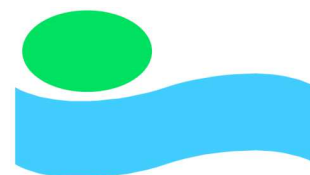


A.S.C.O. DES ARROSANTS DE LA CRAU

Département des Bouches-du-Rhône (13)



**CANAL de CRAPONNE
Branche d'Arles**

« In Aqis Futura »

CANAL DE CRAPONNE BRANCHE D'ARLES

**ETUDE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE
REGULATION GLOBALE**

**RAPPORT DE PHASE 2 :
MODELISATION DU FONCTIONNEMENT
ACTUEL DU CANAL**

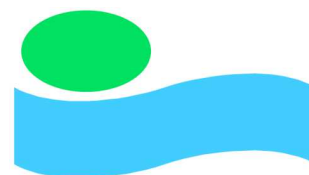
AVRIL 2018

**SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMENAGEMENT DE LA REGION PROVENÇALE**









Le Tholonet - CS 70064 - 13182 Aix-en-Provence CEDEX 5
Tél. 04 42 66 70 00 - Fax. 04 42 66 70 80 - www.canal-de-provence.com

Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'Eau RM&C et du Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône



Canal de Craponne Branche d'Arles
Etude pour la mise en place d'une régulation globale

Rapport de phase 2 : Modélisation du fonctionnement actuel du canal

N° du Marché	2015_12_18-13-ETU-REGULATION ASCO		
Indice	0	1	2
Rédigé par	<p>Audrey NOAILLY : Chef de projet Visa :</p>  <p>Le : 9/02/2018</p>	<p>Audrey NOAILLY : Chef de projet Visa :</p>  <p>Le : 1/03/2018</p>	<p>Audrey NOAILLY : Chef de projet Visa :</p>  <p>Le : 10/04/2018</p>
Vérifié par	<p>Georges FAVREAU Directeur de projet Visa : Le : 9/02/2018</p> 	<p>Georges FAVREAU Directeur de projet Visa : Le : 1/03/2018</p> 	<p>Georges FAVREAU Directeur de projet Visa : Le : 10/04/2018</p> 

RESUME / CONCLUSION

Le canal de Craponne branche d'Arles s'étend sur 42 km, depuis le partiteur d'Eyguières jusqu'à son exutoire dans le Rhône à Arles. Il traverse les communes d'Eyguières, Aureille, Mouriès et Saint-Martin-de-Crau. Le droit d'eau maximum de cette branche s'élève à 13 180 l/s, et la desserte annuelle est comprise entre 170 et 200 Mm³. L'ASCO des Arrosants de la Crau est le gestionnaire de cette branche. Elle compte plus de 1 800 adhérents, pour près de 2 400 arrosants, principalement des producteurs de foin de Crau (irrigation gravitaire), arboriculteurs et maraichers.

Un Schéma Directeur du canal de Craponne branche d'Arles a été réalisé en 2014-2015. Ce document a mis en évidence une **problématique fonctionnelle du canal en période de pointe**, aboutissant à un **manque d'eau pour les usagers aval** du canal (générant des tensions), ainsi qu'un fonctionnement de la vanne AMIL du Coadjuteur dans des conditions inappropriées.

C'est dans ce contexte que l'ASCO a confié à la SCP cette étude dont l'objectif global est de **proposer des aménagements** visant à **réaliser des économies d'eau et améliorer l'adéquation besoin / ressources**. Les aménagements proposés porteront sur la limitation des rejets au Rhône, le contrôle des débits aux prises et l'identification et la réparation de certains ouvrages dégradés générant des pertes.

Ce rapport présente les résultats de la deuxième phase de l'étude, portant sur la modélisation du fonctionnement actuel du canal.

Pour mener à bien cette phase, le modèle SIC², exploité pour le Schéma Directeur de 2015, a été actualisé et son calage a été repris sur la base des nouvelles mesures disponibles. A partir de ce modèle deux scénarios hydrauliques ont été testés :

- Scénario A : Fonctionnement théorique du canal

Ce scénario correspond à un **fonctionnement de pointe du canal**, où le débit en tête est le droit d'eau maximal du canal et où les prises prélèvent leur droit d'eau selon le respect du tour d'eau (calendrier fourni par l'ASCO). Le jour 13 du mois a été retenu pour ce scénario car il correspond à un jour où les prélèvements sont maximaux.

- Scénario B : Fonctionnement actuel du canal

Ce scénario correspond à un **fonctionnement du canal plus proche de la réalité**. Les hypothèses retenues pour ce scénario sont les mêmes que pour le scénario A, en considérant le débit jaugé aux prises (lors de la campagne de mesure de juin 2017) au lieu du droit d'eau.

Cette modélisation en régime permanent est complétée par une simulation en régime transitoire pour représenter les variations sur la journée, en considérant certaines prises fermées entre 0h00 et 8h00, en particulier en aval du Moulin de Chambremont.

En conclusion, les modélisations réalisées mettent en évidence quelques secteurs de capacité limitante :

- pont de la Tapie,
- pont Poissonnier,
- proximité prise 4 et 4bis RD (luzernes),
- amont prise 33 RG (Les Blancs),
- pont Bellevue,
- pont Servanne.

Les prises sont globalement toutes alimentées. Certaines **prises ne sont pas complètement en charge**, d'où un risque de non atteinte du débit théorique (droit d'eau). Il s'agit de 12 prises en rive gauche et 1 en rive droite, situées **sur la partie amont du canal, en amont du Moulin de Chambremont**.

La différence principale entre ces deux scénarios est le débit transitant dans le canal principal, en raison des hypothèses sur les débits prélevés (théorique ou jaugés). La comparaison des résultats met en évidence trois fonctionnements distincts :

- **En amont du jumelage** les débits transitant dans le canal sont proches dans les deux scénarios (théorique et jaugé). Cela signifie que **les débits prélevés sont généralement proche du droit d'eau**,
- **Entre le jumelage et la vanne de Moulès**, les débits transitant dans le canal sont supérieurs pour le scénario B. Cela signifie qu'en **moyenne les prises de ce tronçon prélèvent moins que leur droit d'eau**.
- **En aval de la vanne de Moulès**, la situation s'inverse, **les débits prélevés sont donc généralement supérieurs aux droits d'eau**.

Les scénarios de modélisation et l'analyse des mesures dans le canal mettent donc en évidence que **les débits transitant dans le canal, en aval de la vanne de Moulès**, sont généralement **plus faibles par rapport au scénario théorique**, d'où un **manque d'eau** sur ce secteur et en aval et une **mauvaise alimentation des prises**. De plus, sur les mois de juin, juillet et août, le débit à saint Victor est parfois quasiment nul, synonyme de manque d'eau.

La modélisation réalisée en **régime transitoire** met en évidence que les **variations de débit** observées dans le canal principal, en aval de Chambremont, ont comme origine une **variation des pratiques d'irrigation** dans cette zone. En effet une fermeture des prises la nuit (entre 0h00 et 8h00) permet globalement de retrouver, par simulation, les variations observées dans le canal.

La gestion actuelle du canal (régulation par l'amont) implique un fonctionnement avec un surplus d'eau et demande une très grande connaissance du canal, et beaucoup de maîtrise de la part des exploitants.

Les économies d'eau, c'est-à-dire la limitation du prélèvement en tête et la limitation des décharges en aval, passent par un meilleur contrôle des débits prélevés, ou la création de zones de stockage pour compenser les écarts de prélèvement le temps que le débit en tête soit ajusté.

Les pistes suivantes sont envisageables pour améliorer la gestion du canal ; elles seront développées dans la suite de l'étude :

- regroupement de certaines prises,
- sécurisation de l'alimentation de certaines prises (sur la partie amont),
- création de zones de stockage,
- modification et motorisation des ouvrages de régulation.

SOMMAIRE

1	PRESENTATION.....	8
1.1	CONTEXTE.....	8
1.2	METHODOLOGIE.....	9
1.3	BIBLIOGRAPHIE ET DONNEES SOURCES	10
2	ETAT DES LIEUX	11
2.1	PRESENTATION DU CANAL DE CRAPONNE BRANCHE D'ARLES	11
2.1.1	<i>Présentation générale.....</i>	11
2.1.2	<i>Ouvrages de régulation</i>	11
2.2	EQUIPEMENTS DE MESURES ET DE TELEGESTION.....	15
2.2.1	<i>Mesures</i>	15
2.2.2	<i>Télégestion des partiteurs [Source Schéma Directeur de 2015].....</i>	16
2.3	DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT ACTUEL	18
2.3.1	<i>Dotations.....</i>	18
2.3.2	<i>Fonctionnement des prises</i>	18
2.3.3	<i>Analyse des mesures</i>	21
3	MODELISATION DU CANAL	33
3.1	PRESENTATION DU MODELE.....	33
3.1.1	<i>Logiciel.....</i>	33
3.1.2	<i>Construction du modèle.....</i>	33
3.1.3	<i>Conditions limites.....</i>	33
3.2	CALAGE.....	34
3.3	HYPOTHESES ET SCENARIOS	42
3.3.1	<i>Capacité du canal de Craponne branche d'Arles.....</i>	42
3.3.2	<i>Scénario A : fonctionnement théorique du canal.....</i>	42
3.3.3	<i>Scénario B : fonctionnement actuel du canal</i>	42
4	RESULTATS	43
4.1	CAPACITE DU CANAL DE CRAPONNE BRANCHE D'ARLES	43
4.2	SCENARIOS A ET B REGIME PERMANENT	44
4.2.1	<i>Lignes d'eau par secteur</i>	44
4.2.2	<i>Synthèse.....</i>	52
4.3	SCENARIO B REGIME TRANSITOIRE.....	54
4.4	TESTS DE SENSIBILITE – COEFFICIENT DE STRICKLER.....	60
4.4.1	<i>Hypothèses.....</i>	60
4.4.2	<i>Résultats.....</i>	60
5	CONCLUSIONS ET REFLEXION POUR LA PHASE SUIVANTE.....	65

