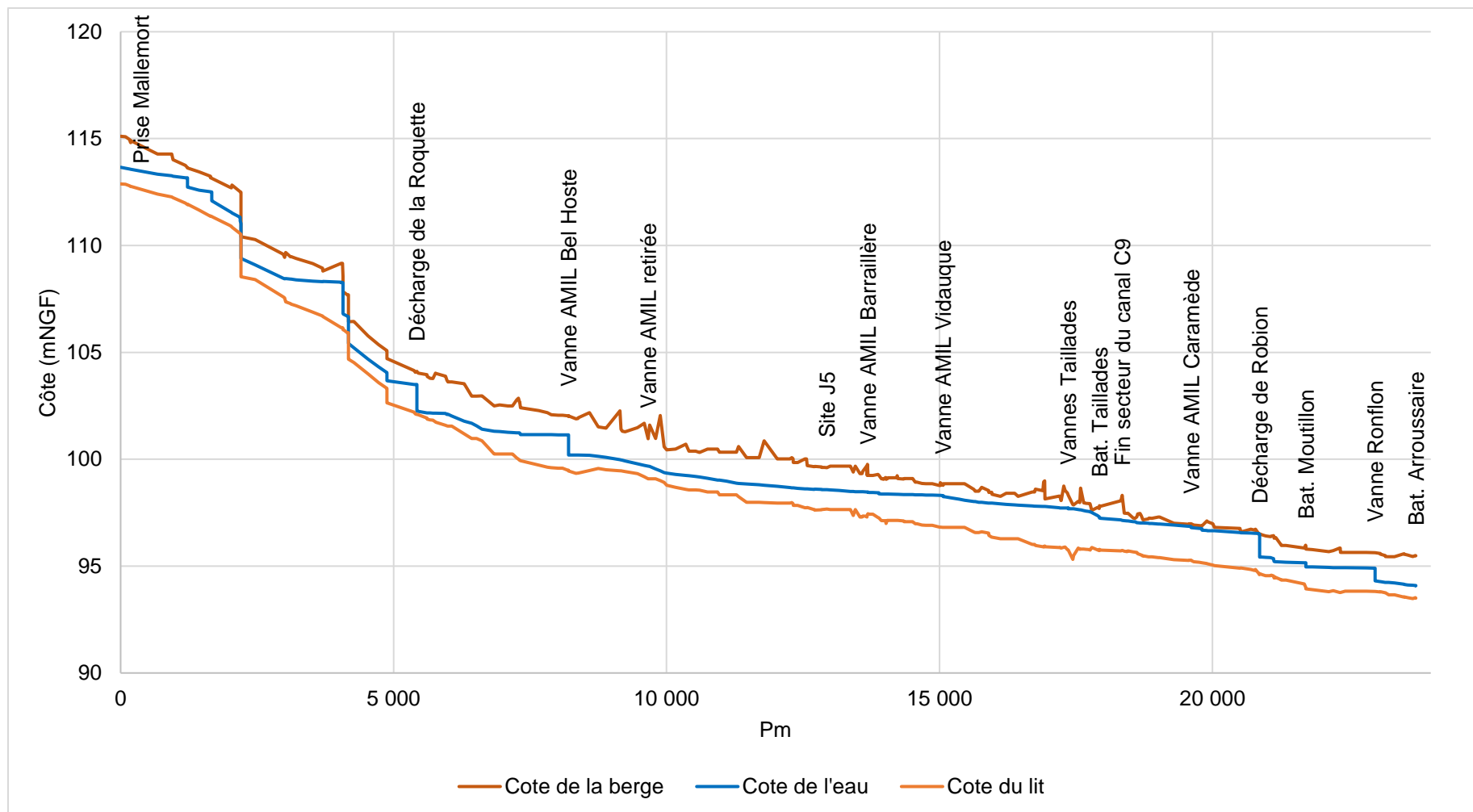


Figure 5-18: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P02-A - Variante 2

5.6.6.3 Résultats – simulation P02-B (période de retour 20 ans)

5.6.6.3.1 Variante 1 : Intervention quand le ruissellement arrive dans le canal

Pour la période de retour 20 ans, au regard du fait que les débits et les volumes entrants dans le canal sont très importants, seule la variante 2 permettant de limiter les débordements a été étudiée.

5.6.6.3.2 Variante 2 : Anticipation de l'arrivée du ruissellement

Pour limiter les débordements, les consignes suivantes ont été modélisées :

- Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne situées entre la Baraillère et Robion **08 à 09 heures** avant l'arrivée du ruissellement;
- Retrait des batardeaux **08 à 09 heures** avant l'arrivée du ruissellement.

La Figure 5-19 montre le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Les principales zones où l'on observe des débordements sont situées entre la Baraillère et Robion.

Pour estimer les volumes de débordement, des déversoirs latéraux fictifs ont été mis en place au niveau des biefs où les débordements sont observés.

Le Tableau 5-20 suivant indique les volumes de débordement estimés par bief.

Tableau 5-20: Volume de débordement par bief – simulation P01-B – Variante 2

Numéro du bief	PM amont	PM aval	Description	Débordement ?	Volume débordement (m ³)
1	0	5 454	De la prise Mallemort à la Roquette	Non	-
2	5 454	8 264	De la Roquette à Bel Hoste	Non	-
3	8 264	10 664	De Bel Hoste à Redortier	Non	-
4	10 664	13 750	De Redortier à la Baraillère	Non	-
5	13 750	15 124	De la Baraillère à Vidauque	Oui	18 000
6 à 9	15 124	20 922	De Vidauque à Robion	Oui	44 000
10 à 13	20 922	23 784	De Robion à la fin du canal	Non	-

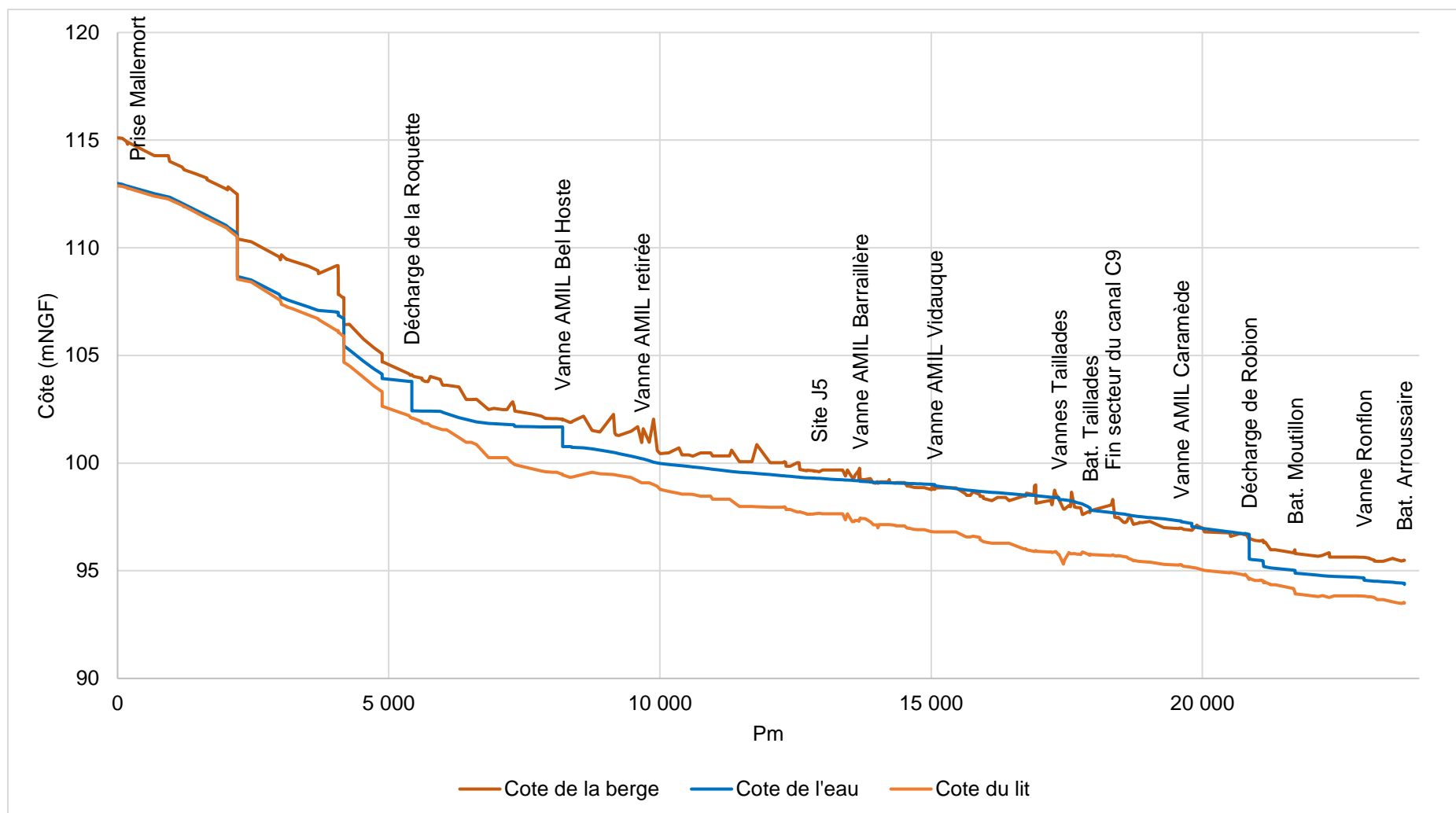


Figure 5-19: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P02-B - Variante 2

5.6.7 Simulation en période pluvieuse – événement réel (Simulation P03)

L'objectif de la simulation est d'estimer la capacité du canal à absorber un événement pluvieux de type décembre 2019.

La simulation P03 a été réalisée à partir des hypothèses suivantes:

- **Mode de calcul** : Simulation en régime transitoire sur 3 jours.
- **Période simulée** : Du 1^{er} au 03 décembre 2019.
- **Consigne de débit** :
 - débits prélevés aux prises : Aucun prélèvement. Cette période correspond à la période de chômage du canal (canal vide) ;
 - débits des bassins versants : hydrogrammes réels de l'évènement.
- **Consigne de réglages des ouvrages**:
 - Ouverture des vannes de décharge (La Roquette et Robion) et des vannes en ligne au début de l'arrivée des eaux de ruissellement des bassins versants dans le canal.

Retrait des batardeaux au début de l'arrivée des eaux de ruissellement des bassins versants dans le canal.

La Figure 5-20 montre le profil en long de la ligne d'eau obtenue. Pour cette simulation, malgré le fait que la ligne d'eau soit suffisamment haute au niveau de certains biefs notamment entre les Taillades et Robion, aucun débordement n'est observé le long du canal. Ces résultats sont compatibles aux observations faites par le conducteur de canal lors de cet évènement pluvieux.

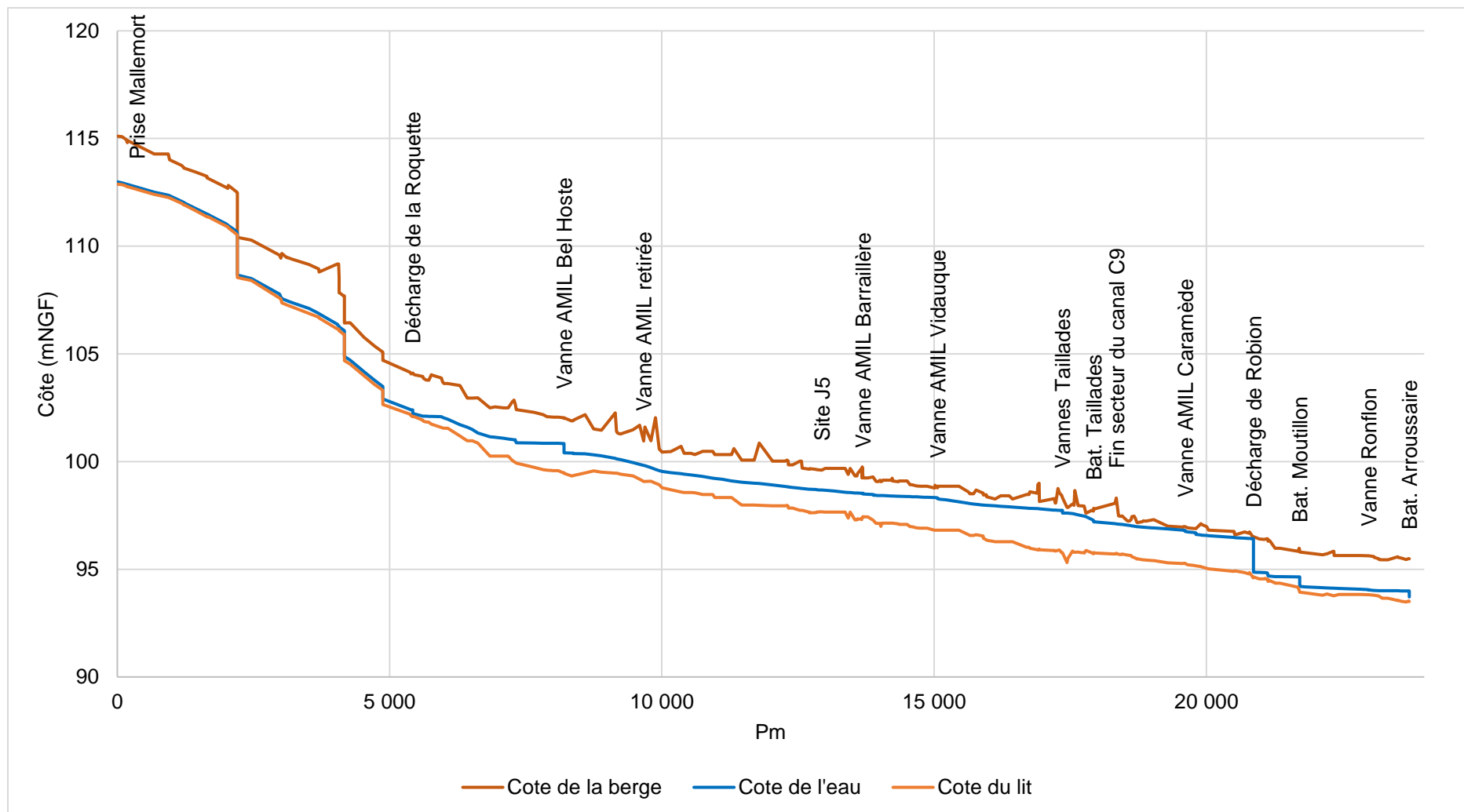


Figure 5-20: Profil en long du canal et de la ligne d'eau obtenue - simulation P03

5.6.8 Simulation lors de la restriction des prélèvements (simulation R01)

L'objectif de cette simulation est d'évaluer les conséquences d'une restriction de débit en tête sur le service des prises. Il s'agit d'identifier :

- les prises impactées en termes de niveau d'eau et débit ;
- les ouvrages en ligne impactés.

5.6.8.1 Hypothèses retenues

La simulation est réalisée à partir des hypothèses suivantes:

- **Mode de calcul** : Simulation en régime transitoire sur 3 jours.
- **Période simulée** : 11, 12 et 13 octobre 2019.
- **Consigne de débit** :
 - Jour 1 : prélèvement réel pour toutes prises sauf pour les filiales et pompages privés du Cabedan Neuf (définis à partir des débits nominaux des prises).
 - Jour 2 et 3 :
 - **Variante 1** : restriction de 20 % du débit en tête à partir du deuxième jour de simulation (les structures n'appliquent pas la restriction) ;
 - **Variante 2** : 20 % des débits de toutes les prises y compris les débits en tête du canal.
- **Consigne de niveau** : Identique à la simulation N02.
- **Régulation des ouvrages** : Identique à la simulation N02.

5.6.8.2 Résultats

5.6.8.2.1 Variante 1 : les structures n'appliquent pas la restriction de débit

Dans cette variante, la restriction est appliquée uniquement aux débits en tête du canal. Le Tableau 5-21 présente la conséquence de cette restriction.