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Canal de Craponne branche d'Arles et ses principaux ouvrages	8
Figure 2 : Schéma des partiteurs d'Eyguières et de Pont Paradis	12
Figure 3 : Schéma des ouvrages régulateurs constitués d'une vanne AMIL, d'un déversoir et d'une vanne à glissière verticale (source : Schéma Directeur de 2015).....	13
Figure 4 : Localisation des ouvrages de régulation et mesure sur le canal	14
Figure 5 : Fonctionnement schématique du système de télégestion en place (source Schéma Directeur de 2015).....	17
Figure 6 : Evolution du débit théorique délivré aux prises au cours de l'année - en % du droit d'eau (source Schéma Directeur de 2015)	18
Figure 7: Composition d'une prise (filiole).....	19
Figure 8 : Prises jaugées – Présence d'un bassin de calibration	20
Figure 9 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – Mai 2017	22
Figure 10 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – Juin 2017 ...	22
Figure 11 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – Juillet 2017..	23
Figure 12 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – août 2017....	23
Figure 13 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 1	24
Figure 14 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 2	25
Figure 15 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 3	26
Figure 16 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 4	26
Figure 17 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 5	27
Figure 18 : Consommation zone 1 : Pont Paradis – Pont Poissonnier – Juin 2017.....	28
Figure 19 : Consommation zone 2 : Pont Poissonnier - Chambremont – Juin 2017	28
Figure 20 : Consommation zone 3 : Chambremont - Moulès – Juin 2017.....	29
Figure 21 : Consommation zone 4 : Moulès - Coadjuteur – Juin 2017.....	29
Figure 22 : Consommation zone 5 : Coadjuteur – Saint Victor– Juin 2017	30
Figure 23 : Relevé limnimétrique de 5 prises principales entre juillet et août 2017	31
Figure 24 : Variation de débits sur la journée – 22 et 23 juillet 2017	32
Figure 25 : Variation de débits sur la journée – 24 et 26 juillet 2017	32
Figure 26 : Calcul des temps de transit, modélisation d'un échelon de débit	36
Figure 27 : Moulin de Chambremont – source : Schéma d'implantation de la station - OTT ..	38
Figure 28 : Courbe de tarage – Moulin de Chambremont.....	39
Figure 29 : Capacité du canal de Craponne branche d'Arles.....	43
Figure 30 : Ligne d'eau entre la prise de la Haute-Crau et le Moulin de Chambremont – 8 m ³ /s	43
Figure 31 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – de Pont Paradis à Jumelage	45
Figure 32 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – Du Jumelage à la prise de la Haute-Crau.....	47
Figure 33 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – de la prise de la Haute-Crau au Moulin de Chambremont	47
Figure 34 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – du Moulin de Chambremont à la vanne AMIL de Perrot.....	48
Figure 35 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL de Perrot à celle de Moulès.....	50
Figure 36 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL de Moulès à celle de Rabet	50
Figure 37 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL de Rabet à celle du Coadjuteur.....	51
Figure 38 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL du Coadjuteur au dégrilleur d'Arles.....	51
Figure 39 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – débits transitant dans le canal	53
Figure 40 : Scénario B – Régime transitoire – variation de débit dans le canal principal.....	55

Figure 41 : Scénario B – Régime transitoire – variation de débit dans le canal principal – cas 2.....	55
Figure 42 : Résultats scénario B régime transitoire – Moulin de Chambremont – Perrot	57
Figure 43 : Résultats scénario B régime transitoire – Perrot - Moulès	57
Figure 44 : Résultats scénario B régime transitoire – Moulès – Rabet.....	58
Figure 45 : Résultats scénario B régime transitoire – Rabet – Coadjuteur	58
Figure 46 : Résultats scénario B régime transitoire – Coadjuteur – Dégrilleur d'Arles.....	59
Figure 47 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – du Moulin de Chambremont à la vanne AMIL de Perrot.....	62
Figure 48 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL de Perrot à celle de Moulès	62
Figure 49 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL de Moulès à celle de Rabet.....	63
Figure 50 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL de Rabet à celle du Coadjuteur.....	63
Figure 51 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL du Coadjuteur au dégrilleur d'Arles.....	64

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des mesures sur le canal principal	15
Tableau 2 : Coefficient de Strickler	34
Tableau 3 : Coefficients de Strickler appliqués au canal de Craponne Branche d'Arles.....	34
Tableau 4 : Débit jaugés les 30 mai et 3 août 2017	35
Tableau 5 : Calage des temps de transit	36
Tableau 6 : Coefficients de Strickler retenus, après calage	37
Tableau 7 : Cote du zéro des échelles limnimétriques.....	37
Tableau 8 : Calage –Poissonnier.....	38
Tableau 9 : Calage - Chambremont.....	39
Tableau 10 : Calage - Moulès.....	40
Tableau 11 : Calage - Coadjuteur.....	40
Tableau 12 : Tableau de synthèse calage	41

1 PRESENTATION

1.1 Contexte

L'Association Syndicale Constituée d'Office (ASCO) des Arrosants de la Crau est le gestionnaire du canal de Craponne branche d'Arles. L'ASCO compte plus de 1 800 adhérents, pour près de 2 400 arrosants, principalement des producteurs de foin de Crau (irrigation gravitaire), arboriculteurs et maraichers.

Le canal de Craponne branche d'Arles s'étend sur 42 km, depuis le partiteur d'Eyguières jusqu'à son exutoire dans le Rhône à Arles. Il traverse les communes d'Eyguières, Aureille, Mouriès et Saint-Martin-de-Crau. Le droit d'eau maximum dont est doté le canal de Craponne branche d'Arles s'élève à 13 180 l/s, et la desserte annuelle est comprise entre 170 et 200 Mm³.

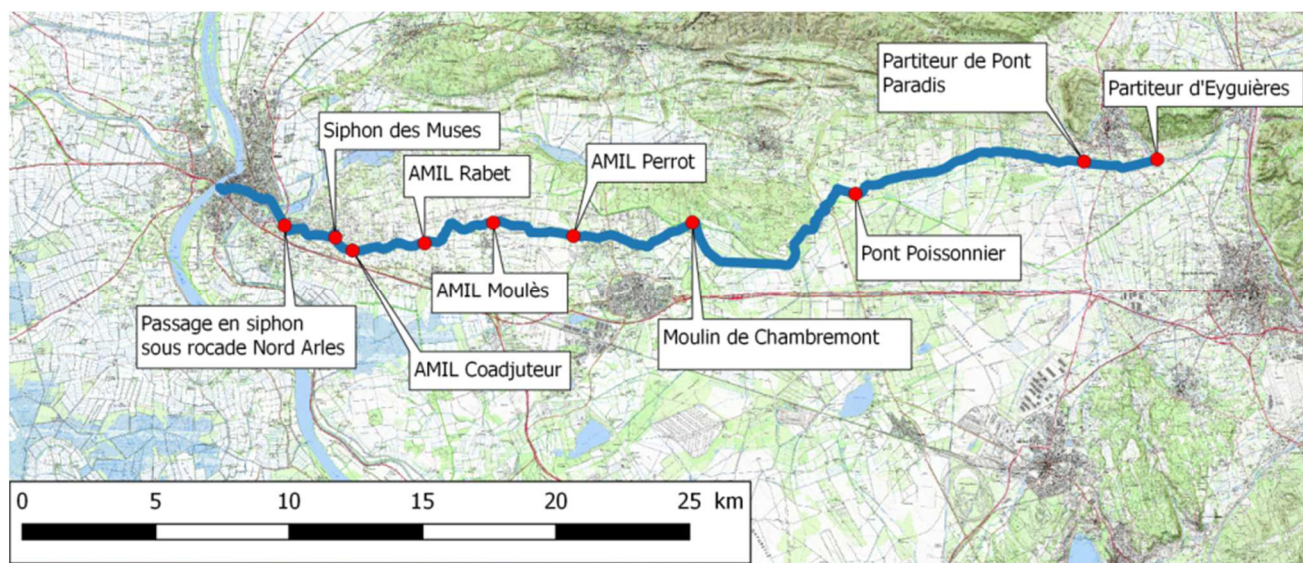


Figure 1 : Canal de Craponne branche d'Arles et ses principaux ouvrages

Un Schéma Directeur du canal de Craponne branche d'Arles a été réalisé en 2014-2015. Ce document a mis en évidence une problématique fonctionnelle du canal en période de pointe, aboutissant à un manque d'eau pour les usagers aval du canal (générant des tensions), ainsi qu'un fonctionnement de la vanne AMIL du Coadjuteur dans des conditions inappropriées.

Cette problématique vient d'un contrôle insuffisant des débits délivrés au départ des branches secondaires et des pertes d'eau en ligne.

C'est dans ce contexte que l'ASCO a confié à la SCP cette étude dont l'objectif global est de proposer des aménagements visant à réaliser des économies d'eau et améliorer l'adéquation besoin / ressources. Les aménagements proposés porteront sur la limitation des rejets dans le Rhône, le contrôle des débits aux prises, et l'identification et la réparation de certains ouvrages dégradés générant des pertes.

La méthodologie mise en œuvre pour répondre à cet objectif est la suivante :

- Phase 1 : acquisition de plus de connaissances sur le fonctionnement réel du canal et de ses prises,
- Phase 2 : modélisation du fonctionnement actuel du canal,
- Phase 3 : définition des marges de progression pour un meilleur équilibre besoin / ressource, et d'actions visant les règles de gestion et les aménagements nécessaires.

Ce rapport porte sur la phase 2.

1.2 Méthodologie

Pour mener à bien cette mission, la première phase de l'étude a consisté en la réalisation de différentes mesures sur le canal et ses prises :

- jaugeage des 110 prises d'irrigation et sur quatre sections du canal principal :
 - du 6 juin au 26 juin 2017,
 - par une équipe composée de deux techniciens en métrologie et d'une ingénieure en alternance chargée de recueillir le témoignage des exploitants,
- relevé topographique des cotes caractéristiques des prises :
 - de 6 jours du 17 au 19 juillet, puis du 24 au 26 juillet 2017,
 - par une équipe composée d'un technicien topographe et d'un ingénieur en alternance chargé de réaliser la modélisation hydraulique du canal,
- mesure en continu de 5 prises principales du canal entre le 21 juillet et le 20 novembre 2017.

En plus des jaugeages, cette première campagne de terrain a permis de réaliser un diagnostic de l'état des prises et des entretiens avec l'exploitant pour comprendre le fonctionnement des ouvrages, leurs manipulations, détecter les anomalies et recueillir les attentes des exploitants pour la modernisation de la régulation du canal.

Le rendu de cette phase est constitué d'un rapport de jaugeages et de la mise à jour des « fiches prises » issues du Schéma Directeur de 2014-2015 réalisé par BRLi.

La deuxième phase consiste en l'analyse et la modélisation du fonctionnement actuel du canal. Les mesures réalisées en phase 1 ont ainsi été exploitées pour mettre à jour le modèle hydraulique issu du Schéma Directeur.

Les mesures des capteurs du canal principal et des prises ont également été analysées pour analyser le fonctionnement actuel du canal.

1.3 Bibliographie et données sources

La présente étude est basée sur la bibliographie et les données sources présentées ci-après :

- Canal de Craponne branche d'Arles - Etude des possibilités d'aménagement ; Société du Canal de Provence ; mai 1983 ;
- Création d'une zone de rétention dans les carrières du Gouirard ; SOGREAH ; juillet 2004 ;
- Schéma Directeur du canal de Craponne branche d'Arles ; BRLi ; septembre 2015 ;
- Levés topographiques :
 - janvier / février 2013 – profils en travers [126676 CL 26 03 13.dwg] :
 - d'Eyguières à Saint Martin de Crau,
 - du pont du Mas de Perrot (Caphan) au pont de la RD 83a,
 - du pont de Rabet (Raphèle-lès-Arles) au pont Coadjuteur (Pont-de-Crau),
 - de la chute de Saint-Roman au dégrilleur (Pont-de-Crau).
 - mars 2005 - profil en long du canal principal [5838planche4CL.dwg] planches 1 à 15.
 - scan des plans d'installation des vannes (GC et équipements hydromécaniques), Barrage de Perrot, Moulès, Rabet, Coadjuteur et Saint Paul.
- Documents fournis par l'ASCO :
 - tableau des tours d'eau,
 - extraction Topkapi des hauteurs et débits aux stations de mesure (Pont Paradis, Pont Poissonnier, Chambremont, Moulès et Coadjuteur),
 - rapport de mise en place des stations de mesures (Pont Poissonnier, Chambremont, Moulès et Coadjuteur) et courbes de tarage associées,
 - correspondance hauteur/débit au déversoir de Saint Victor à Pont-de-Crau,
 - fichiers SIG du canal de ses ouvrages et des prises secondaires,
 - modèle SIC du canal de Craponne branche d'Arles issu du Schéma Directeur de 2015.

2 ETAT DES LIEUX

2.1 Présentation du canal de Crauponne branche d'Arles

2.1.1 Présentation générale

Le canal de Crauponne branche d'Arles, construit en 1582 sous l'initiative de l'ingénieur Adam de Crauponne, eut comme premier objectif d'exploiter la force de l'eau à l'aide de moulins. Son usage principal est désormais l'irrigation du foin de Crau.

Le canal s'étend sur 42 km, depuis le partiteur d'Eyguières jusqu'à son exutoire dans le Rhône à Arles. Il traverse cinq communes (Eyguières, Aureille, Mouriès, Saint-Martin-de-Crau et Arles) et permet l'irrigation de quelque 9 800 ha.

Le droit d'eau maximal du canal s'élève à 13 180 l/s, et la desserte annuelle est comprise entre 170 et 200 Mm³.

L'Association Syndicale Constituée d'Office des Arrosants de la Crau (« l'ASCO ») est l'actuelle gestionnaire de l'ouvrage. Elle compte 1 863 adhérents en 2014, des particuliers et 9 associations, ce qui équivaut à près de 2400 arrosants.

Le canal de Crauponne branche d'Arles est alimenté par le canal commun d'irrigation Boisgelin-Crauponne, lui-même alimenté par le canal EDF (aménagement hydroélectrique Durance-Verdon) à Lamanon, à partir des eaux de la Durance.

Le canal peut être divisé en deux sections distinctes :

- La partie amont : du partiteur de Pont Paradis au Moulin de Chambremont, où la pente est relativement forte (environ 2 ‰) et les berges du canal proches du terrain naturel,
- La partie aval : du Moulin de Chambremont à l'entrée d'Arles, où la pente est plus faible (environ 0,40 ‰) et les berges sont surélevées par rapport au terrain naturel. Les berges du canal constituent donc des « digues » pouvant atteindre 2,50 à 3 m de hauteur.

2.1.2 Ouvrages de régulation

A l'extrémité du canal commun de Boisgelin-Crauponne (alimenté par les eaux de la Durance), le partiteur d'Eyguières permet le partage des débits entre les canaux suivants :

- Canal de la Vallée des Baux,
- Canal d'Eyguières-Moulin,
- Canal de Crauponne branches d'Arles et Istres,
- Canal Jeanne de Crauponne.

Les deux branches du canal de Crauponne (Arles et Istres) se séparent au niveau du partiteur de Pont Paradis, situé environ 3 km à l'aval du partiteur d'Eyguières.

L'ASCO des Arrosants de la Crau assure la gestion de la prise commune au partiteur d'Eyguières, ainsi que le partiteur de Pont Paradis et la branche d'Arles. La branche d'Istres est, quant à elle, gérée par l'ASA de Crauponne Istres.

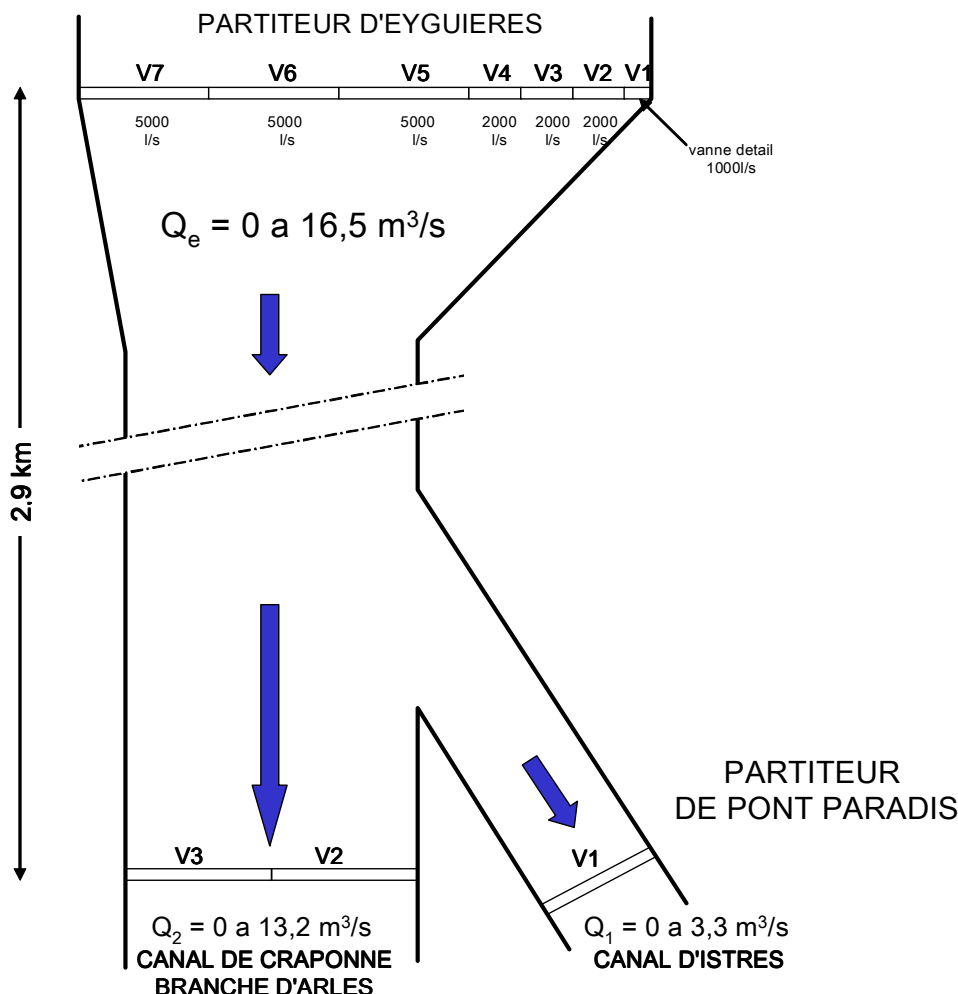


Figure 2 : Schéma des partiteurs d'Eyguières et de Pont Paradis

En aval du partiteur de Pont Paradis, le canal de Craponne branche d'Arles comporte quatre ouvrages de régulation de type vanne AMIL. Ces vannes se situent toutes sur la deuxième partie du canal, en aval du Moulin de Chambremont (cf. carte de localisation Figure 4).

Placée dans un canal, la vanne AMIL permet de maintenir constamment à sa cote d'équipement le niveau du bief amont, et ceci indépendamment du débit s'écoulant dans le canal (tant que celui-ci reste dans la plage de fonctionnement fournie par le constructeur). Pour de faibles débits, la vanne est presque fermée et se soulève à mesure que le débit croît. Au débit maximum, elle ne provoque qu'une perte de charge réduite.

Sur le canal de Craponne branche d'Arles, chaque vanne AMIL est associée de manière identique à un déversoir et à une vanne verticale à glissière selon la disposition présentée sur la figure ci-dessous.