Tableau 5-21: Impact lié à la restriction des débits en tête sur chaque structure- variante 1

Structure	Nom	PM	Type	Impact max sur le débit (l/s)	Impact max sur le débit (%)	Côte de l'eau initiale (mNGF)	Côte de l'eau critique (mNGF)	Impact max sur la ligne d'eau (cm)
Mérindol	Grand Menier	1 288	Martelière syndicale	0	0%	113.23	113.13	10
	Prévot	1 733	Martelière syndicale	0	0%	112.54	112.46	8
Canal Saint Julien	Bel Hoste	8 263	Module à masques	0	0%	101.67	101.67	0
Cabadan neuf			Martelière syndicale	0	0%	99.15	99.05	10
			Station de Pompage	0	0%	97.40	97.25	15
			Martelière privée	0	0%	99.15	99.05	10
SCP	SCP	20 856	Station de pompage	0	0%	96.15	96.08	7
Isle	Caramède	19 628	Module à masques	0	0%	96.7	96.69	1
	Moutillon	21 765	Station de pompage	0	0%	95.21	95.12	9
	Tour de Sabran	22 410	Martelière syndicale	0	0%	95.14	95.03	11
	L'Arrousaire	23 624	Station de pompage	0	0%	94.41	94.15	26
Carpentras	Carpentras	23 784		1 300	52%			

La restriction de 20% du débit en tête conduit à une réduction d'environ 52% du débit du canal de Carpentras. Aussi, cette restriction conduit à des impacts importants sur la ligne d'eau aux prises de chaque structure à l'exception de la prise du canal Saint Julien à Bel Hoste et la prise du canal de l'Isle à Caramède. Cela s'explique par le fait que ces deux prises sont équipées de module à masques. Les impacts les plus significatifs sont au niveau :

- des prises du canal de Cabedan-Neuf entre le PM 11 000 et 15 000 et à la station de pompage à La Vidale ;
- des prises de Tour de Sabran du canal de l'Isle et l'Arrousaire.

5.6.8.2.2 Variante 2 : restriction de 20% du débit pour toutes les structures

Dans cette variante, la restriction de débit est appliquée à toutes les prises et aux débits en tête du canal. Le Tableau 5-22 indique la conséquence de cette restriction.

Tableau 5-22: Impact lié à la restriction des débits en têtes sur chaque structure- variante 2

Structure	Nom	PM	Type	Impact max sur le débit (l/s)	Impact max sur le débit (%)	Côte de l'eau initiale (mNGF)	Côte de l'eau critique (mNGF)	Impact max sur la ligne d'eau (cm)
Mérindol	Grand Menier	1 288	Martelière syndicale	16	20%	113.23	113.13	10
	Prévot	1 733	Martelière syndicale	40	20%	112.54	112.46	8
Canal Saint Julien	Bel Hoste	8 263	Module à masques	600	20%	101.67	101.67	0
Cabadan-Neuf			Martelière syndicale	105	20%	98.49	98.47	2
			Station de Pompage	20	20%	97.40	97.33	7
			Martelière privée	0	0%	99.15	99.09	6
SCP	SCP	20 856	Station de pompage	27	20%	96.15	96.09	6
Isle	Caramède	19 628	Module à masques	24	20%	96.7	96.69	1
	Moutillon	21 765	Station de pompage	2	20%	95.21	95.19	2
	Tour de Sabran	22 410	Martelière syndicale	50	20%	95.18	95.14	4
	L'Arrousaire	23 624	Station de pompage	24	20%	94.41	94.27	14
Carpentras	Carpentras	23 784		520	20%			

* on considère que les filiales privées ne respectent pas la restriction

La restriction de 20% du débit de toutes les prises répartit les impacts sur le débit à toutes les structures. Les impacts sur la ligne d'eau sont aussi réduits par rapport à la variante 1 ci-dessus. Les impacts les plus significatifs sont au niveau :

- des prises du canal de Cabedan-Neuf entre le PM 11 000 et PM 15 000 et à la station de pompage de La Vidale ;
- de la prise du canal de l'Isle à la station de pompage de l'Arrousaire.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

L'étude de modernisation de la régulation du canal a pour but d'optimiser la régulation et la modernisation des ouvrages que l'Union Luberon-Sorgue-Ventoux a en gestion. Ce présent rapport avait pour objectif de présenter le diagnostic du fonctionnement actuel du canal.

L'état des lieux des berges effectué a permis de conclure que l'état général du canal de l'Union est moyen à bon pour les tronçons revêtus et assez dégradé pour les tronçons non revêtus.

Les ouvrages existants (prises, régulation, décharge) le long du canal sont globalement fonctionnels. Néanmoins, certains ouvrages n'ont pas subi de modernisation depuis de nombreuses années et laissent apparaître des défaillances importantes. Parmi ceux-ci, on note : les vannes AMIL et les vannes plates à crémaillère qui nécessitent une remise en état ou un remplacement et, la décharge de Redortier qui nécessite d'être réhabilitée.

Le poste central dédié à la télégestion est assez vétuste et ne répond pas complètement aux attentes du canal l'Union. Les équipements de mesures et de télégestion sont globalement en bon état à l'exception de certaines sondes de mesures de niveaux et de certains capteurs de fin de course qui présentent des dysfonctionnements.

La gestion actuelle des ouvrages est essentiellement basée sur la connaissance de l'ouvrage. En période normale, les agents du canal veillent en permanence sur l'évolution de la ligne d'eau le long du canal et reçoivent les demandes de chaque canal membre. Ils ajustent le débit en tête et les ouvrages en ligne pour satisfaire les demandes ou maintenir le bon niveau d'alimentation des prises. Ils règlent également les vannes de décharge à Robion pour limiter les fluctuations des débits entrant dans le canal de Carpentras. En période pluvieuse, selon des degrés d'alerte météorologique, les agents du canal coupent le débit en tête complètement ou partiellement. Ils ouvrent les vannes de décharge à la Roquette et à Robion et retirent les batardeaux afin d'éviter tous risques de débordement.

La simulation C01 a permis de vérifier que la capacité du canal est suffisante vis-à-vis de la dotation des structures. Le temps de transfert entre la prise de tête et la fin du canal est d'environ 6 heures.

Les simulations en période normale ont permis d'identifier les impacts des fluctuations de débits prélevés sur la ligne d'eau et les débits transitant le long du canal. Globalement les impacts les plus importants se situent dans la partie aval du canal (après la décharge de Robion). Les fluctuations sont dues essentiellement au démarrage et arrêt des stations de pompage. Les fluctuations observées en fin de canal sont partiellement compensées par les décharges effectuées à Robion par le conducteur de canal. Ces simulations ont également permis de vérifier l'alimentation des prises. Globalement les prises sont bien alimentées en période de pointe et en période « hors pointe », certaines prises privées ne sont pas correctement alimentées.

Les simulations en période pluvieuse permettent de conclure que, pour une période de retour de 10 ans, en période de pointe, le canal n'est pas en capacité d'absorber les débits entrants si l'on intervient une fois que la pluie arrive. Cependant avec des temps d'anticipation raisonnables, environ 2 heures, il est possible d'éviter les débordements. En période hors pointe, les débordements sont plus limités et peuvent être maîtrisés avec une anticipation d'environ 1 h 30. Par ailleurs, pour une période de retour de 20 ans, quelle que soit la période (pointe ou hors pointe), le canal n'est pas en mesure d'absorber les débits entrants même en vidant le canal complètement plusieurs heures avant l'arrivée de l'évènement.

La simulation en période de restriction (20% du débit en tête) a permis de montrer que si les structures le long du canal ne répercutent pas la restriction sur leur prélèvement, en fin de canal, il est observé une baisse de débit de 52 %. Au niveau de chaque prise, la baisse de niveau observée varie de 0 cm (cas des prises à proximité de seuils ou vannes AMIL) à 26 cm. En revanche, si les structures le long du canal répercutent la restriction sur leur prélèvement, au niveau de chaque prise, la baisse de niveau observée varie de 0 cm (cas des prises à proximité de seuils ou vannes AMIL) à 14 cm.

Perspectives

Le diagnostic des conditions de fonctionnement actuel du canal de l'Union a montré les problèmes auxquels les gestionnaires du canal sont confrontés : des risques de débordement lors d'orage notamment pour des pluies de période de retour 20 ans, de faibles tirants d'eau en période hors pointe et de restriction, de grosses incertitudes et lacunes quant aux mesures réalisées sur le canal et sur leur bonne exploitation.

Ainsi, pour améliorer la situation actuelle, il serait souhaitable :

- D'avoir une meilleure connaissance des variations des niveaux d'eau et débits le long du canal avec des alertes de niveau haut et bas :
 - Mise en place de nouveaux points de mesures de débits le long du canal de l'Union, notamment en amont et en aval des prises privées où les prélèvements sont ;
 - Mise en place de nouveaux dispositifs de mesure de niveaux et d'alerte aux endroits stratégiques (au niveau des décharges et des stations de pompage).
- De faire des adaptations, réhabilitations et voire créations d'ouvrages de régulation en ligne et de décharge :
 - Mise en place de seuils pour améliorer l'alimentation des prises privées et diminuer le débit technique ;
 - Remise en état de certains ouvrages de régulation ;
 - Remplacement des batardeaux et vannes AMIL par d'autres types d'ouvrages qui permettent de réduire les contraintes d'exploitation ;
 - Mise en place d'un ouvrage de régulation à l'entrée du canal de Carpentras ;
 - Remise en service de l'ouvrage de décharge de Redortier ;
 - Réhabilitation et mise en place de nouveaux dispositifs de motorisation et télégestion ;
 - Mise en place de capteurs de fin de course sur l'ensemble des vannes (y compris manuelles) afin de connaître précisément leur position.
- De disposer d'un système de supervision fiable, performant, qui permet de connaître l'état de chaque ouvrage en temps réel et de le piloter à distance.

Ces différentes pistes d'améliorations seront étudiées lors de la phase 2 de l'étude qui traitera de l'étude de modernisation dont l'objectif final est de choisir un scénario type et évaluer son efficacité. Une fois la phase 2 terminée, la dernière phase concernera l'avant-projet dont le but sera d'estimer de manière détaillée le coût du projet et d'établir le programme d'investissement correspondant.

BIBLIOGRAPHIE

- Akan, A. O. (2006). *Open Channel Hydraulics*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6857-6.X5000-0>
- BRLi, & SCP. (2019). *Etude hydraulique et modélisation mathématique des canaux d'irrigation de la plaine d'Avignon incluant relevés topographiques et campagne de jaugeages*.
- FAO. (s.d). *LES ÉTANGS ET LEURS OUVRAGES : ouvrages et agencement des fermes piscicoles*. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708f/x6708f08.htm
- Hong, S. (2014). *Optimisation des tours d'eau sur un réseau de canaux d'irrigation*. Doctorat Eaux Continentales et Société, Montpellier SupAgro.
- Javaid, T., & Latif, M. (2010). Improving Operational Performance of Farmers Managed Distributory Canal using SIC Hydraulic Model. *Water Resources Management*, 24, 3085-3099. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9596-x>
- Lencastre, A. (1996). *Hydraulique générale*. Eyrolles.
- Loubier, S., & Garin, P. (2013). Un avenir incertain pour les associations syndicales autorisées d'irrigation. *Sciences Eaux Territoires, Numéro 11(2)*, 90-95.
- Loubier, S., & Gleyses, G. (2011). Chapitre 9. Financement et tarification des réseaux d'irrigation gérés par des Associations syndicales autorisées (ASA). In *Des tuyaux et des hommes* (p. 177-193). Éditions Quæ. <https://www.cairn.info/des-tuyaux-et-des-hommes--9782759216741-page-177.htm>
- Pierre, R., & Jean-Pierre, B. (1993). *La régulation des canaux d'irrigation. 2-3 (Avril 1993)*, 137-142. <https://doi.org/10.1051/lhb/1993016>
- Pochet, H., & Chauvet, R.-J. (1974). Modernisation des anciens canaux d'adduction. *La Houille Blanche*, 4-5, 373-378. <https://doi.org/10.1051/lhb/1974032>
- Renault, D., Facon, T., & Wahaj, R. (2007). *Modernizing Irrigation Management: The MASSCOTE Approach—Mapping System and Services for Canal Operation Techniques* (Vol. 63). FAO.

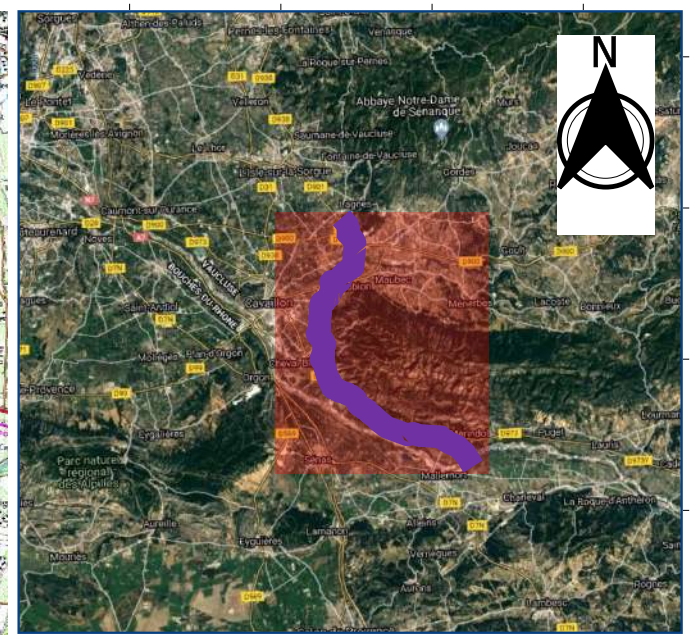
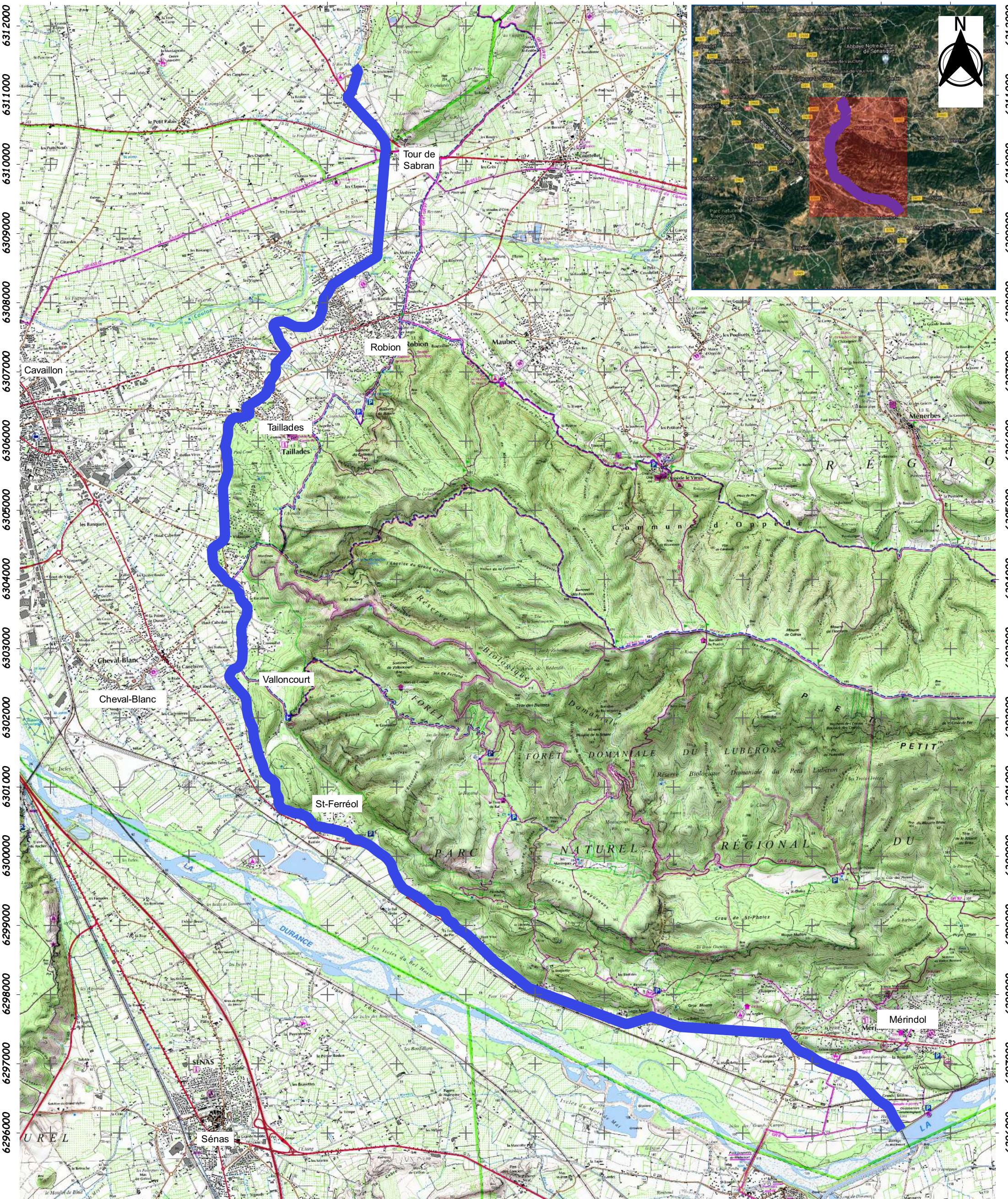
Annexes

Liste des annexes

Annexe 1.	Carte de localisation du canal de l'Union	86
Annexe 2.	Cartes de localisation des ouvrages présents sur le canal de l'Union	87
Annexe 3.	Cartes de l'état des lieux des berges	88
Annexe 4.	Liste des ouvrages de régulation et leur état global.....	89
Annexe 5.	Modalités de gestion des prises des canaux membres.....	91
Annexe 6.	Profil en long du canal de l'Union	93
Annexe 7.	Résultats de la campagne de jaugeages	94
Annexe 8.	Hypothèses relatives à la part du débit des bassins versants	95
Annexe 9.	Coefficients de débit des ouvrages en ligne.....	97
Annexe 10.	Prises latérales modélisées.....	100

Annexe 1. Carte de localisation du canal de l'Union

865000 866000 867000 868000 869000 870000 871000 872000 873000 874000 875000 876000 877000 878000




865000 866000 867000 868000 869000 870000 871000 872000 873000 874000 875000 876000 877000 878000

**Union du canal Luberon Sorgue
Ventoux**


**ETUDE DE MODERNISATION DE LA
REGULATION DU CANAL DE L'UNION
LUBERON SORGUE VENTOUX**

Localisation du Canal de l'Union

Légende


 Canal de l'Union

0 1000 2000 3000 m



Echelle : 1:50000

Date : Juillet 2020
 Réalisé par : R.Delisée - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_Localisation_Canal_de_l'Union.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3



Annexe 2. Cartes de localisation des ouvrages présents sur le canal de l'Union

Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 1

Code	PM	Type	Description	Secteur
Prise en tête	0	Module à masque type C1 + Vanne plate	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vanne plate hors service - 18 modules à masques C1 de capacité 1 m³/s chacun - 2 modules C1 à masques de capacité 400 l/s chacun - 1 module C1 à masques de capacité 200 l/s - 1 module C1 à masques de capacité 100 l/s Parmi ces modules à masques : 08 modules à masques de capacité 6 m ³ /s sont motorisés et télégérés : <ul style="list-style-type: none"> - 05 modules à masques de 1 m³/s - 02 modules à masques de 400 l/s - 01 module à masques de 200 l/s 	Mérindol
OF-249	249	Pont avec tablier sur la berge	Pont lancé sur la berge du canal	
OF-491	491	Pont avec tablier sur la berge	Pont SNCF	
OF-581	581	Pont avec tablier sur la berge		
OR-1282	1282	Batardeau	2 batardeaux équipés d'une passerelle	Mérindol
OF-1285	1285	Pont avec tablier sur la berge		
PR-1288	1288	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Grand Menier
OF-1709	1709	Pont avec tablier sur la berge		
OR-1730	1730	Batardeau	2 batardeaux équipés d'une passerelle	Mérindol
PR-1733	1733	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Prevot
OF-2063	2063	Pont avec tablier sur la berge		
OF-2196	2196	Pont voûte	Pont voûte sous CD 32	
OR-2247	2247	Batardeau + Vanne plate à crémaillère	3 grandes vannes en travers, chute à l'aval et emplacement pour batardeaux.	Ancien Moulin
CH-2306	2306	Chute	Hauteur de chute 1,7 m	La Baume (aval ch. Des Grands Campas)
OF-2563	2563	Pont avec tablier sur la berge		
OF-2882	2882	Pont avec tablier sur la berge		



Union du canal Luberon Sorgue Ventoux

ETUDE DE MODERNISATION DE LA REGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBERON SORGUE VENTOUX

Tronçon N°1 - du PM 0 à 3039

Légende

- Canal de l'Union
- Ouvrage de régulation
- ▼ Ouvrage de décharge
- ◇ Chute
- Prise
- Martelière syndicale
- Module a masque
- Station de pompage
- Martelière privée
- Pompage privé
- Buse
- Prise condamnée
- Ouvrage de franchissement
- x Pont avec pile centrale
- x Pont avec tablier sous la berge
- x Pont avec tablier sur la berge
- x Pont posé sur mur construit dans la berge
- x Pont voûte

0 200 400 600 m

Echelle : 1:10000

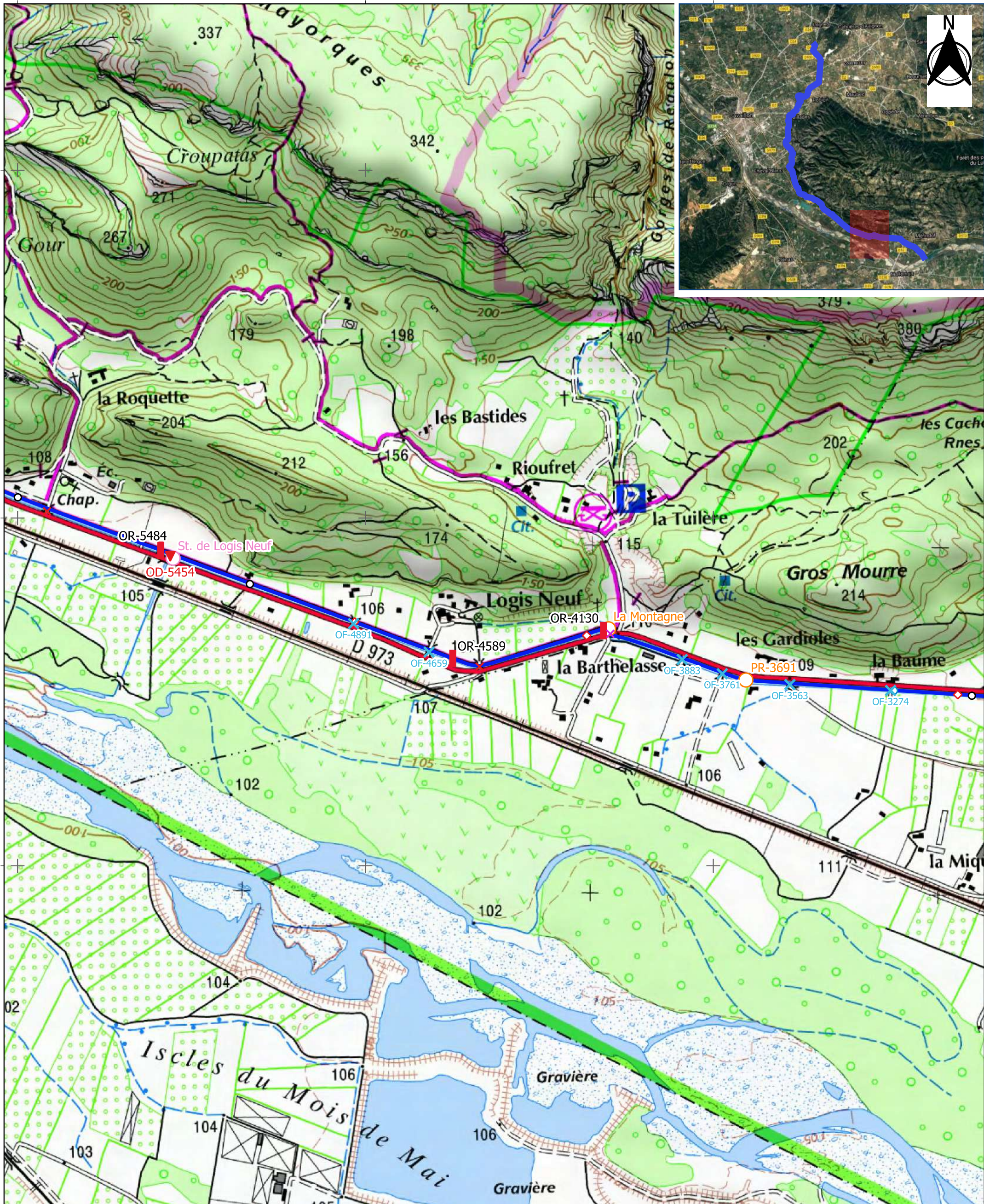
Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHÉ - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T1.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3



Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 2

Code	PM	Type	Description	Secteur
CH-3080	3080	Chute	Hauteur de chute 10 cm	Logis Neuf
PR-3264	3264	Prise condamnée	Prise en rive droite	
OF-3274	3274	Pont avec tablier sous la berge	Pont dont le tablier est en dessous de la berge du canal (50 cm environ)	La Baume
OF-3563	3563	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier en dessous de la berge du canal (60 cm environ)	Les Gardioles
PR-3691	3691	Martelière syndicale	Prise en rive droite	
OF-3761	3761	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier en dessous de la berge du canal (30 cm environ)	Les Gardioles
OF-3883	3883	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier en dessous de la berge du canal (20 cm environ)	Les Gardioles
OF-4103	4103	Pont voûte	Pont voute sous le CD 973	Régalon
PR-4121	4121	Martelière syndicale	Prise en rive droite	La Montagne
OR-4130	4130	Batardeau	2 batardeaux équipés d'une passerelleChute à environ 100 m à l'aval	La Barthelasse
CH-4190	4190	Chute	Hauteur de chute 85 cm	La Barthelasse
OF-4508	4508	Pont avec tablier sur la berge		
OR-4589	4589	Batardeau	Emplacement pour batardeaux mais non utilisés	Logis Neuf
OF-4659	4659	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier en dessous de la berge du canal (25 cm environ)	Logis Neuf
CH-4890	4890	Chute	Hauteur de chute 60 cm	La Roquette
OF-4891	4891	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier en dessous de la berge du canal (50 cm environ)	Logis Neuf
PR-5426	5426	Station de pompage	Prise en rive droite	St. de Logis Neuf
OD-5454	5454	Décharge	Déversoir latéral + Vanne de décharge(2 vannes motorisées pour la décharge)	La Roquette
OR-5484	5484	Vanne plate à crémaillère	7 vannes en travers dont 2 motorisées	La Roquette
OF-5829	5829	Pont avec tablier sur la berge		



**Union du canal Luberon Sorgue
Ventoux**

**ETUDE DE MODERNISATION DE LA
REGULATION DU CANAL DE L'UNION
LUBERON SORGUE VENTOUX**

Tronçon N°2 - du PM 3039 à 5922

Légende

- Canal de l'Union
- Ouvrage de régulation
- ▼ Ouvrage de décharge
- ◇ Chute
- Prise
- Martelière syndicale
- Module a masque
- Station de pompage
- Martelière privée
- Pompage privé
- Buse
- Prise condamnée
- Ouvrage de franchissement
- ✕ Pont avec pile centrale
- ✕ Pont avec tablier sous la berge
- ✕ Pont avec tablier sur la berge
- ✕ Pont posé sur mur construit dans la berge
- ✕ Pont voûte

0 200 400 600 m



Echelle : 1:10000

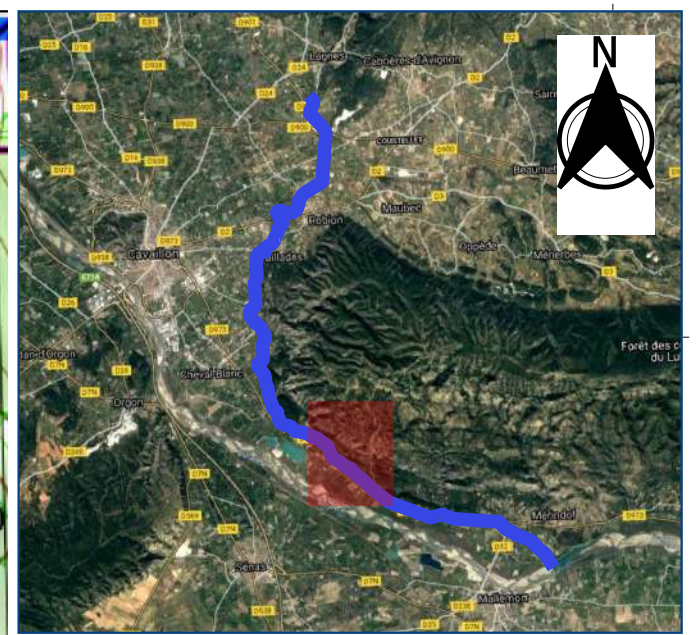
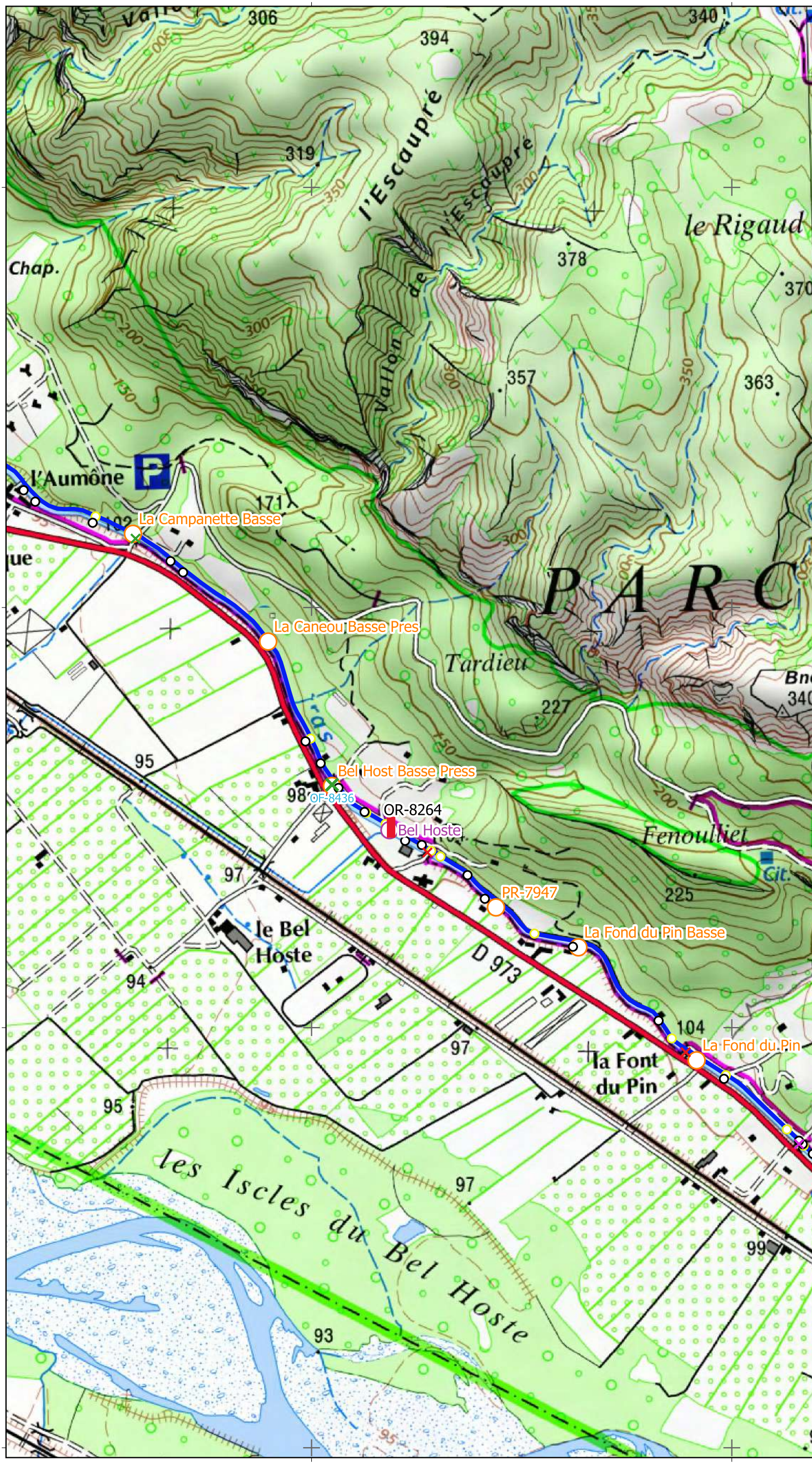
Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHE - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T2.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3



Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 3

Code	PM	Type	Description	Secteur
PR-6123	6123	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-6356	6356	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-6578	6578	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-6640	6640	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-6900	6900	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-6988	6988	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-6998	6998	Pont voûte	Pont en voute sans pile	
PR-7043	7043	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-7238	7238	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-7314	7314	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Fond du Pin
OF-7349	7349	Pont avec tablier sur la berge	Pont sans pile pose sur les berges du canal	
PR-7394	7394	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-7726	7726	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Fond du Pin basse pression
PR-7834	7834	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-7947	7947	Martelière syndicale		
PR-8127	8127	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-8153	8153	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-8160	8160	Pont avec tablier sur la berge		
PR-8241	8241	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-8263	8263	Module à masque		Bel Hoste
OR-8264	8264	Vanne AMIL	2 vannes AMIL D450	Bel Hoste
PR-8279	8279	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-8332	8332	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-8433	8433	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Bel Host Basse Press
OF-8436	8436	Pont avec pile centrale	Pont en maconnerie avec pile centrale dans le canal	Bel Hoste
PR-8557	8557	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-8811	8811	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Caneou Basse Pression
OF-9215	9215	Pont avec pile centrale		
PR-9227	9227	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Campanette Basse
PR-9325	9325	Martelière privée	Prise en rive gauche	



Union du canal Luberon Sorgue Ventoux

ETUDE DE MODERNISATION DE LA REGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBERON SORGUE VENTOUX

Tronçon N°3 - du PM 5922 à 9471

Légende

Canal de l'Union	Ouvrage de régulation	Ouvrage de décharge	Chute	Martelière syndicale	Module a masque	Station de pompage	Martelière privée
Pompage privé	Buse	Prise condamnée	Pont avec pile centrale	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier sur la berge	Pont posé sur mur construit dans la berge	Pont voûte

0 200 400 600 m

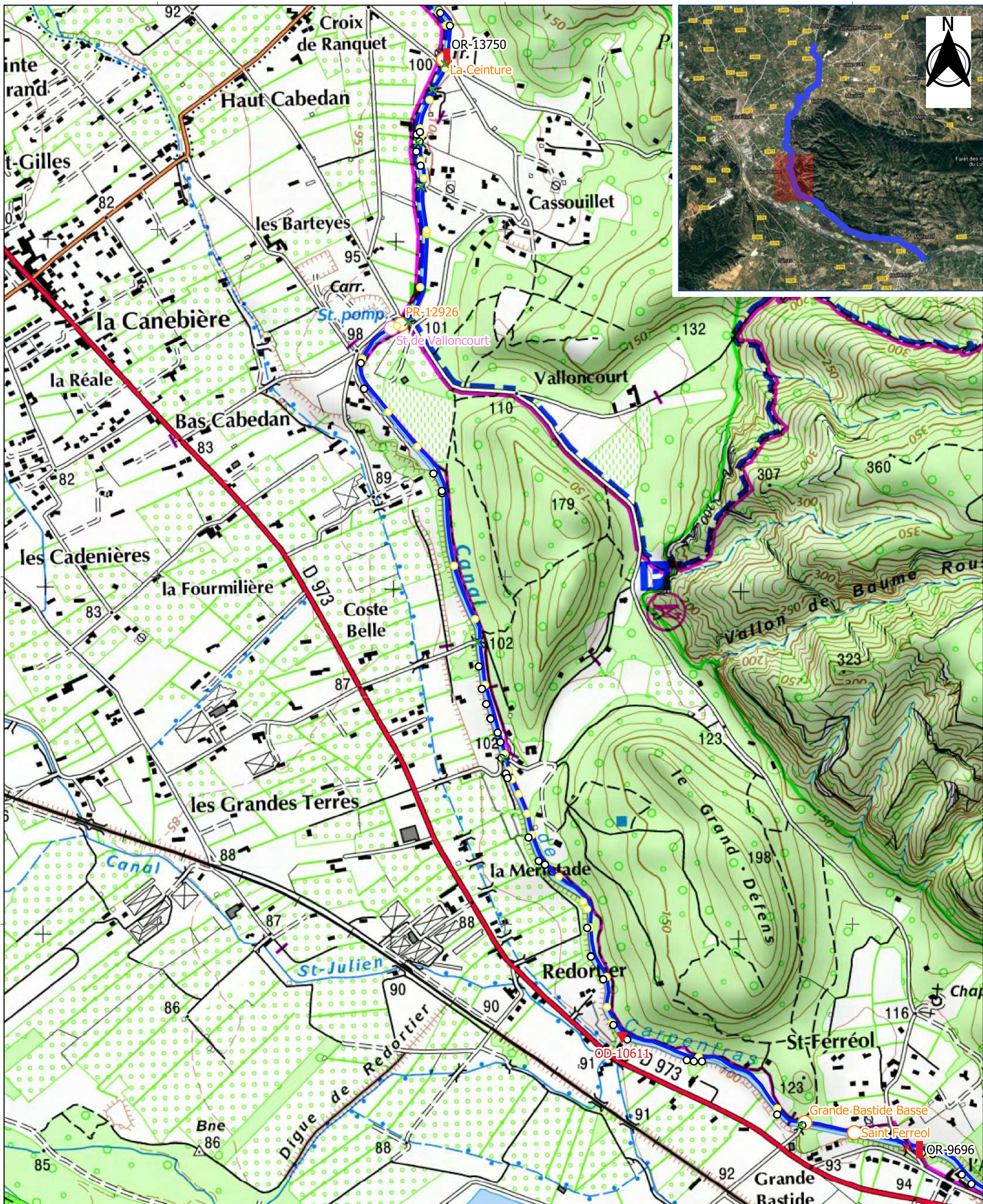
Echelle : 1:10000

Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHE - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T3.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3

Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 4

Code	PM	Type	Description	Secteur
PR-9633	9633	Martelière privée		
OR-9696	9696	Vanne AMIL + batardeau	Vanne AMIL retirée et batardeaux non utilisés	St Ferréol
OF-9701	9701	Pont avec tablier sur la berge	Pont de Saint Ferreol reposant sur les berges	Saint Ferreol
PR-9858	9858	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Saint Ferreol
PR-10004	10004	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Grande Bastide Basse
OF-10015	10015	Pont avec pile centrale	Pont de Grande Bastide avec centrale construit dans le canal	Grande Bastide
PR-10098	10098	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-10385	10385	Martelière privée		
OD-10611	10611	Décharge	Vanne droite + Siphon Neyrtec	Redortier
PR-10656	10656	Martelière privée		
PR-10702	10702	Martelière privée		
PR-10789	10789	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-10942	10942	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-10995	10995	Martelière privée		
PR-11028	11028	Martelière privée		
PR-11131	11131	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-11277	11277	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-11340	11340	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-11401	11401	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-11447	11447	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-11475	11475	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-11511	11511	Pont avec pile centrale		
PR-11523	11523	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-11730	11730	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-11853	11853	Pont avec pile centrale	Pont de Coste Belle avec pile centrale construit dans le canal	Coste Belle
PR-11924	11924	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-12089	12089	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-12461	12461	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-12592	12592	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-12760	12760	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-12771	12771	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-12896	12896	Station de pompage		St de Valloncourt
PR-12913	12913	Martelière privée		
PR-12926	12926	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	
OF-12945	12945	Pont avec pile centrale		Valloncourt
PR-13055	13055	Martelière privée		
PR-13209	13209	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-13213	13213	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-13220	13220	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-13347	13347	Pont avec pile centrale		Cassouillet
PR-13371	13371	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-13424	13424	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-13475	13475	Pont avec pile centrale		
PR-13492	13492	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-13516	13516	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-13603	13603	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-13634	13634	Pont avec pile centrale		
PR-13705	13705	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-13717	13717	Pont avec pile centrale		
PR-13727	13727	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-13727	13727	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Ceinture
OR-13750	13750	Vanne AMIL + batardeau	Ancienne vanne AMIL D280 qui ne fonctionne plus correctement	La Baraillière
PR-13840	13840	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-13841	13841	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-13882	13882	Martelière privée		
PR-13884	13884	Martelière privée		
PR-13892	13892	Buse	Prise en rive droite	



**Union du canal Luberon Sorgue
Ventoux**

**ETUDE DE MODERNISATION DE LA
REGULATION DU CANAL DE L'UNION
LUBERON SORGUE VENTOUX**

Tronçon N°4 - du PM 9471 à 13892

Légende

- Canal de l'Union
- Ouvrage de régulation
- ▼ Ouvrage de décharge
- ◇ Chute
- Prise
- Martelière syndicale
- Module a masque
- Station de pompage
- Martelière privée
- Pompage privé
- Buse
- Prise condamnée
- Ouvrage de franchissement
- × Pont avec pile centrale
- × Pont avec tablier sous la berge
- × Pont avec tablier sur la berge
- × Pont posé sur mur construit dans la berge
- × Pont voûte

0 200 400 600 m

Echelle : 1:10000

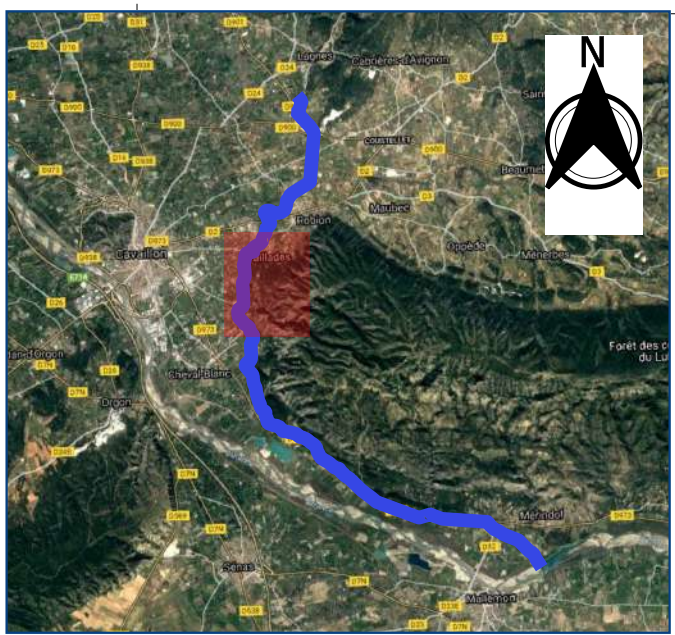
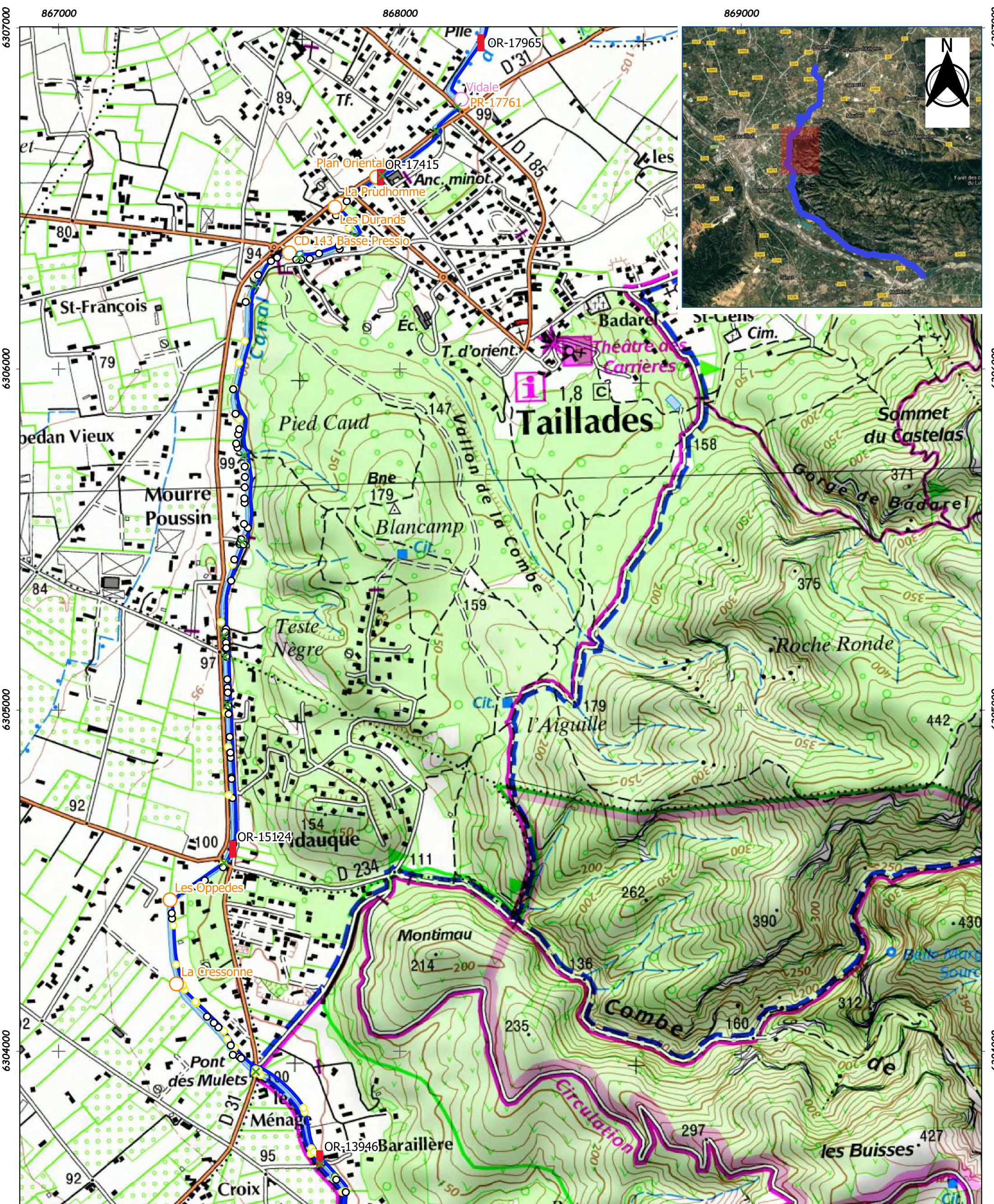
Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHÉ - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T4.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3



Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 5

Code	PM	Type	Description	Secteur
OF-13946	13946	Pont avec pile centrale		La Baraillere
OR-13946	13946	Roue + Batardeau	3 batardeaux + 1 roue. L'ouvrage n'a pas de fonction particulière mis à part une fonction esthétique.	La Baraillere
PR-13975	13975	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-13992	13992	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-13992	13992	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-13998	13998	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-14102	14102	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14116	14116	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-14277	14277	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14289	14289	Martelière privée	Prise en rive droite	
OF-14300	14300	Pont avec pile centrale	Pont des Mulets	
PR-14304	14304	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-14304	14304	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14389	14389	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14422	14422	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14446	14446	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-14562	14562	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14566	14566	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14614	14614	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14625	14625	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14629	14629	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-14637	14637	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Cressonne
PR-14691	14691	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14806	14806	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-14827	14827	Martelière privée	Prise en rive droite	
PR-14884	14884	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Les Oppedes
PR-14928	14928	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-15061	15061	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-15065	15065	Pont avec pile centrale		Vidauque
OR-15124	15124	Vanne AMIL + batardeau	2 batardeaux de 1,8 m de hauteur max + 1 Vanne AMIL D280. La vanne est non fonctionnelle car elle est bloquée.	Vidauque
PR-15275	15275	Martelière privée		
PR-15424	15424	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-15516	15516	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-15539	15539	Pont avec pile centrale		Vidauque
OF-15680	15680	Pont avec pile centrale		Teste Negre
OF-15744	15744	Pont avec pile centrale		
PR-15780	15780	Martelière privée		
PR-15958	15958	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-16022	16022	Pont avec pile centrale		Mourre Poussin
PR-16042	16042	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-16264	16264	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-16285	16285	Pont avec pile centrale		Pied-Caud
PR-16402	16402	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-16496	16496	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-16563	16563	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-16638	16638	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-16757	16757	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-16795	16795	Pont avec pile centrale		
PR-16828	16828	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-16943	16943	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	CD 143 Basse Pression
OF-16973	16973	Pont avec pile centrale		
PR-16975	16975	Prise condamnée	Prise en rive gauche	
OF-17148	17148	Pont avec pile centrale		
PR-17195	17195	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-17265	17265	Martelière syndicale		Les Durands
PR-17272	17272	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	La Prudhomme
OF-17323	17323	Pont avec pile centrale		
OR-17414	17414	Vanne plate à crémaillère	6 petites vannes et une grande vanne en travers	Les Taillades
PR-17414	17414	Martelière syndicale		Plan Oriental
OF-17421	17421	Pont avec pile centrale	Pont a 3 voutes construit dans le canal	
OF-17635	17635	Pont avec pile centrale		
OF-17736	17736	Pont avec pile centrale		
PR-17761	17761	Martelière syndicale	Prise en rive droite	
PR-17772	17772	Station de pompage	Prise en rive droite	Vidale
OR-17965	17965	Batardeau	2 batardeaux	Les Taillades



Union du canal Luberon Sorgue Ventoux

ETUDE DE MODERNISATION DE LA REGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBERON SORGUE VENTOUX

Tronçon N°5 - du PM 13892 à 17965

Légende

Canal de l'Union	Pompage privé
Ouvrage de régulation	Buse
Ouvrage de décharge	Prise condamnée
Chute	Ouvrage de franchissement
Prise	Pont avec pile centrale
Martelière syndicale	Pont avec tablier sous la berge
Module à masque	Pont avec tablier sur la berge
Station de pompage	Pont posé sur mur construit dans la berge
Martelière privée	Pont voûte

0 200 400 600 m

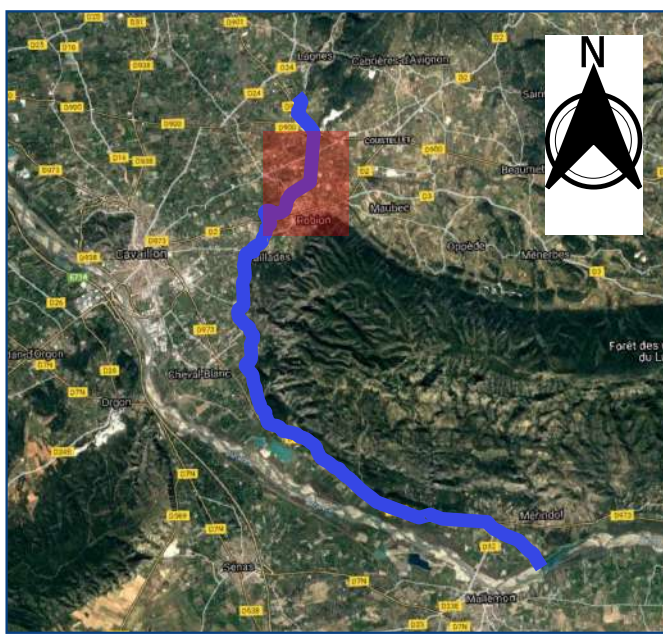
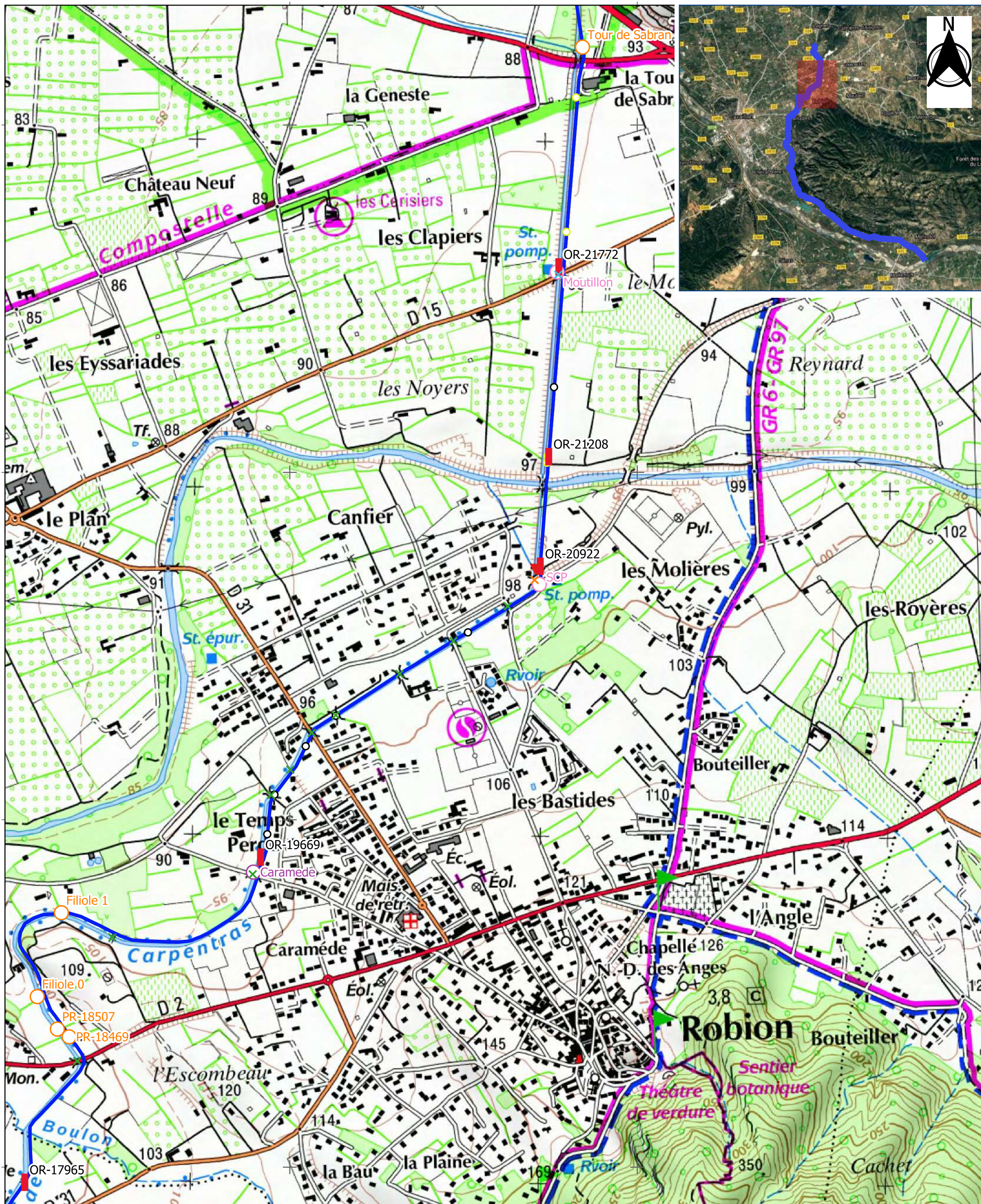
Echelle : 1:10000

Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHE - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T5.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3

Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 6

Code	PM	Type	Description	Secteur
OF-18385	18385	Pont avec pile centrale	Pont CD2 avec pile centrale construit dans le canal	
PR-18469	18469	Martelière syndicale	Prise en rive droite	
PR-18507	18507	Martelière syndicale		
PR-18611	18611	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Filiole 0
PR-18948	18948	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Filiole 1
OF-19113	19113	Pont avec pile centrale		
OF-19620	19620	Pont avec pile centrale		
PR-19628	19628	Module à masque	Prise en rive gauche	Caramede
OR-19669	19669	Vanne plate à crémaillère	4 vannes plates et 1 vanne AMIL + 1 déversoir	Caramède
OF-19855	19855	Pont avec pile centrale		
OF-19946	19946	Pont avec pile centrale		
OF-20070	20070	Pont avec pile centrale		
OF-20157	20157	Pont avec pile centrale		
OF-20375	20375	Pont avec pile centrale		
OF-20557	20557	Pont avec pile centrale		
OF-20743	20743	Pont avec pile centrale		
PR-20856	20856	Station de pompage	Prise en rive droite	SCP
OF-20863	20863	Pont posé sur mur construit dans la berge	Pont voie SNCF désaffectée posé sur mur construit dans les berges du canal	
OD-20909	20909	Décharge	Vanne de décharge + Seuil latéral(5 vannes plates dont 2 vannes motorisées et télégrées)	Robion
OR-20922	20922	Vanne plate à crémaillère	6 vannes dont 2 vannes transversales motorisées	Robion
OR-21208	21208	Batardeau	Batardeau niveau de passerelle juste en aval du Coulon	
PR-21208	21208	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-21228	21228	Martelière privée	Prise en rive gauche	
OF-21750	21750	Pont avec tablier sous la berge	Pont avec tablier en dessous du niveau de la berge du canal (93 cm)	
PR-21765	21765	Station de pompage	Prise en rive gauche	Moutillon
OR-21772	21772	Batardeau	2 batardeaux	Le Moutillon
PR-21875	21875	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-22263	22263	Martelière privée	Prise en rive gauche	
PR-22410	22410	Martelière syndicale	Prise en rive gauche	Tour de Sabran



Union du canal Luberon Sorgue Ventoux

ETUDE DE MODERNISATION DE LA REGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBERON SORGUE VENTOUX

Tronçon N°6 - du PM 17965 à 22410

Légende

- Canal de l'Union
- Ouvrage de régulation
- ▾ Ouvrage de décharge
- ◇ Chute
- Prise
- Martelière syndicale
- Module a masque
- Station de pompage
- Martelière privée
- Pompage privé
- Buse
- Prise condamnée
- Ouvrage de franchissement
- x Pont avec pile centrale
- x Pont avec tablier sous la berge
- x Pont avec tablier sur la berge
- x Pont posé sur mur construit dans la berge
- x Pont voûte

0 200 400 600 m

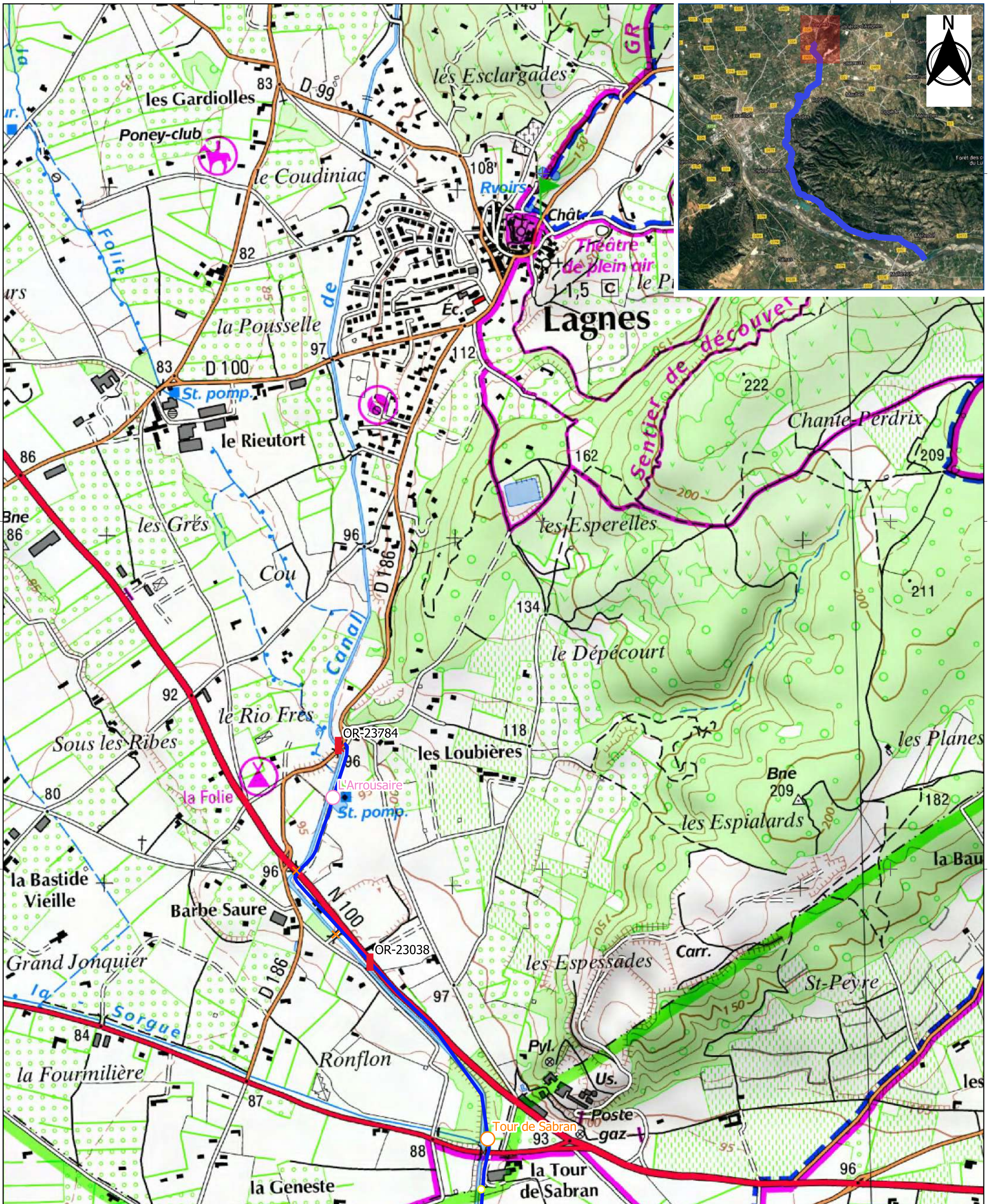
Echelle : 1:10000
 Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHE - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T6.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3



Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union LUBERON SORGUE VENTOUX

Liste des ouvrages du Tronçon 7

Code	PM	Type	Description	Secteur
OR-23038	23038	Vanne plate à crémaillère	6 vannes en travers non motorisée	Ronflon
OF-23163	23163	Pont posé sur mur construit dans la berge	Pont Voute reposant sur des murs construits dans les berges du canal	
OF-23383	23383	Pont posé sur mur construit dans la berge	Pont RN100 reposant sur des murs construits dans les berges du canal	
PR-23624	23624	Station de pompage	Prise en rive droite	L'Arrousaire
OF-23784	23784	Pont avec tablier sur la berge		
OR-23784	23784	Batardeau		Route de Robion



631 3000

631 2000

631 1000

631 3000

631 2000

631 1000

**Union du canal Luberon Sorgue
Ventoux**

**ETUDE DE MODERNISATION DE LA
REGULATION DU CANAL DE L'UNION
LUBERON SORGUE VENTOUX**

Tronçon N°7 - du PM 22410 à 23784

Légende

- Canal de l'Union
- Ouvrage de régulation
- ▼ Ouvrage de décharge
- ◇ Chute
- Prise
- Martelière syndicale
- Module a masque
- Station de pompage
- Martelière privée
- Pompage privé
- Buse
- Prise condamnée
- Ouvrage de franchissement
- ✕ Pont avec pile centrale
- ✕ Pont avec tablier sous la berge
- ✕ Pont avec tablier sur la berge
- ✕ Pont posé sur mur construit dans la berge
- ✕ Pont voûte