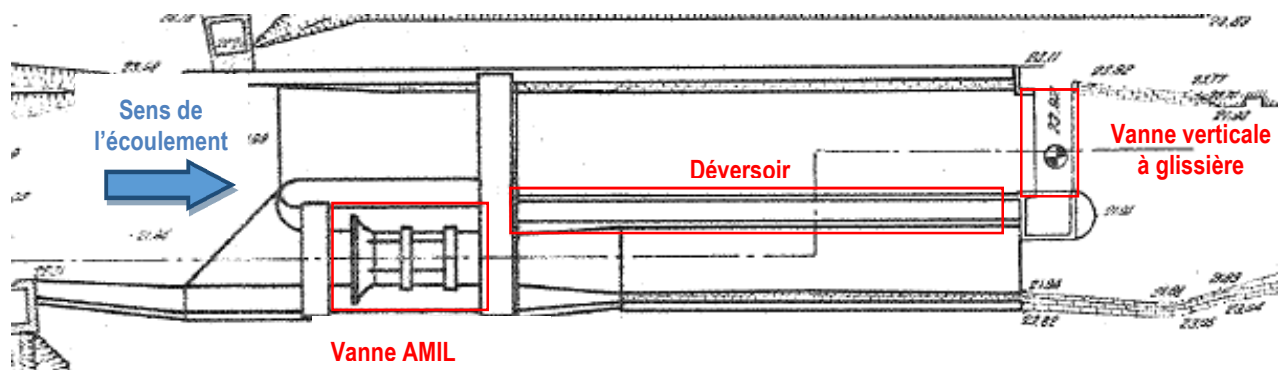


Figure 3 : Schéma des ouvrages régulateurs constitués d'une vanne AMIL, d'un déversoir et d'une vanne à glissière verticale (source : Schéma Directeur de 2015)

Les vannes AMIL du canal de Craponne branche d'Arles sont toutes les quatre des vannes D280 dont la plage de fonctionnement s'étend de 1 m³/s à environ 4,45 m³/s.

La hauteur d'eau maintenue en amont, dans le cas d'un réglage classique, correspond à la hauteur de l'axe des vannes AMIL mais également à la hauteur du déversoir dans le cas présent, soit 1,25 m au-dessus du radier localement. Le déversoir permet, en cas d'arrivée excessive d'eau, d'en évacuer une partie. La vanne verticale à glissière, aussi appelée vanne de décharge, reste fermée en permanence. Elle est occasionnellement ouverte lors des vidanges du canal ou pour réguler le niveau d'eau.

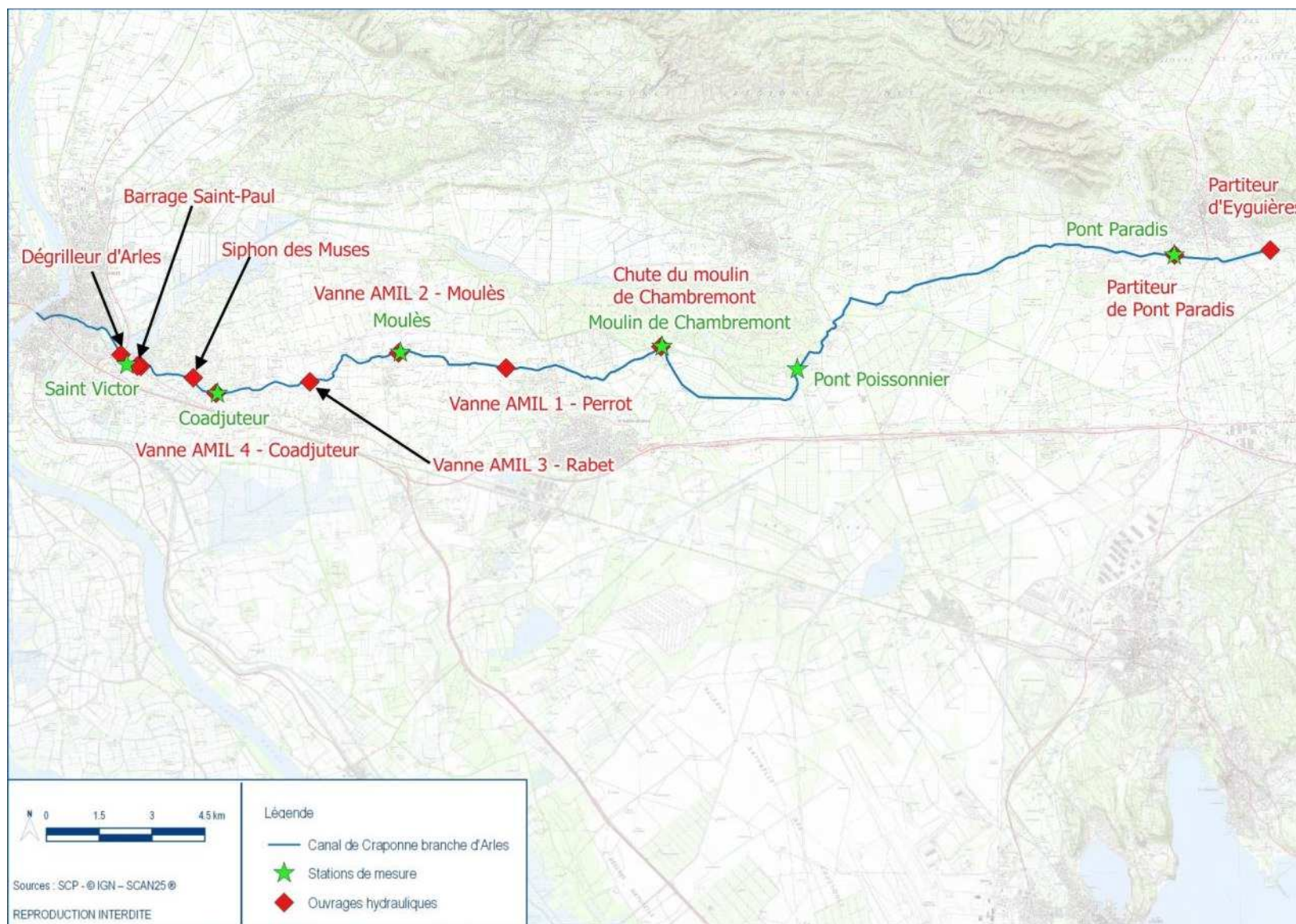


Figure 4 : Localisation des ouvrages de régulation et mesure sur le canal

2.2 Equipements de mesures et de télégestion

2.2.1 Mesures

L'ASCO s'est doté d'un réseau de mesure le long de son canal, afin de mieux connaître son fonctionnement et d'en améliorer la gestion. Les informations de ce réseau de mesure sont centralisées sur un poste de télégestion installé dans les locaux de l'ASCO à Pont-de-Crau. Depuis 2014 ce réseau est constitué de six points de mesure.

- au niveau de la branche d'Arles en aval du partiteur de Pont Paradis,
- au niveau du pont Poissonnier,
- en amont du Moulin de Chambremont,
- en amont de la vanne AMIL de Moulès,
- en amont de la vanne AMIL du Coadjuteur,
- seuil de Saint Victor à Pont-de-Crau, derrière les locaux de l'ASCO (en amont du centre-ville d'Arles).

Les informations et équipements sur chaque site de mesure sont récapitulés dans le tableau suivant :

Site	PK	Localisation	Mesure en place (pas de temps)	Equipements
Pont Paradis	2 900	Branche d'Arles en aval du Partiteur	Mesure de débit (5 minutes)	
Pont Poissonnier	15 530	17,6 m en amont du pont en rive droite	Mesure de hauteur d'eau (15 minutes) Débit calculé à l'aide d'une courbe de tarage	Echelle limnimétrique et capteur Ecolog 500
Moulin de Chambremont	20 967	13,80 m en amont du moulin en rive gauche	Mesure de hauteur d'eau (15 minutes) Débit calculé à l'aide d'une courbe de tarage	Echelle limnimétrique et capteur Ecolog 500
Moulès	28 993	45 m en amont de la vanne en rive droite	Mesure de hauteur d'eau et de débit (30 minutes)	Echelle limnimétrique et mesure SLD
Coadjuteur	35 115	35 m en amont de la vanne en rive gauche	Mesure de hauteur d'eau et de débit (30 minutes)	Echelle limnimétrique et mesure SLD
Seuil de Saint Victor	38 211		Hauteur d'eau (1 minute)	

Tableau 1 : Liste des mesures sur le canal principal

Ces mesures concernent uniquement le canal principal. Les débits aux prises gravitaires ne sont généralement pas mesurés. L'ASCO a procédé au regroupement des trois prises des canaux de Rageyrol, Poulagères et Langlade, début 2017. Des mesures de débit ont été installées en tête du jumelage et sur ces trois départs. Les mesures sont disponibles depuis mai 2017.

2.2.2 Télégestion des partiteurs [Source Schéma Directeur de 2015]

Un système de télégestion permet la commande à distance des partiteurs d'Eyguières et de Pont Paradis. Ainsi, le suivi des débits entrant dans le canal et le réglage de ces débits peut se faire depuis les bureaux de l'ASCO.

Le fonctionnement des vannes est asservi à un commutateur trois positions « Distant / Local Auto / Local Manu » :

- Mode Distant : l'automate reçoit du poste central une consigne de débit (somme des débits demandés sur les branches d'Arles et d'Istres) pour l'ensemble de l'ouvrage. Il répartit ensuite cette consigne en fonction des débits unitaires de chaque vanne et termine par la vanne de régulation pour un ajustement précis. Une fois les vannes positionnées, l'automate vérifie que le débit mesuré à Pont Paradis correspond à la consigne. Le cas échéant, le PID ajuste la position de la vanne de régulation pour fournir le débit demandé.
- Mode Local Auto : il autorise le personnel à manoeuvrer les vannes par l'intermédiaire des boutons poussoirs mais sous le contrôle de l'automate.
- Mode Local Manu : le personnel agit sur les vannes avec les boutons poussoirs mais sans passer par l'automate. Il s'agit d'un mode dégradé où les sécurités (limiteurs, ...) sont conservées.

Cet ensemble est asservi, en mode distant, à un poste central de l'Union Boisgelin-Craponne qui permet également de définir une plage de débits maximum et minimum ainsi qu'un coefficient de réduction en cas de pénurie d'eau. L'Union a déjà planifié le renouvellement du matériel informatique de ce poste central ainsi que la mise à jour du logiciel de supervision.