0 200 400 600 m

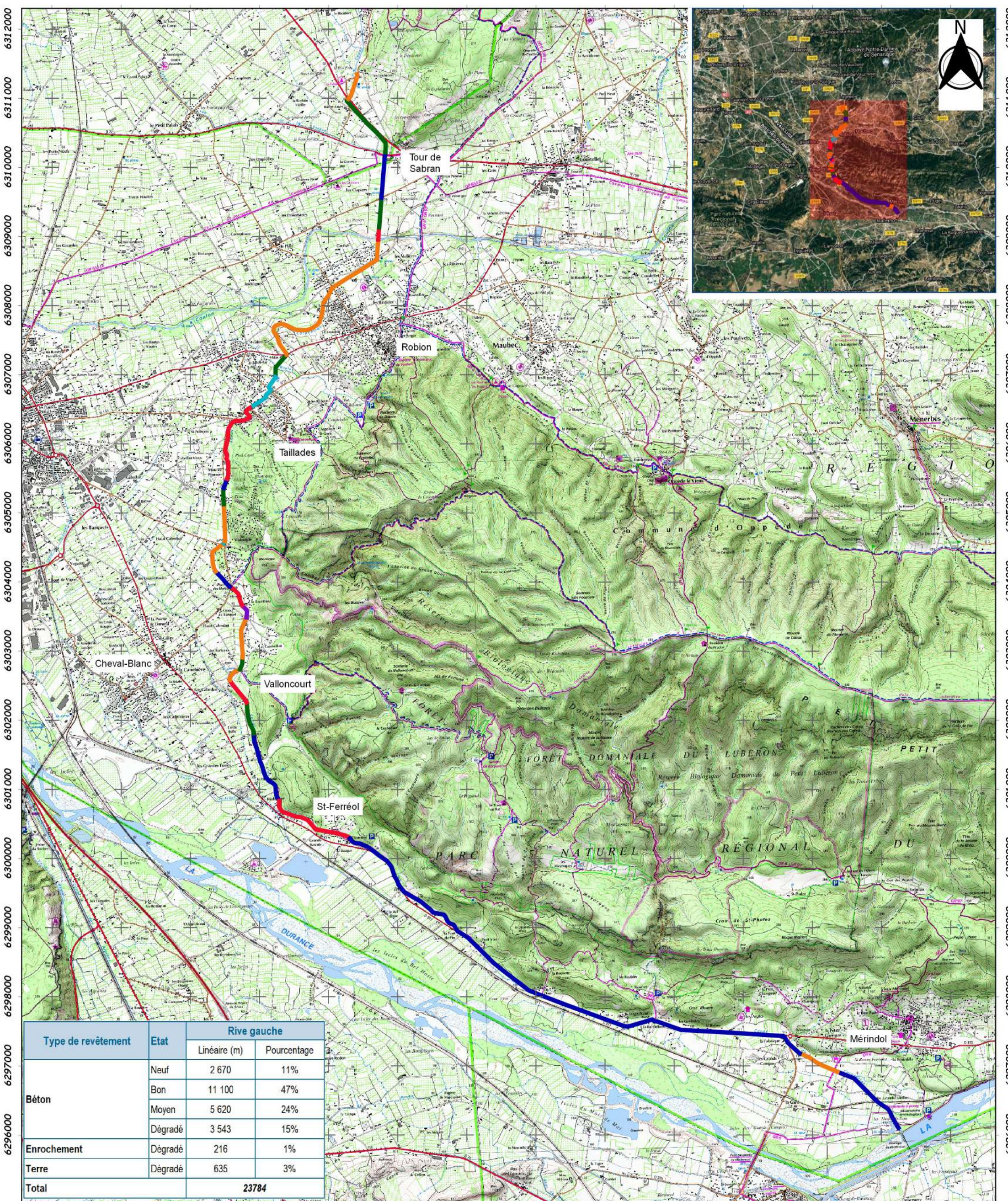
Echelle : 1:10000

Date : Septembre 2020
 Réalisé par : U. ETCHÉ - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte_prises_ouvrages_T7.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3



Annexe 3. Cartes de l'état des lieux des berges

865000 866000 867000 868000 869000 870000 871000 872000 873000 874000 875000 876000 877000 878000



865000 866000 867000 868000 869000 870000 871000 872000 873000 874000 875000 876000 877000 878000

Type de revêtement	Etat	Rive gauche	
		Linéaire (m)	Pourcentage
Béton	Neuf	2 670	11%
	Bon	11 100	47%
	Moyen	5 620	24%
	Dégradé	3 543	15%
Enrochement	Dégradé	216	1%
Terre	Dégradé	635	3%
Total		23784	

Union du canal Luberon Sorgue Ventoux
ETUDE DE MODERNISATION DE LA REGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBERON SORGUE VENTOUX
Etat des lieux des berges - Rive Gauche

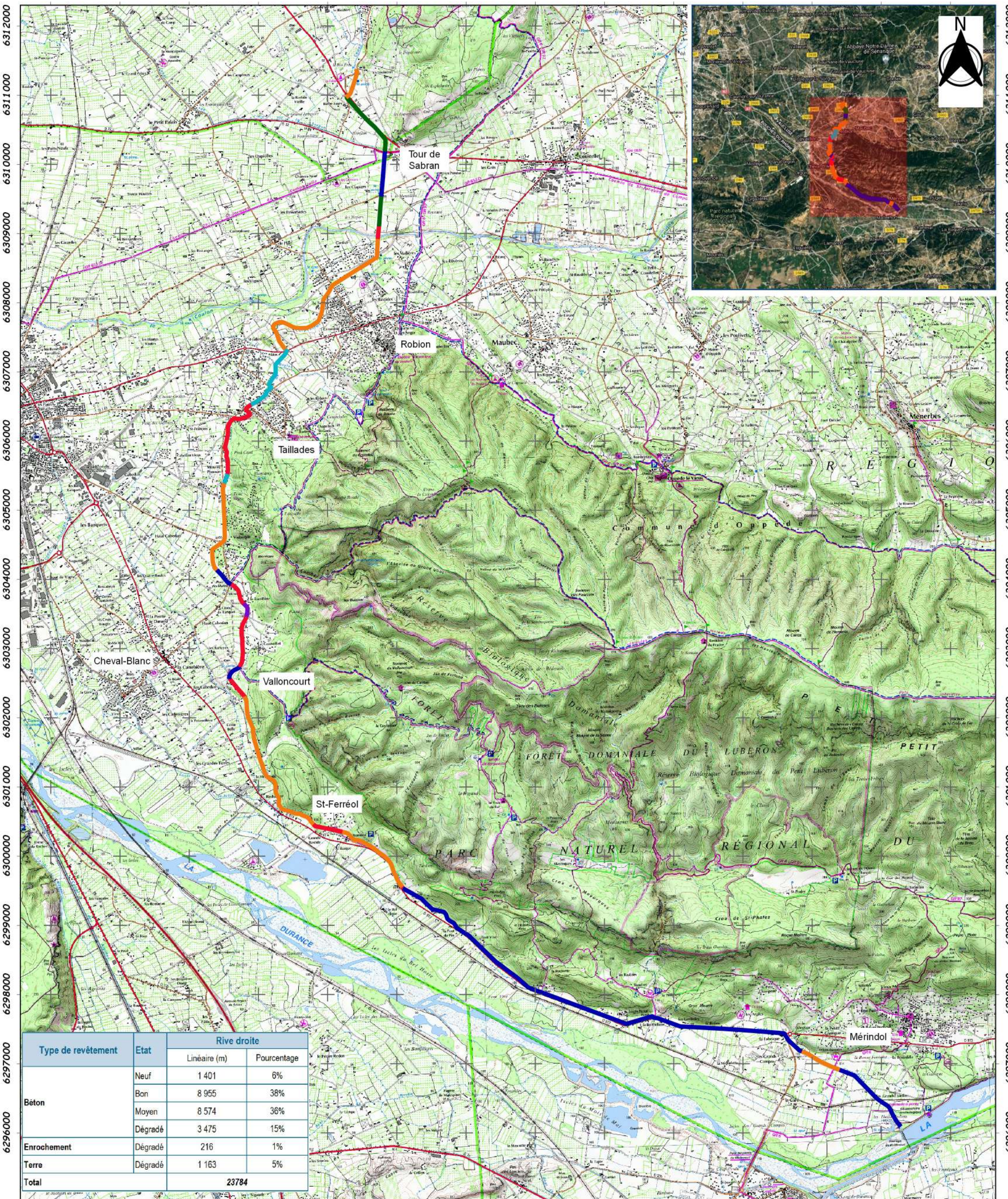
Légende
 Type et état du revêtement de la rive gauche du canal

- Béton en bon état
- Béton dégradé
- Béton en état moyen
- Béton neuf
- Enrochement dégradé
- Terre dégradé

0 1000 2000 3000 m

Echelle : 1:50000
 Date : Novembre 2020
 Réalisé par : U.Etche - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte Etat des lieux des berges - Rive Gauche.pdf
 Sources : BRLI - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3

865000 866000 867000 868000 869000 870000 871000 872000 873000 874000 875000 876000 877000 878000



Type de revêtement	État	Rive droite	
		Linéaire (m)	Pourcentage
Béton	Neuf	1 401	6%
	Bon	8 955	38%
	Moyen	8 574	36%
	Dégradé	3 475	15%
Enrochement	Dégradé	216	1%
Terre	Dégradé	1 163	5%
Total		23784	

865000 866000 867000 868000 869000 870000 871000 872000 873000 874000 875000 876000 877000 878000

Union du canal Luberon Sorgue Ventoux
ETUDE DE MODERNISATION DE LA REGULATION DU CANAL DE L'UNION LUBERON SORGUE VENTOUX
Etat des lieux des berges - Rive Droite

Légende
 Type et état du revêtement de la rive droite du canal

- Béton en bon état
- Béton neuf
- Béton dégradé
- Enrochement dégradé
- Béton en état moyen
- Terre dégradé

0 1000 2000 3000 m

Echelle : 1:50000

Date : Novembre 2020
 Réalisé par : U.Etche - Vérifié par : S.Hong
 Référence : Carte Etat des lieux des berges - Rive Droite.pdf
 Sources : BRLi - sur fond © IGN - SCAN25 ©
 Pour impression A3

Annexe 4. Liste des ouvrages de régulation et leur état global

Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Etat	Description	Dimensions	Utilisation	Fonction de l'ouvrage
OR-1282	1 282	Mérindol	Batardeau	Moyen	2 batardeaux équipés d'une passerelle	-	En service	Alimentation de la prise le Grand Menier (ASA Mérindol)
OR-1730	1 730	Mérindol	Batardeau	Moyen	2 batardeaux équipés d'une passerelle	-	En service	Alimentation de la prise le Prévot (ASA Mérindol)
OR-2247	2 247	Ancien Moulin	Batardeau + Vanne plate à crémaillère	Dégradé	3 grandes vannes en travers, chute à l'aval et emplacement pour batardeaux.		Hors service	Anciennement utilisé pour la production d'électricité
OR-4130	4 130	La Barthelesse	Batardeau	Moyen	2 batardeaux équipés d'une passerelle Chute à environ 100 m à l'aval	Hauteur max = 1,81 m Largeur = 6,21 m	En service	Alimentation de la prise de la Montagne (Canal Cabedan-Neuf)
OR-4589	4 589	Logis Neuf	Batardeau	-	Emplacement pour batardeaux mais non utilisés		Hors service	-
OR-5484	5 484	La Roquette	Vanne plate à crémaillère	Moyen	7 vannes en travers dont 2 motorisées	7 vannes identiques dont hauteur = 2,02 m et largeur = 1,15 m pour chaque vanne	En service	Alimentation de la station de pompage Logis Neuf (canal Cabedan-Neuf)
OR-8264	8 264	Bel Hoste	Vanne AMIL	Moyen	2 vannes AMIL D450	Vanne AMIL type D450	En service	Alimentation de la prise du canal Saint-Julien
OR-9696	9 696	St Ferréol	Vanne AMIL + batardeau	-	Vanne AMIL retirée Batardeaux non utilisés		Hors service	-
OR-13750	13 750	La Baraillère	Vanne AMIL + batardeau	Moyen	Ancienne vanne AMIL D280 qui ne fonctionne plus correctement	Vanne AMIL type D280	En service	Alimentation des prises du canal Cabedan Neuf : La Ceinture et la station de pompage de Valloncourt
OR-13946	13 946	La Baraillère	Roue + Batardeau	Moyen	3 batardeaux + 1 roue. L'ouvrage n'a pas de fonction particulière mis à part une fonction esthétique.		En service	-
OR-15124	15 124	Vidaucque	Vanne AMIL + batardeau	Moyen	2 batardeaux de 1,8 m de hauteur max + 1 Vanne AMIL D280. La vanne est non fonctionnelle car elle est bloquée.	Vanne AMIL type D280	En service	Alimentation d'une prise privée en particulier (voir d'autres prises du canal Cabedan-Neuf)
OR-17414	17 414	Les Taillades	Vanne plate à crémaillère	Dégradé	6 petites vannes et une grande vanne en travers	06 vannes (hauteur = 1,30 m et largeur = 1 m) 01 vanne (hauteur = 1,30 m et largeur = 1,77 m)	En service	Alimentation du Plan Oriental (si besoin) – Mise en rotation de la roue
OR-17965	17 965	Les Taillades	Batardeau	Moyen	2 batardeaux	H max 1,20 m	En service	Alimentation station de pompage de la Vidale (Canal Cabedan-Neuf)

Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Etat	Description	Dimensions	Utilisation	Fonction de l'ouvrage
OR-19669	19 669	Caramède	Vanne plate à crémaillère	Moyen	4 vannes plates et 1 vanne AMIL + 1 déversoir	01 vanne dont (hauteur = 1,59 m et largeur = 1,94 m; 03 vannes dont hauteur = 1,59 m et largeur = 1 m; Vanne AMIL type D280	En service	Alimentation de la prise gravitaire "Caramède" équipé de module à masque du canal de l'Isle et maintien d'un niveau d'eau suffisant pour le bon fonctionnement de la sonde de mesure du canal de l'Isle.
OR-20922	20 922	Robion	Vanne plate à crémaillère	Moyen	6 vannes dont 2 vannes transversales motorisées	06 vannes identiques dont hauteur = 1,89 m et largeur = 1,06 m pour chaque vanne	En service	Alimentation de la station de pompage de la SCP
OR-21208	21 208		Batardeau	Dégradé	-		Hors service	
OR-21772	21 772	Le Moutillon	Batardeau	Bon	2 batardeaux		En service	Alimentation de la station de pompage de Moutillon (canal de l'Isle)
OR-23038	23 038	Ronflon	Vanne plate à crémaillère	Moyen	6 vannes en travers non motorisée	Vannes identiques dont hauteur = 1,49 m et largeur = 1,05 m pour chaque vanne	En service	Alimentation de la prise de Tour Sabran du canal de l'Isle
OR-23784	23 784	Route de Robion	Batardeau	Bon	-	-	-	Alimentation de la station de pompage de l'Arrousaire (canal de l'Isle) lors de prélèvement important pour l'arrosage en période de gel.