Le partiteur d'Eyguières ne présente pas d'anomalie notable, le matériel d'automatisme et de télégestion est en état de marche et à jour. Il fait l'objet d'un contrat de maintenance.

C'est sur le partiteur de Pont Paradis que se produit un dysfonctionnement de la régulation lorsque les débits sont faibles. En effet, les vannes qui contrôlent l'entrée du canal de Craponne branche d'Arles au niveau de Pont Paradis ne sont pas reliées au système de télégestion en place. Pour les bas débits, ainsi que lorsque la branche d'Istres demande de l'eau tandis la branche d'Arles en souhaite peu (par exemple en cas de pluie localisée sur la Crau), le personnel de l'ASCO est obligé d'intervenir manuellement sur les vannes du partiteur de Pont Paradis (fermeture partielle des vannes de la branche d'Arles) pour que le canal d'Istres puisse disposer du débit souhaité.

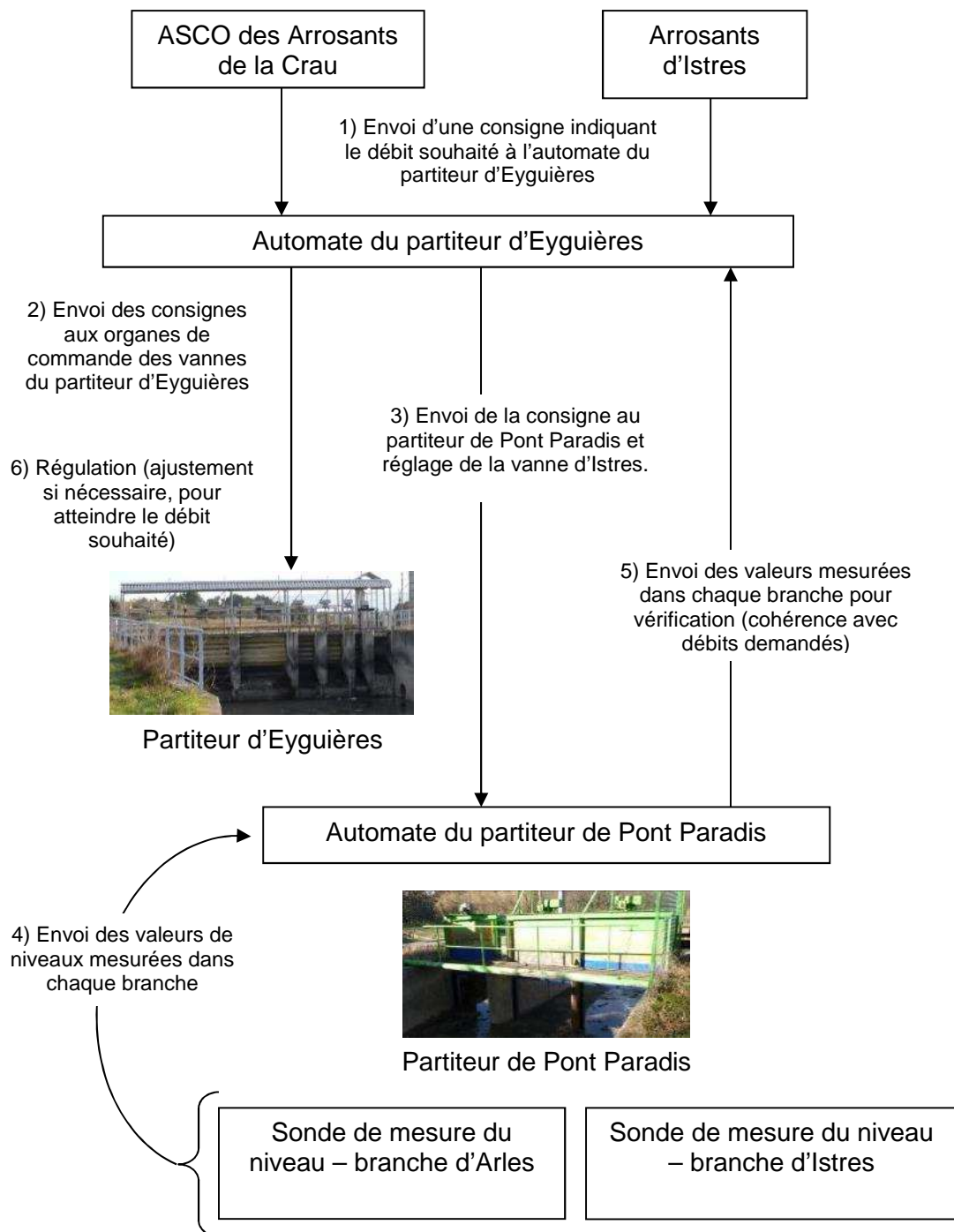


Figure 5 : Fonctionnement schématique du système de télégestion en place (source Schéma Directeur de 2015)

Les points de mesure sont localisés sur la carte, Figure 4.

2.3 Description du fonctionnement actuel

Ce paragraphe synthétise et analyse les données actuelles sur la répartition des débits du canal afin de mieux comprendre le fonctionnement et la gestion de ce dernier.

Les données suivantes ont été exploitées :

- tableau des tours d'eau avec le débit associé à chaque prise,
- mesures de débits sur le canal,
- jaugeages réalisés lors de la phase 1.

2.3.1 Dotations

La dotation annuelle de l'ASCO est de 251,60 Mm³, et un débit maximal de 13,18 m³/s. Le prélèvement annuel de l'ASCO varie d'environ 170 à 200 Mm³/an (cf. Schéma Directeur de 2015).

Les variations de débit dans le canal sont liées aux besoins en eau des prairies. Ainsi on observe généralement un **pic de consommation entre mars et avril**, correspondant à la **première mise en eau**. S'en suit la première coupe en mai qui induit une baisse des besoins en eau d'irrigation. **Juin, juillet et août** correspondent aux **pics de besoins** qui diminuent ensuite très fortement dès la fin août/début septembre, une fois la période de fauche terminée.

Le débit théorique délivré à chaque prise varie au cours de l'année. Les mois de mai à août correspondent à la demande maximale où les prises peuvent prélever la totalité de leur droit d'eau. Le canal est généralement hors d'eau d'octobre/novembre à mars (les dates exactes de fermeture et d'ouverture varient suivant le climat de chaque année).

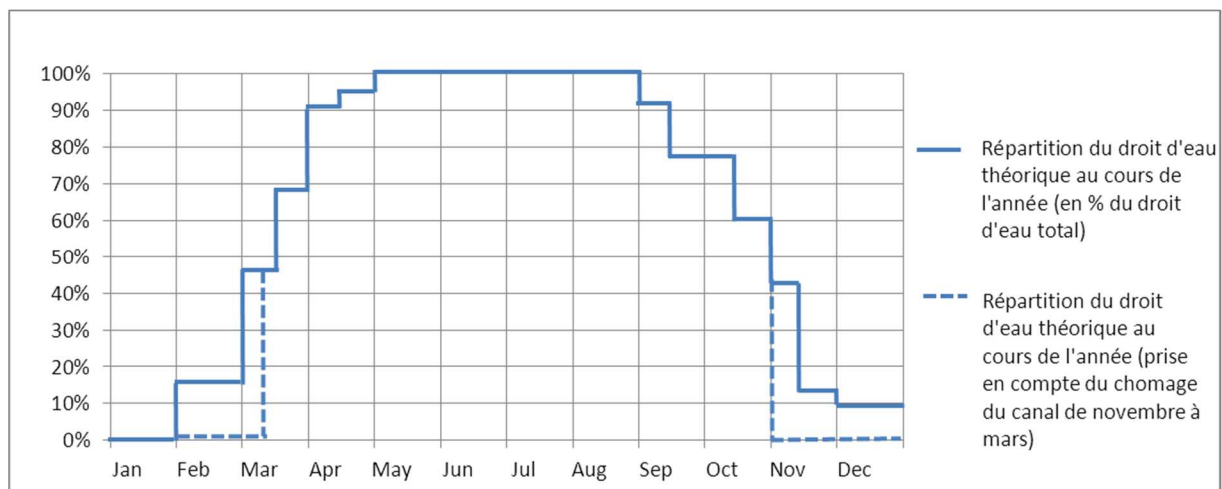


Figure 6 : Evolution du débit théorique délivré aux prises au cours de l'année - en % du droit d'eau (source Schéma Directeur de 2015)

2.3.2 Fonctionnement des prises

Le canal de Craponne branche d'Arles dessert de nombreuses branches secondaires (filiolles) alimentées par quelque 120 prises sur le canal principal. Ces filiolles sont, pour certaines d'entre elles, utilisées par un ou plusieurs adhérents, ou bien sont gérées collectivement par des associations de propriétaires (notamment lorsque les surfaces desservies sont importantes et/ou les adhérents nombreux).

Sur les 120 prises disposant d'un droit d'eau sur le canal entre le partiteur d'Eyguières et le dégrilleur de Pont-de-Crau, 10 concentrent plus de 55 % des droits d'eau. Parmi elles, les

prises des ASL de la Haute-Crau, de Langlade et du Rageyrol de Vergières concentrent environ 35 % des droits d'eau du canal.

Le débit théorique de chaque prise (droit d'eau) a été fixé à 1,20 l/s/ ha en continu, pendant les périodes de pleine irrigation. Certaines prises sont ouvertes en continu (78 prises) et d'autres sont ouvertes ou fermées par les gardes selon une fréquence définie par le calendrier d'arrosage (42 prises intermittentes). Trois gardes-canaux sont en charge du respect du tour d'eau et de la bonne répartition de la ressource en eau du canal entre toutes les prises. Pour assurer le réglage du débit, chaque vanne est généralement composée des ouvrages suivants :

- une vanne martelière placée directement sur le canal principal. Elle est gérée par l'agriculteur et n'est pas protégée (pas de cadenas) ;
- une vanne martelière gérée par le garde de l'ASCO, et qui est protégée par un cadenas ;
- un dispositif de réglage de débit constitué :
 - d'un canal secondaire dont l'extrémité est constituée d'un seuil mince (d'une largeur de 1 m ou 60 cm suivant les prises),
 - d'un canal secondaire puis d'un bassin de dissipation dont l'extrémité est constituée d'un seuil mince (d'une largeur de 1 m ou 60 cm suivant les prises) ;
- la filiole, permettant l'irrigation des parcelles.