Annexe 5. Modalités de gestion des prises des canaux membres

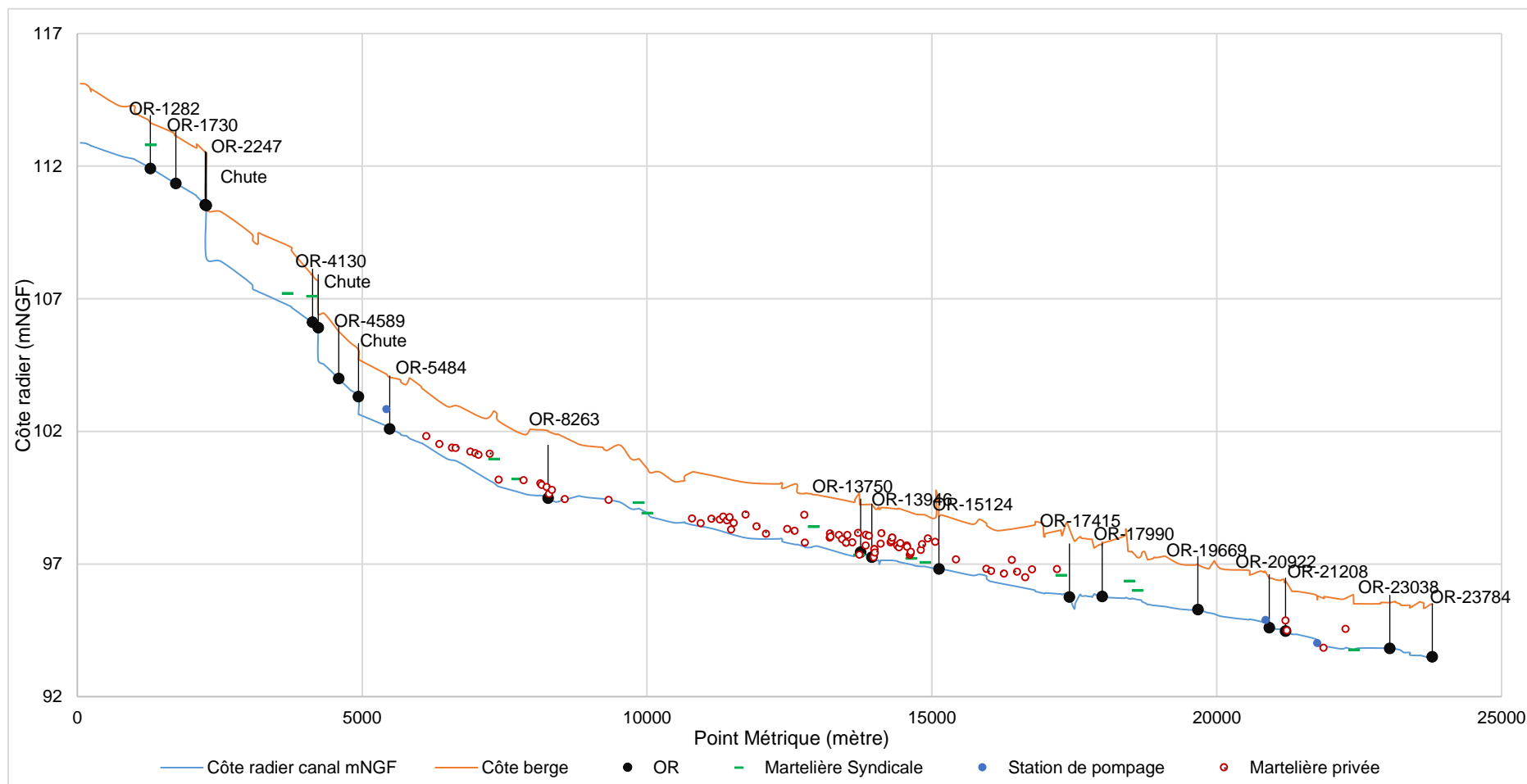
a) Mode de distributions et modalité de gestion en période normale

Structure	Type de prise	Mode distribution pour les usagers de la structure	Paramètre le plus important à sécuriser au niveau du canal de l'Union	Equipements de mesure	Qui est en charge de la manipulation des vannes de prises sur le canal de l'Union	Echange avec canal de l'Union pour adapter les débits	Organisation de la maintenance
ASCO du canal de Cabedan Neuf	Filiole syndicale	A la demande	Débit : Cela permet aux membres d'arroser leurs parcelles quand ils le souhaitent.	Débitmètre KROHNE Débitmètre ABB Débitmètre portatif (ISCO portable/2150)	Agent du Cabedan Neuf/Conducteur du canal de l'Union	Les gardes canaux du Cabedan Neuf préviennent le conducteur du canal de l'Union pour les gros volumes notamment pour les prises syndicales	Réalisée par les gardes canaux du Cabedan Neuf pendant la période de chômage / si besoin appel à un prestataire pour le génie civil ou le terrassement
	Filiole privée	A la demande			Propriétaires et Agent du Cabedan Neuf	Pas de remontée d'information	
	Station de pompage	A la demande	<ul style="list-style-type: none"> • Débit pour les stations situées à Cheval Blanc • Niveau d'eau pour celle des Taillades 	Débitmètre électromagnétiques raccordés à un SOFREL S 550	Agent du Cabedan Neuf	Aucun échange: les stations démarrent et s'arrêtent à la demande	
	Pompage privé	A la demande			Propriétaires et Agent du Cabedan Neuf	Pas de remontée d'information	
ASA du Canal Saint-Julien	Module à masque (prise Bel Hoste)	A la demande	Niveau d'eau: Maintenu constant à l'aide d'une vanne AMIL	Module à masque Vannes Rubicon Echelles limnimétriques Sondes	Gardes canaux et techniciens de l'ASA du canal St Julien	Le canal Saint Julien adresse ses demandes de prélèvement 48h en avance au conducteur du canal de l'Union qui devra ajuster le débit en tête.	Effectuée par les gardes canaux du canal Saint Julien et supervisée par les techniciens
ASCO du Canal de l'Isle	Gravitaire	A la demande	<p>Débit : Pour alimenter les prises quel que soit le niveau d'eau dans le canal de l'Union</p> <p>Niveau d'eau : 80 cm (pour les petits débits) et (95 cm pour les débits importants). Cela permet de faire fonctionner correctement la vanne déversante de la prise située à la Tour de Sabran.</p> <p>Un niveau d'eau de 1,49 m doit être maintenu à la prise de Caramède pour la fiabilité des mesures de débit.</p>	La vanne déversante est équipée d'une mesure de débit et une mesure de secours (loi h/q).	<ul style="list-style-type: none"> • Vanne déversante : Canal de l'Isle, après avoir informé l'Union de la consigne de débit • Passe de secours : Personnel du canal de l'Union 	Les gardes-canaux de l'Isle neuf communiquent par téléphone avec ceux de l'Union pour les différents changements à effectuer.	<ul style="list-style-type: none"> • Concernant les ouvrages de prises, la maintenance est assurée par l'ASCO du canal de l'Isle. • Intervention d'un prestataire extérieur pour la partie électronique / électromécanique.
	Filiole privée	Non utilisée	-		-		
	Station de pompage	A la demande	Niveau d'eau : Pour éviter le risque de désamorçage des stations de pompage de Moutillon et l'Arrousaire	Chaque station dispose d'un débitmètre. Il existe un équipement de mesure de la hauteur sur Caramède et l'Arrousaire (exploitées par le personnel de l'Union)	Station de pompage (autre que l'Arrousaire) : démarrage et arrêt automatique Station de l'Arrousaire : Le personnel de l'union gère les démarrages / arrêts en fonction du niveau dans le bassin de desserte.	Les gardes canaux de l'Isle informent le conducteur du canal de l'Union des changements de débit de prélèvement des pompes de l'Arrousaire. Les échanges se font par appel téléphonique.	
ASA du canal Carpentras	Continuité du canal de l'Union: le canal de l'Union devient canal Carpentras	A la demande	Niveau d'eau : Pour alimenter la station de pompage et éviter le désamorçage des pompes et les débordements.	Débitmètre ultraflux - Mesure par ultrason		Pour la demande d'une consigne, les échanges ont lieu par téléphone entre les personnes d'astreinte des 2 canaux. Les Valeurs de prélèvement sont communiquées chaque début de mois au canal de l'Union	La sonde est nettoyée une à deux fois par mois en période de pointe (ou plus si un défaut est suspecté/observé) par la personne d'astreinte.
ASA du Canal de Méridol	Filiole syndicale (Prévoit et Grand Menier)	A la demande	Débit : Pour permettre l'arrosage des plantes les plus défavorisées	Echelle de niveau	Le garde des ruisseaux	En général, le garde des ruisseaux échange directement avec les gardes canaux du canal de l'Union. Pour une demande particulière, les échanges se font par courrier si nécessaire.	Réalisée soit par le garde des ruisseaux lui-même soit sous-traité si les travaux sont plus importants.
Société de Canal de Provence (SCP)	Station de pompage	A la demande	Niveau d'eau dans le canal d'arrivée pour stopper la station avant désamorçage.	Mesure de niveau en continu du canal Présence d'un débitmètre en sortie de station.	Démarrage et Arrêt automatique	La gestion de la prise se fait en autonomie. Dès l'apparition du seuil bas, le gestionnaire du canal de la SCP est appelé. S'il y'a arrêt des pompes sur niveau bas de la prise (1 m), le conducteur du canal de l'Union est appelé pour remonter le niveau d'eau dans le canal	Effectuée par le personnel de la SCP.

b) Mode de distributions et modalité de gestion en période pluvieuse

Structure	Type de prise	Gestion des prises			Qui est en charge de la manipulation des vannes de prises	Temps d'anticipation des fermetures des prises	Echange avec canal de l'Union pour la fermeture des prises	
		Fermeture totale ?	Fermeture partielle ?	Commentaires				
ASCO du canal de Cabedan Neuf	Filiole syndicale	Oui en fonction des cas (alerte orange ou pas)	Oui en fonction des cas (alerte orange ou pas)	-	Agent du Cabedan Neuf	Dans les 6-12 h avant l'évènement pluvieux	Des échanges se font à la veille par téléphone entre gardes ou directeurs si besoin.	
	Filiole privée							
	Station de pompage							
	Pompage privé							
ASA Canal Saint-Julien	Module à Masque	Oui pour certaines filioles	Oui pour certaines filioles	-	Gardes canaux et/ou agent d'astreinte	La fermeture des prises se fait en prévision des pluies (météo, Vigicrue, pompiers de la préfecture), mais également pendant la pluie	-	
ASCO du canal de l'Isle	Gravitaire	Le prélèvement sur la prise gravitaire n'est pas modifié sauf situation exceptionnelle			-	-	-	
	Filiole privée	Non utilisée	Non utilisée	-	-	-	-	
	Station de pompage	Il est souvent constaté une baisse ou un arrêt des prélèvements sur les différentes stations.			-	-	-	
ASA du canal Carpentras	Continuité du canal de l'Union	Non	Non	L'ASA du canal Carpentras demande une consigne de niveau à maintenir à l'entrée du canal	-	01 à 1.5 jour avant l'évènement pluvieux	Pour un niveau d'eau très élevé dans le canal de Carpentras, dans un premier temps, le canal de Carpentras utilise ses vannes de décharge pour délester le volume en excès dans des cours d'eau du département (Nesque, Salette, Mède, Auzon). Si la situation perdure et devient difficile à gérer avec les vannes de décharges, le canal de Carpentras demande une baisse de la consigne au canal de l'Union.	
ASA du Canal de Mérindol	Filiole syndicale	Oui	Non	-	Le garde des ruisseaux	Sur avis météo et les sources météo de Carpentras, basé sur l'expérience et la tenue de son pluviomètre, le garde canal intervient pour réagir au cumul pluviométrique.	Le garde des ruisseaux appelle la secrétaire du canal de l'Union pour l'informer de la décision terrain.	
Société de Canal de Provence (SCP)	Station de pompage	Mise à l'arrêt de la SP pour réduire la turbidité de l'eau dans les réseaux d'eau sous pression.			-	Réalisé manuellement par le technicien de la SCP	-	Pas de remontée d'information. Il n'a pour l'instant jamais été nécessaire de fermer la prise.

Annexe 6. Profil en long du canal de l'Union



Annexe 7. Résultats de la campagne de jaugeages

a) Résultats de la première campagne de jaugeage (21 et 22 avril 2020)

N°	PM	Nom	Type revêtement	Date	Heure 1er jaugeage	Heure dernier jaugeage	Nombre de mesures	Hauteur d'eau (m)	Q mesuré (m ³ /s)	Incertitude (m ³ /s)	Incertitude (%)
1	147	Prise de Méringol	Trapèze béton	21/04/2020	10h14	10h36	7	0,9	8,543	0,082	0,96%
2	5780	La Roquette	Trapèze béton	21/04/2020	11h14	11h22	6	1,01	7,471	0,076	1,02%
3	8400	Prise Bel Hoste	Trapèze béton	21/04/2020	12h10	12h24	6	1,31	4,373	0,038	0,87%
4	9750	Amont D. Redortier	Trapèze béton	21/04/2020	13h46	13h55	6	0,78	4,399	0,03	0,68%
5	12995	SP Valloncourt	Trapèze béton	21/04/2020	14h29	14h41	6	1,07	3,996	0,031	0,78%
6	17910	Taillade	Trapèze Terre	21/04/2020	15h16	15h30	6	1,4	3,848	0,088	2,29%
7	19815	Pr. Caramède	Trapèze béton	21/04/2020	15h57	16h09	6	1,04	3,652	0,026	0,71%
8	21030	D. Robion	Dalle béton	22/04/2020	09h56	10h08	6	0,82	3,29	0,027	0,82%
9	22490	Pr. Tour de Sabran	Trapèze béton	22/04/2020	12h15	12h26	6	0,92	2,619	0,01	0,38%
10	23730	Fin canal	Trapèze béton	22/04/2020	12h50	13h01	6	1,11	2,783	0,026	0,93%

b) Résultats de la deuxième campagne de jaugeage (07 et 08 juillet 2020)

N°	PM	Nom	Type revêtement	Date	Heure 1er jaugeage	Heure dernier jaugeage	Nombre de mesures	Hauteur d'eau (m)	Q mesuré (m ³ /s)	Incertitude (m ³ /s)	Incertitude (%)
1	147	Prise de Méringol	Trapèze béton	07/07/2020	11h03	11h24	5	1,27	13,112	0,066	0,51%
2	5780	La Roquette	Trapèze béton	07/07/2020	12h07	12h24	6	1,34	12,086	0,091	0,75%
3	8400	Prise Bel Hoste	Trapèze béton	07/07/2020	13h37	13h56	8	1,7	7,895	0,057	0,72%
4	9750	Amont D. Redortier	Trapèze béton	07/07/2020	14h57	15h11	7	1,1	7,641	0,087	1,14%
5	12995	SP Valloncourt	Trapèze béton	08/07/2020	10h04	10h58	7	1,42	7,298	0,027	0,37%
6	17910	Taillade	Trapèze Terre	08/07/2020	11h50	12h10	8	1,41	5,925	0,032	0,54%
7	19815	Pr. Caramède	Trapèze béton	08/07/2020	13h56	14h06	6	1,2	5,716	0,064	1,12%
8	21030	D. Robion	Dalle béton	08/07/2020	14h51	15h04	7	1,07	4,937	0,06	1,21%
9	22490	Pr. Tour de Sabran	Trapèze béton	08/07/2020	15h45	15h59	7	1,22	3,849	0,023	0,59%
10	23730	Fin canal	Trapèze béton	08/07/2020	16h31	16h32	6	1,41	3,838	0,025	0,66%

Annexe 8. Hypothèses relatives à la part du débit des bassins versants

Numéro BV	Exutoire	PM du point de rejet	Hypothèse relative au pourcentage du débit entrant dans le canal		
			Evènement de décembre de 2019	Evènement théorique T = 10 ans	Evènement théorique T = 20 ans
1	Canal de l'Union - lors des évènements majeurs	4 112	0%	0%	Lors du dépassement de Q10
2	Filiole de Prévost	-	0%	0%	0%
3	Canal de l'Union et au-delà via le pont	15 073	75%	75%	75%
4	Canal de l'Union	6 009	100%	100%	100%
5	Coulon - Franchissement inférieur du canal de l'Union	-	0%	0%	0%
6	Canal de l'Union et au-delà via le pont - Présence d'un bassin de rétention	12 952	50%	50%	50%
7	Canal de l'Union	8 439	100%	100%	100%
8	Canal de l'Union - lors des évènements majeurs	9 203	0%	0%	Lors du dépassement de Q10
9	Canaux irrigation	-	0%	0%	0%
10	Canaux irrigation	-	0%	0%	0%
11	Canal de l'Union	17 644	100%	100%	100%
12	Canal de l'Union	17 333	100%	100%	100%
13	Filiole "de Lauris"	-	0%	0%	0%
14	Canal de l'Union	3 039	100%	100%	100%
15	Canal de l'Union - lors des évènements majeurs	13 736	0%	0%	Lors du dépassement de Q10
16	Franchit intégralement le canal de l'Union	-	0%	0%	0%
17	Canal de l'Union	20 065	100%	100%	100%
18	Filiole du Nord	-	0%	0%	0%
19	Filiole "de Lauris"	-	0%	0%	0%
20	Canal de l'Union	13 936	100%	100%	100%
21	Canal de l'Union - lors des évènements majeurs	9 940	0%	0%	Lors du dépassement de Q10
22	Canal de l'Union - Présence d'un bassin de rétention	13 736	75%	75%	75%
23	Canal de l'Union	8 648	100%	100%	100%
24	Canal de l'Union	7 344	100%	100%	100%
25	Canal de l'Union	5 459	100%	100%	100%

Numéro BV	Exutoire	PM du point de rejet	Hypothèse relative au pourcentage du débit entrant dans le canal		
			Evènement de décembre de 2019	Evènement théorique T = 10 ans	Evènement théorique T = 20 ans
26	Canal de l'Union	11 848	100%	100%	100%
27	Canal de l'Union	10 411	100%	100%	100%
28	Filiole du Nord	-	0%	0%	0%
29	Canal de l'Union	15 687	100%	100%	100%
30	Canal de l'Union	6 353	100%	100%	100%
31	Filiole "de Lauris"	-	0%	0%	0%
32	Canal de l'Union	3 568	100%	100%	100%
33	Canal de l'Union	9 746	100%	100%	100%
34	Canal de l'Union	6 999	100%	100%	100%
35	Canal de l'Union	8 267	100%	100%	100%
36	Filiole "de Lauris"	-	0%	0%	0%
37	Filiole "de Lauris"	-	0%	0%	0%
38	Filiole "de Lauris"	-	0%	0%	0%
39	Filiole du Nord	-	0%	0%	0%
40	Canal de l'Union	16 969	100%	100%	100%
41	Canal de l'Union	16 438	100%	100%	100%
42	Canal de l'Union	16 020	100%	100%	100%
43	Canaux irrigation - Cabedan	-	0%	0%	0%
44	NA	-	0%	0%	0%

Annexe 9. Coefficients de débit des ouvrages en ligne

a) Vannes plates à crémaillère

Les vannes plates à crémaillère qui sont installées dans le canal de l'Union sont soit seules ou couplées avec une vanne AMIL. Ces vannes plates sont modélisées, soit avec coefficient de débit standard (valeur par défaut de SIC) ou avec coefficient de débit dont la valeur a été calée selon les pertes de charges mesurées pendant les campagnes de jaugeage.