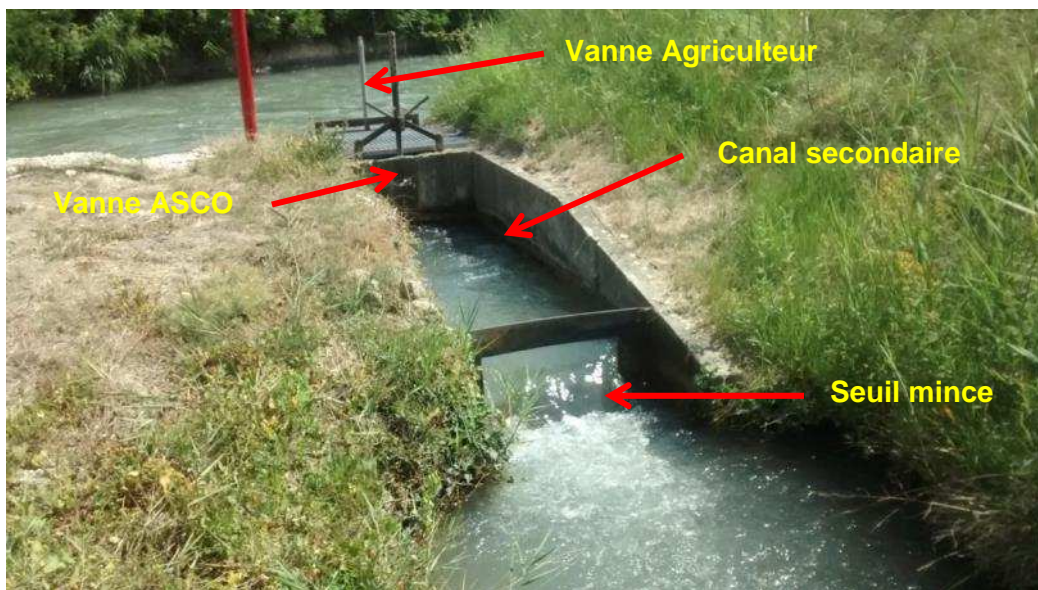


Figure 7: Composition d'une prise (filiole)

Le canal secondaire (ou le bassin de dissipation) joue un rôle de dissipation d'énergie, permettant ainsi d'obtenir un écoulement laminaire en amont du seuil mince. Le débit prélevé par la prise est estimé à partir de la hauteur de la lame déversante. Pour que cette mesure soit faite convenablement, il faut que le seuil soit dénoyé, avec une différence de niveau entre le seuil et le plan d'eau aval d'au moins 5 cm.

Certaines prises, principalement en rive droite, ne disposent pas de bassin de calibration, ce qui ne permet pas un réel contrôle des débits prélevés. Sur les 100 prises jaugées lors de la phase 1 entre le 6 et le 21 juin, 29 ne disposaient pas de bassin de calibration.

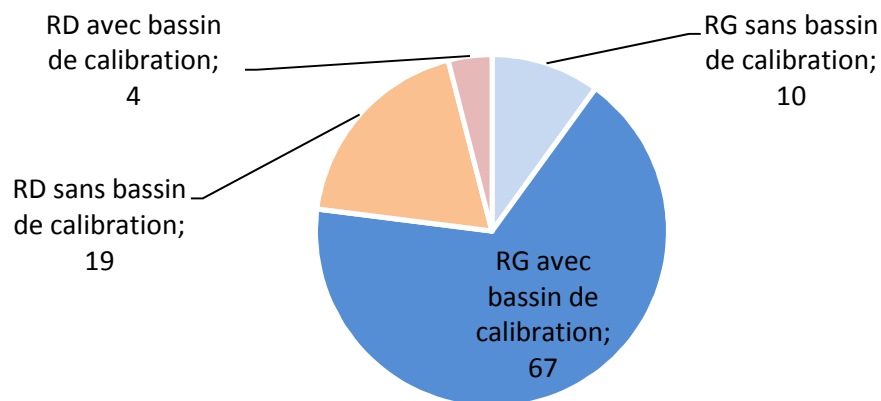


Figure 8 : Prises jaugées – Présence d'un bassin de calibration

La configuration générale et l'orientation Nord-Est / Sud-Ouest de la pente de la plaine de la Crau conditionnent le fonctionnement actuel des prises sur le canal de Craponne.

- **En rive droite**, les niveaux relatifs du canal et des terrains à arroser font que les surfaces irrigables par l'eau du canal sont relativement réduites. Pour gagner en hauteur et permettre l'irrigation d'une surface la plus grande possible, les prises de rive droite sont généralement caractérisées par :
 - Une position relativement haute par rapport au radier. En conséquence, le niveau d'eau à maintenir dans le canal pour leur alimentation est relativement élevé ;
 - L'absence de système de mesure de débit. En effet, la mise en place d'un système de calibrage similaire à celui mis en place sur les prises de rive gauche entraînerait une perte de charge qui limiterait les superficies irrigables.
 - Historiquement, ces prises de rive droite servaient à alimenter de petites surfaces de prairies ; les droits d'eau associés à ces prises étaient donc peu importants (total 562 ha de droit d'eau (environ 0,6 m³/s), hors prise de la Haute-Crau (1 500 ha de droit d'eau)), et la mise en place d'un système de contrôle du débit n'avait pas été jugée nécessaire.
 - De plus, ces prises sont intermittentes avec un fonctionnement libre. C'est-à-dire qu'elles ont la liberté de prélever de l'eau quand elles le souhaitent. Des négociations sont en cours avec ces usagers pour organiser leurs prélèvements sur les périodes moins sensibles du canal principal (périodes avec le moins de prélèvements). 18 prises sont concernées, de la prise 5 à la prise 28.
- La majeure partie des surfaces irriguées par le canal de Craponne sont localisées en **rive gauche**. La différence de niveau entre le canal et les terrains à irriguer facilite la mise en place d'un dispositif de mesure. La grande majorité des prises de rive gauche sont donc équipées d'un système de réglage des débits délivrés.

2.3.3 Analyse des mesures

Ce paragraphe présente une analyse des mesures suivantes :

- extraction de Topkapi des hauteurs d'eau et débits au niveau des 6 points de mesure du canal principal (cf. Tableau 1),
- débit théorique (droit d'eau) et jaugeage des 110 prises secondaires,
- mesure en continu des hauteurs d'eau des 5 prises principales (pas de temps de 15 minutes).

L'analyse porte sur l'année 2017, considérée comme représentative par les agents de l'ASCO, sur les 4 mois où la demande est maximale (mai, juin, juillet et août).

2.3.3.1 Analyse par mois

Les graphiques des pages suivantes représentent les variations de débit du canal principal en chacun des points de mesure, mois par mois.

Le mois de mai correspond à la première coupe du foin de Crau. En mai 2017, les débits en tête du canal augmentent progressivement au cours du mois. Le maximum est atteint à partir du 25 (jeudi de l'Ascension), avec un débit de l'ordre de 13 m³/s.

Les débits des stations de Moulès, Coadjuteur et Saint Victor présentent d'importantes variations au cours de la journée (de l'ordre d'un m³/s), à partir du 9 mai. L'origine de ces variations peut être les pratiques d'irrigation, la fermeture simultanée de plusieurs prises entraînant une augmentation de débit dans le canal. Ces variations journalières sont analysées plus en détail aux paragraphes 2.3.3.3 et 4.3.

Sur ce mois, le débit en aval du canal (Saint Victor) est parfois supérieur aux débits des stations situés en amont. Cette inversion de débit peut être liée à des apports d'eau dans le canal (pluvial, rejets de filioles) ou des erreurs de capteur. Ce phénomène est également visible du jeudi 11 au mardi 16 mai entre les stations de Moulès et Coadjuteur. Cette inversion de débit peut s'expliquer par l'apport d'un des rejets du canal de la Haute-Crau situé au PK 30 739, entre ces deux stations de mesures. Le deuxième rejet de ce canal est situé en amont de la prise 70 – Bédarides, à Pont-de-Crau, en amont de la station Saint Victor.

Le mois de juin correspond à un fonctionnement de pointe où toutes les cultures sont arrosées. En juin 2017, les débits en tête du canal dépassent régulièrement le droit d'eau total de 13,18 m³/s, avec une valeur moyenne de 13,70 m³/s environ. On observe également des pointes de débit ponctuelles au-delà de 14 m³/s. Cet écart est lié à un problème de mesure avec un décalage de 2 cm. Ce problème a été corrigé en juillet 2017.

Des variations journalières de débit sont visibles principalement sur les stations de Coadjuteur et Saint Victor, sur quasiment toute la durée du mois.

Le mois de juillet correspond également à un fonctionnement de pointe. Le débit en tête du canal reste quasiment tout le long du mois à la valeur du droit d'eau de 13,18 m³/s.

Des variations journalières de débit sont également visibles, tout le long du mois, sur les stations du Coadjuteur et Saint Victor, et également sur la station de Moulès, de façon plus marquée que sur les mois précédents.

Sur **le mois d'août 2017**, le débit en tête du canal est globalement constant à la valeur maximale du droit d'eau. Comme pour le mois de juillet, des variations de débit sont visibles sur les stations situées le plus en aval (Moulès, Coadjuteur et Saint Victor).

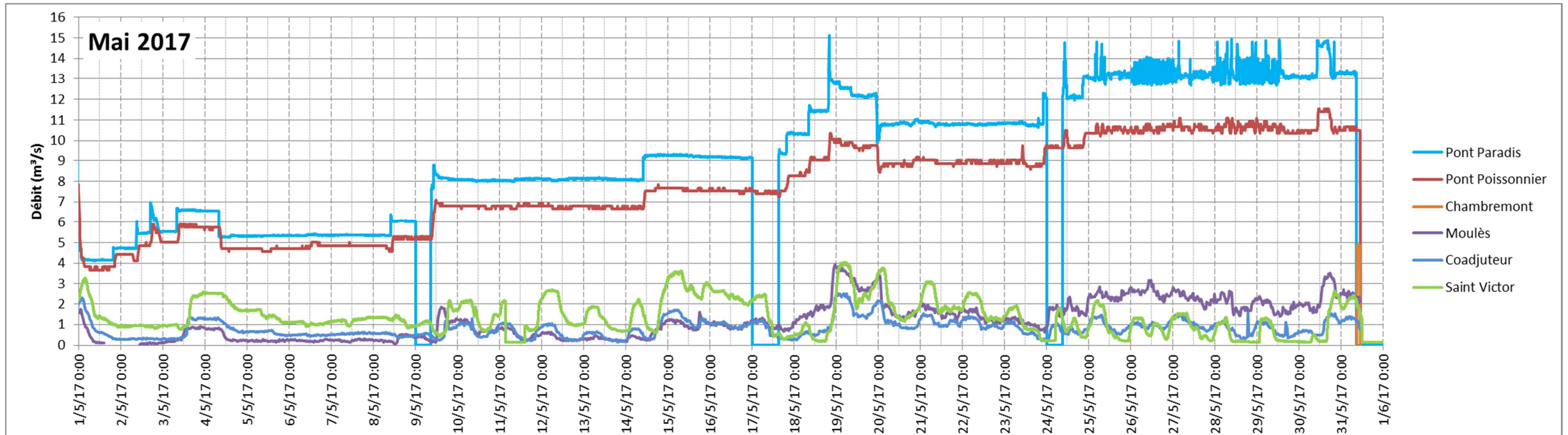


Figure 9 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – Mai 2017

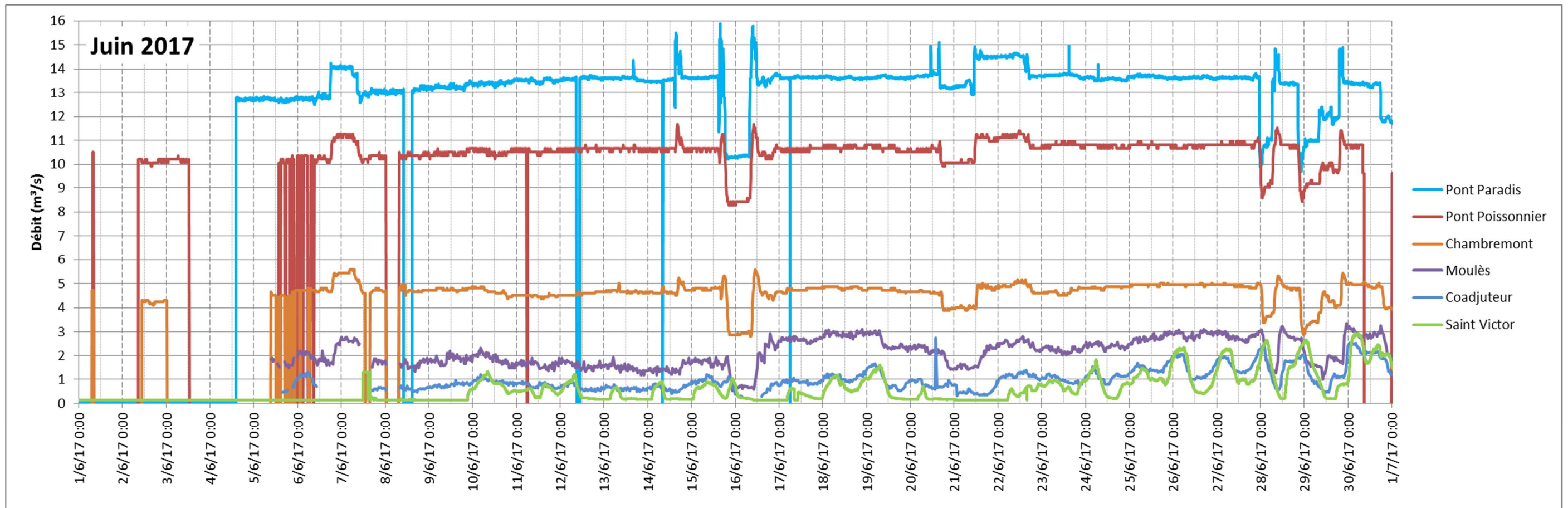


Figure 10 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – Juin 2017

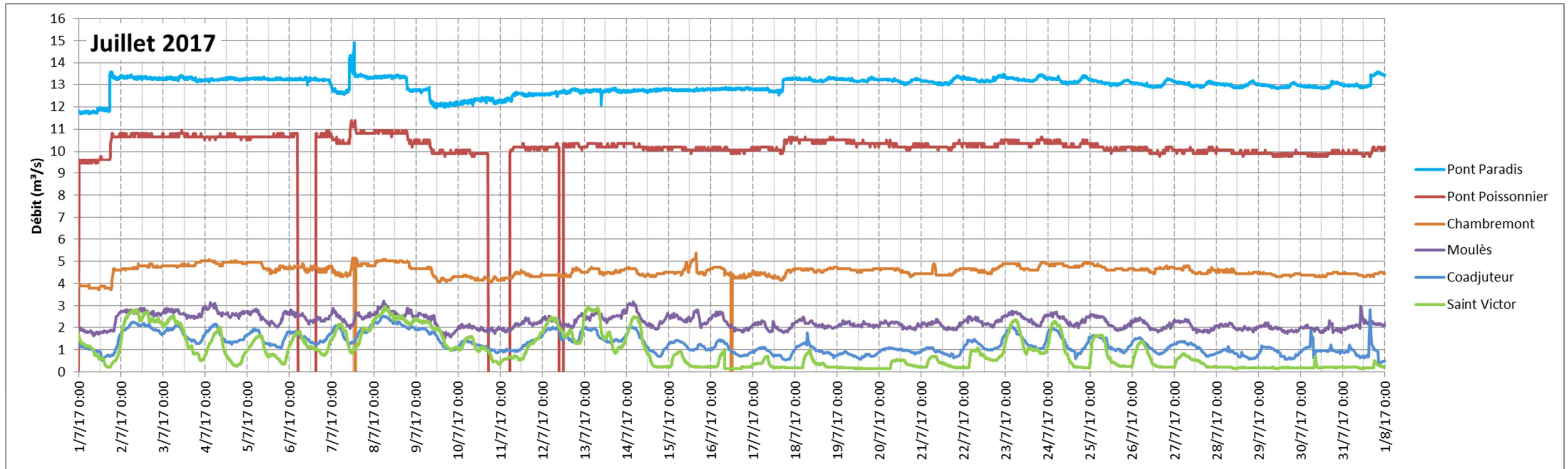


Figure 11 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – Juillet 2017

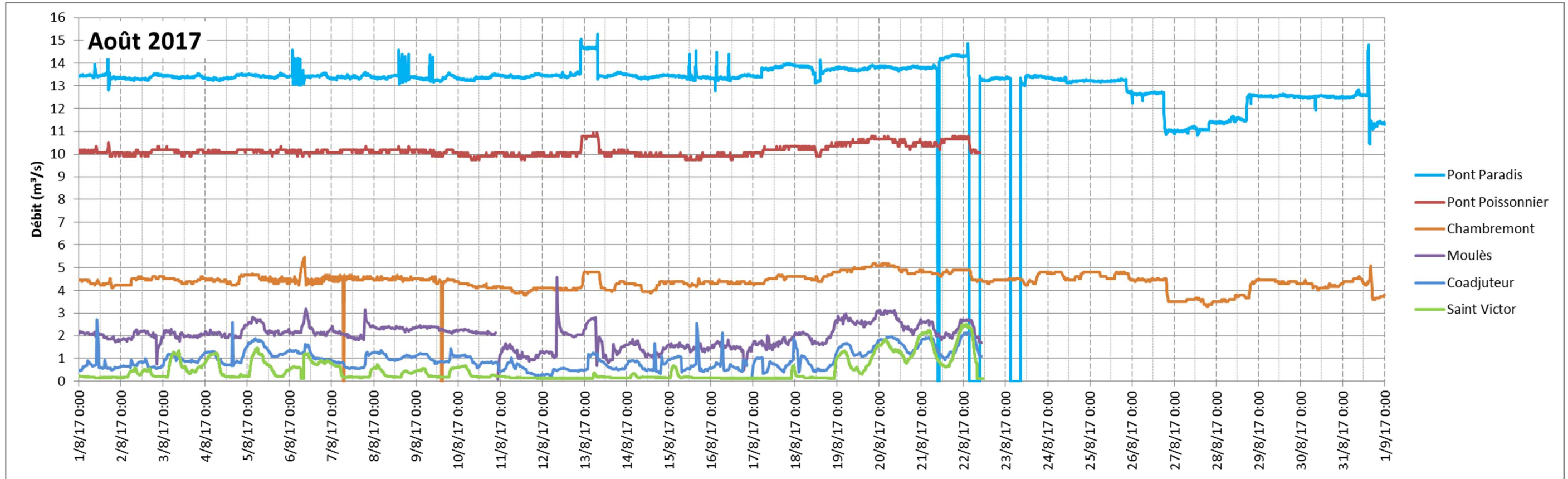


Figure 12 : Variation des débits dans le canal de Craponne branche d'Arles – août 2017

Sur les mois de juin, juillet et août, le débit à saint Victor est parfois quasiment nul. Ce qui peut être synonyme de manque d'eau à l'aval.

2.3.3.2 Analyse par secteurs

Les graphiques des pages suivantes correspondent au mois de juin 2017, soit un fonctionnement de pointe du canal. Ce dernier est divisé en 5 zones par chacun des points de mesure. Chaque graphique représente donc :

- Le débit entrant dans la zone considérée,
- Le débit sortant de cette zone,
- La somme des débits aux prises, calculée sur la base du tableau des tours d'eau et des débits théoriques aux prises (droit d'eau) ou du débit jaugé lors de la phase 1.