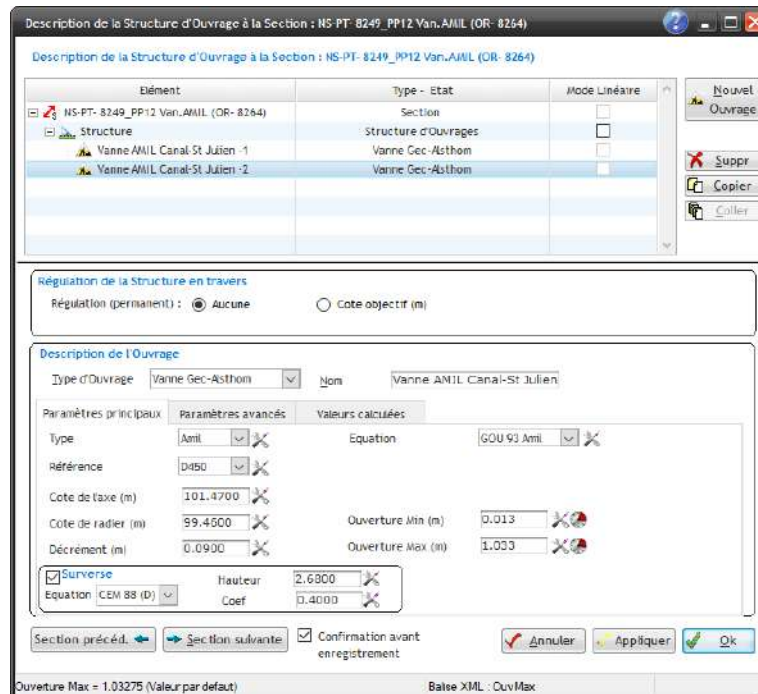
Coefficient de débit des vannes plates à crémaillère

N°	Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Coefficient de débit	Commentaires
1	OR-2247	2247	Ancien Moulin	Batardeau + Vanne plate à crémaillère	0.6	Valeur standard
2	OR-5484	5484	La Roquette	Vanne plate à crémaillère	0.65	Valeur calée avec des pertes de charge
3	OR-17414	17414	Les Taillades	Vanne plate à crémaillère + roue + déversoir transversal (bord à arêtes vives)	0.6	Valeur standard
4	OR-20922	20922	Robion	Vanne plate à crémaillère	0.6	Valeur calée avec des pertes de charge
5	OR-23038	23038	Ronflon	Vanne plate à crémaillère	0.65	Valeur calée pour obtenir un bon résultat de calage du site 9

b) Vannes AMIL

Quatre ouvrages de vannes AMIL sont construits en ligne dans le canal de l'Union. Les vannes sont modélisées avec les paramètres standard de chaque modèle et en considérant le réglage classique de la vanne. Le niveau d'eau de consigne en amont est fixé égal au niveau de l'axe.

Vannes AMIL modélisés sous SIC avec les paramètres standards



c) Batardeaux

Les batardeaux sont des ouvrages mobiles. Les lois hydrauliques appliquées pour ces ouvrages sont variables selon la hauteur de la pelle (planches).

Coefficient de débit des batardeaux

N°	Code	PM	Secteur	Type d'ouvrage	Coefficient de débit	Commentaires
1	OR-1282	1282	Mérindol	Batardeau (trapézoïdale)	Cd rect* = 0.4 Cd tri** = 1.35	Valeur standard
2	OR-1730	1730	Mérindol	Batardeau (trapézoïdale)	Cd rect = 0.4 Cd tri = 1.35	Valeur standard
3	OR-2247	2247	Ancien Moulin	Batardeau (rectangulaire) + Vanne plate à crémaillère	Cd = 0.4	Valeur standard
4	OR-4130	4130	La Montagne	Batardeau (rectangulaire)	Cd = 0.4	Valeur standard
7	OR-13750	13750	La Baraillère	Vanne AMIL + batardeau (rectangulaire)	Cd = 0.4	Valeur standard
8	OR-13946	13946	La Baraillère	Roue + Batardeau (rectangulaire) + déversoir transversal (bord à arêtes vives)	Cd = 0.4	Valeur standard
9	OR-15124	15124	Vidauque	Vanne AMIL + batardeau (rectangulaire)	Cd = 0.4	Valeur standard
11	OR-17965	17965	Les Taillades	Batardeau (rectangulaire)	Cd = 0.4	Valeur standard
12	OR-19669	19669	Caramède	Vanne AMIL + Vanne plate à crémaillère + déversoir transversal (bord arrondi)	Cd = 0.4	Valeur standard
14	OR-21772	21772	Le Moutillon	Batardeau (trapézoïdale)	Cd = 0.4	Valeur standard
16	OR-23784	23784	Route de Robion	Batardeau (rectangulaire)	Cd = 0.35	Valeur calée pour obtenir un bon résultat de calage des sites 9 et 10

(*) : Rectangulaire

(**) : Triangulaire

d) Déversoirs transversaux

Il s'agit de déversoirs placés à 90° par rapport au sens principal d'écoulement. Ils sont toujours associés à un autre ouvrage en parallèle, de type vanne AMIL ou Roue.

Trois (3) déversoirs de ce type ont été mis en place. Ces déversoirs sont modélisés avec les coefficients de débit de 0,32 pour les déversoirs à arêtes arrondies et de 0,27 pour les déversoirs à arêtes vives (Lencastre, 1996).

e) Roues

Deux roues sont mises en place en ligne dans le canal de l'Union. Ces roues créent des pertes de charge dans le canal quand elles fonctionnent. Afin de tenir compte de cet aspect, ces roues sont modélisées comme des vannes plates.

Roue à Baraillère

Description de la Structure d'Ouvrage à la Section : PP18_Déversoir Roue (OR- 13946)

Élément	Type- Etat	Mode Linéaire
PP18_Déversoir Roue (OR- 13946)	Section	<input type="checkbox"/>
Structure	Structure d'Ouvrages	<input type="checkbox"/>
Déversoir à arêtes vives	Seuil rectangulaire	<input type="checkbox"/>
Batardeau	Seuil rectangulaire	<input type="checkbox"/>
Roue	Vanne rectangulaire	<input type="checkbox"/>

Régulation de la Structure en travers
Régulation (permanent) : Aucune Cote objectif (m)

Description de l'Ouvrage

Type d'Ouvrage : Vanne rectangulaire Non Roue

Cote de radier (m) : 97.2600 Equation : CFM.88 (V)

Largeur vanne (m) : 3.3600 Coefficient de débit : 0.6000

Ouverture vanne (m) : 2.0000

Surverse

Section précéd. Section suivante Confirmation avant enregistrement

Annuler Appliquer Ok

Annexe 10. Prises latérales modélisées

N°	Structure	Nom	Code	PM	Rive	Type	Côte radier (m NGF)
1	Mérindol	Grand Menier	PR-1288	1288	G	Martelière syndicale	112.8
2	Mérindol	Prévot	PR-1733	1733	G	Martelière syndicale	113.09
3	Cabedan neuf	La Montagne	PR-4121	4121	D	Martelière syndicale	107.1
4	Cabedan neuf	St. de Logis Neuf	PR-5426	5426	D	Station de pompage	102.84
5	Cabedan neuf		PR-6123	6123	G	Martelière privée	101.82
6	Cabedan neuf		PR-6578	6578	G	Martelière privée	101.39
7	Cabedan neuf		PR-6900	6900	G	Martelière privée	101.24
8	Cabedan neuf		PR-7238	7238	G	Martelière privée	101.16
9	Cabedan neuf	La Fond du Pin	PR-7314	7314	G	Martelière syndicale	100.96
10	Cabedan neuf	La Fond du Pin BP	PR-7726	7726	G	Martelière syndicale	100.2
11	Cabedan neuf		PR-8153	8153	G	Martelière privée	99.98
12	Cabedan neuf		PR-8241	8241	G	Martelière privée	99.9
13	St Julien	Bel Hoste	PR-8263	8263	G	Module à masque	
14	Cabedan neuf	Bel Host BP	PR-8433	8433	G	Martelière syndicale	101.56
15	Cabedan neuf	La Caneou BP	PR-8811	8811	G	Martelière syndicale	99.54
16	Cabedan neuf	La Campanette BP	PR-9227	9227	G	Martelière syndicale	99.47
17	Cabedan neuf	Saint Ferréol BP	PR-9858	9858	G	Martelière syndicale	99.32
18	Cabedan neuf	Grande Bastide BP	PR-10004	10004	G	Martelière syndicale	98.66
19	Cabedan neuf		PR-10995	10995		Martelière privée	
20	Cabedan neuf		PR-11028	11028		Martelière privée	
21	Cabedan neuf		PR-11340	11340	G	Martelière privée	98.79
22	Cabedan neuf		PR-11523	11523	G	Martelière privée	98.55
23	Cabedan neuf		PR-12089	12089	G	Martelière privée	98.14
24	Cabedan neuf		PR-12461	12461	G	Martelière privée	98.32
25	Cabedan neuf		PR-12592	12592	G	Martelière privée	98.25
26	Cabedan neuf		PR-12758	12758		Pompage privé	
27	Cabedan neuf		PR-12771	12771	G	Martelière privée	97.81
28	Cabedan neuf	St de Valloncourt	PR-12896	12896	G	Station de pompage	
29	Cabedan neuf		PR-13055	13055		Martelière privée	
30	Cabedan neuf		PR-13220	13220	G	Martelière privée	98.03
31	Cabedan neuf		PR-13424	13424	G	Martelière privée	97.94
32	Cabedan neuf		PR-13516	13516	G	Martelière privée	98.09
33	Cabedan neuf		PR-13603	13603	G	Martelière privée	97.82
34	Cabedan neuf	La Ceinture	PR-13727	13727	G	Martelière syndicale	97.35

N°	Structure	Nom	Code	PM	Rive	Type	Côte radier (m NGF)
35	Cabedan neuf		PR-13840	13840	G	Martelière privée	97.7
36	Cabedan neuf		PR-13992	13992	G	Martelière privée	97.56
37	Cabedan neuf		PR-14102	14102	G	Martelière privée	97.77
38	Cabedan neuf		PR-14277	14277	G	Martelière privée	97.82
39	Cabedan neuf		PR-14562	14562	G	Martelière privée	97.7
40	Cabedan neuf		PR-14566	14566	G	Martelière privée	97.65
41	Cabedan neuf		PR-14614	14614	G	Martelière privée	97.34
42	Cabedan neuf	La Cressonne	PR-14637	14637	G	Martelière syndicale	97.21
43	Cabedan neuf		PR-14806	14806	G	Martelière privée	97.53
44	Cabedan neuf	Les Oppèdes	PR-14884	14884	G	Martelière syndicale	97.06
45	Cabedan neuf		PR-14928	14928	G	Martelière privée	97.97
46	Cabedan neuf		PR-15061	15061	G	Martelière privée	97.84
47	Cabedan neuf		PR-15275	15275		Martelière privée	
48	Cabedan neuf		PR-15424	15424	G	Martelière privée	97.17
49	Cabedan neuf		PR-15516	15516	G	Martelière privée	
50	Cabedan neuf		PR-15780	15780		Martelière privée	
51	Cabedan neuf		PR-15958	15958	G	Martelière privée	96.82
52	Cabedan neuf		PR-16496	16496	G	Martelière privée	96.71
53	Cabedan neuf		PR-16757	16757	G	Martelière privée	96.8
54	Cabedan neuf	CD 143 BP	PR-16943	16943	G	Martelière syndicale	95.96
55	Cabedan neuf	Les Durands	PR-17265	17265		Martelière syndicale	
56	Cabedan neuf	La Prudhomme	PR-17272	17272	G	Martelière syndicale	96.58
57	Cabedan neuf	Plan Oriental	PR-17414	17414	G	Martelière syndicale	
58	Cabedan neuf	Vidale	PR-17772	17772	D	Station de pompage	96.11
59	Isle	Filiolle 0	PR-18611	18611	G	Martelière syndicale	96
60	Isle	Filiolle 1	PR-18948	18948	G	Martelière syndicale	
61	Isle	Caramède	PR-19628	19628	G	Module à masque	
62	SCP	SCP	PR-20856	20856	D	Station de pompage	94.89
63	Isle	Moutillon	PR-21765	21765	G	Station de pompage	94.02
64	Isle	Tour de Sabran	PR-22410	22410	G	Martelière syndicale	93.83
65	Isle	L'Arrousaire	PR-23624	23624	D	Station de pompage	95.53
66	Carpentras	Carpentras	PR-23784	23784	aval		

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s) : Mastère Spécialisé

Spécialité : Eau Potable et Assainissement

Auteur

Attikora Kouadio Ulrich ETCHE

Année

2019 - 2020

Titre

Etude de modernisation de la régulation du canal de l'Union Luberon Sorgue Ventoux

Nombre de pages texte 72 annexes 30

Nombre de références bibliographiques : 11

Structure d'accueil : BRL ingénierie | Nîmes | France

Maître de stage : Pierre SAVEY | Directeur de projet

Résumé

L'étude de modernisation de la régulation du canal a pour but d'optimiser la régulation et la modernisation des ouvrages que l'Union Luberon-Sorgue-Ventoux a en gestion. Ce présent rapport de stage est relatif au diagnostic du fonctionnement actuel.

Les visites de terrain effectuées et les enquêtes auprès des associations syndicales de propriétaires ont permis de faire un état des lieux des ouvrages présents le long du canal et définir leurs modalités de gestion durant la saison d'irrigation.

Les données des campagnes de levés topographiques et de jaugeage ont permis de construire le modèle hydraulique du canal sous le logiciel SIC puis, de faire le calage et la validation.

Le modèle a été utilisé pour simuler le fonctionnement hydraulique du canal en période de pointe et hors pointe, en période pluvieuse et en période de restriction des prélèvements.

Mots-clés :

Canal, irrigation, ouvrage, régulation, modernisation, modèle, SIC, simulation