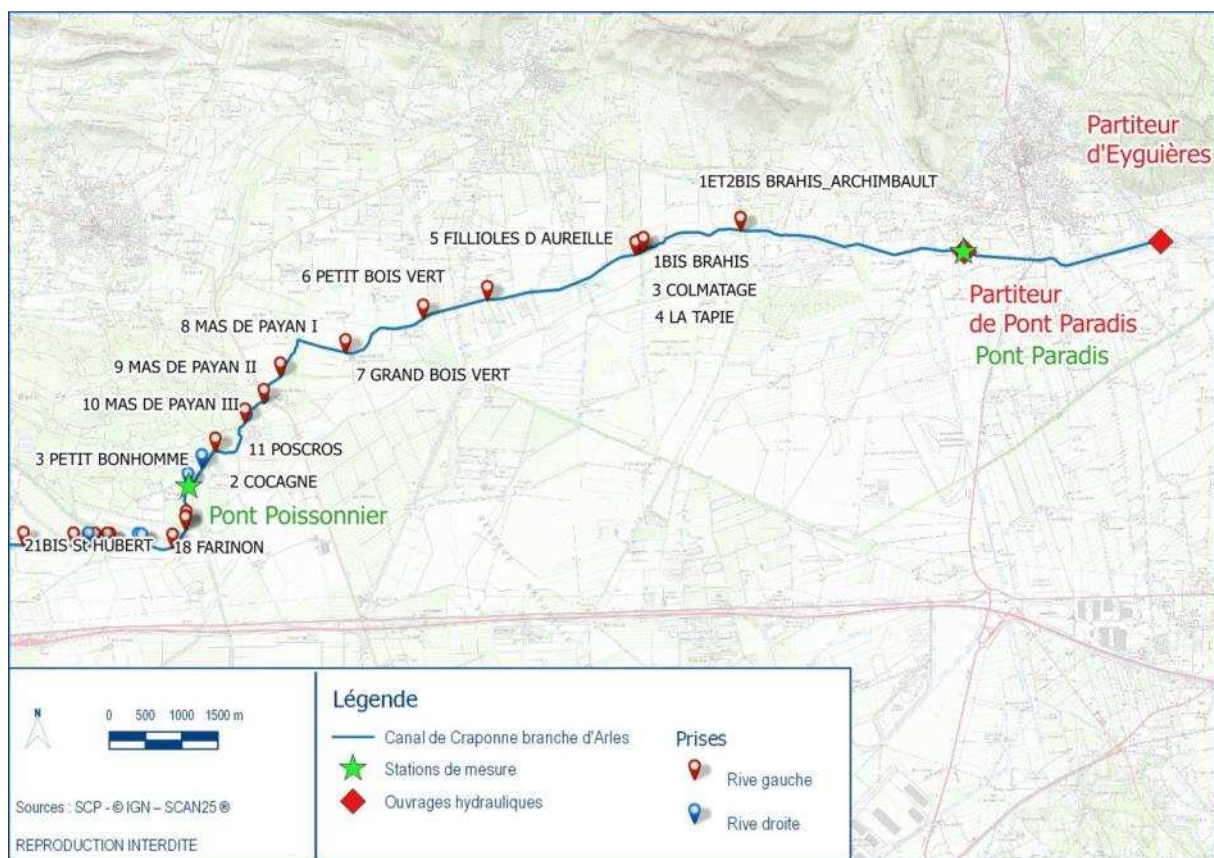


Figure 13 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 1

Zone 1 : Entre le partiteur de Pont Paradis et la station de Pont Poissonnier, les prises sont principalement situées en rive gauche (12 prises en rive gauche et 2 en rive droite). Leur fonctionnement est principalement continu ce qui engendre de faibles variations sur le mois. Le débit consommé par les prises est de l'ordre de 2 m³/s. Cependant, l'écart entre les deux mesures de débit est généralement supérieur, et de l'ordre de 3 m³/s.

La campagne de jaugeage des prises a confirmé que les débits prélevés par ces dernières sont proches des débits théoriques (droit d'eau). Cet écart laisse donc supposer la présence de pertes dans le canal, par infiltration vers la nappe, par exemple. L'identification de la source de ces pertes nécessiterait des investigations supplémentaires.

Le temps de transit entre ces deux mesures est de l'ordre de 1h30. Le temps de transit estimé correspond retard moyen, soit le temps moyen pour passer d'un état permanent à un autre, en tenant compte de l'atténuation du signal hydraulique.

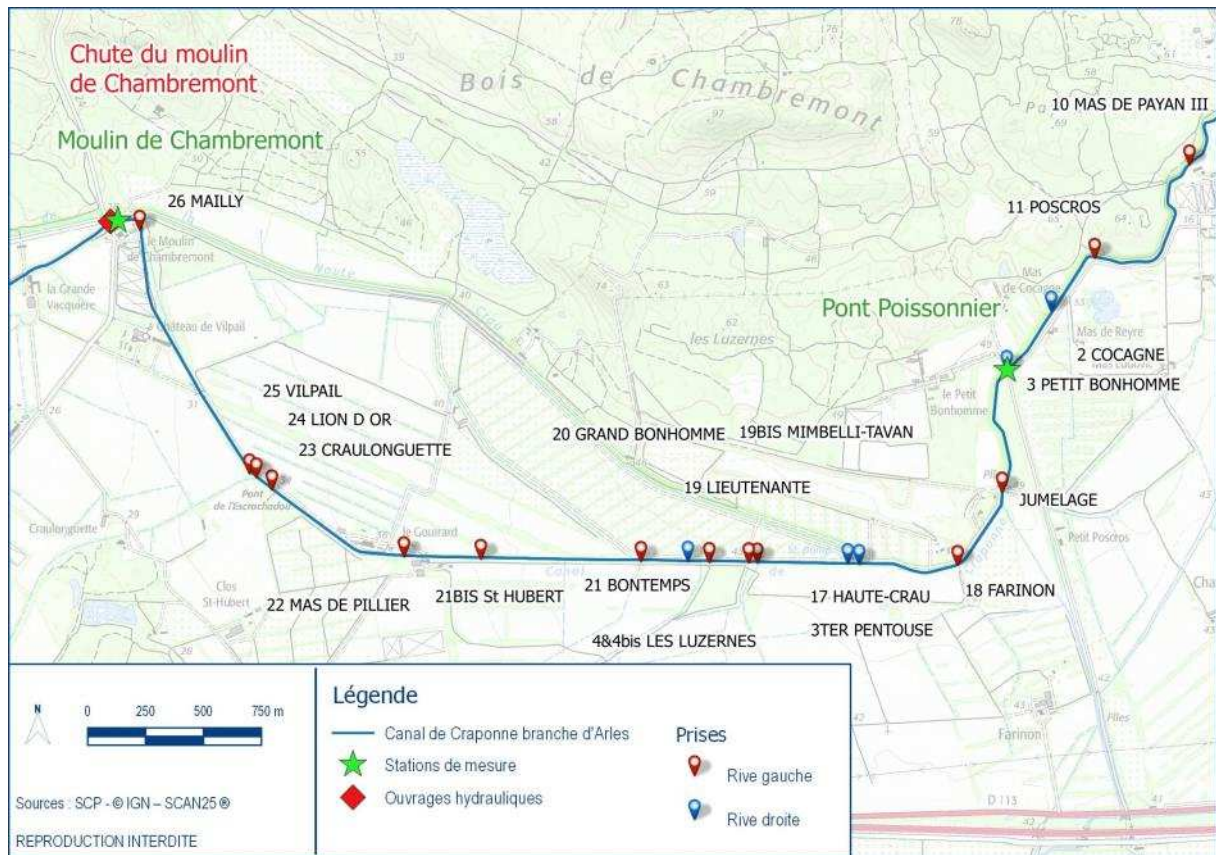


Figure 14 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 2

Zone 2 : Sur cette zone, située entre le Pont Poissonnier et le Moulin de Chambremont, on observe un écart entre la consommation des prises calculée avec les débits théoriques (droits d'eau) et jaugés. Cet écart est de l'ordre de 10 %, ce qui correspond à la précision des outils de jaugeage. Cette zone comprend des prises intermittentes, d'où la présence de variation de débits sur le mois (entre 6 et 6,50 à 7 m³/s sont consommés sur ce secteur). Cette consommation correspond globalement à l'écart de débit entre les deux stations de mesure.

Cette zone contient 11 prises en rive gauche et 4 en rive droite.

Le temps de transit entre ces deux mesures est de l'ordre de 1 h.

Zone 3 : Entre le Moulin de Chambremont et la vanne AMIL de Moulès il existe 17 prises en rive gauche et 10 en rive droite. On note un écart de l'ordre de 1 m³/s entre la consommation théorique et jaugée des prises, soit une consommation maximale de l'ordre de 2,2 m³/s sur cette zone. Cette consommation correspond globalement à l'écart de débit entre les deux stations de mesure.

Le temps de transit entre ces deux mesures est de l'ordre de 2 h.

Zone 4 : Cette zone, située entre les deux vannes AMIL de Moulès et Coadjuteur, concentre 27 prises en rive gauche et 6 prises en rive droite. Certaines ont un fonctionnement intermittent, d'où la présence de variations de débit sur le mois.

On note un écart de l'ordre de 0,6 m³/s entre la consommation théorique et jaugée des prises. Cette valeur est supérieure à la précision des mesures (de l'ordre de 10 %), ce qui met en évidence une éventuelle surconsommation des prises sur ce secteur (par rapport au droit d'eau). L'écart de débit entre ces deux mesures est très variable sur ce secteur, de 0,5 m³/s à 1,40 m³/s (cf. Figure 21). Cet écart est cependant globalement cohérent avec la consommation de chacune des prises (débit théorique et jaugé).

On note également que le débit au niveau de la vanne Coadjuteur varie de 0,40 à 2 m³/s. Ainsi cette vanne fonctionne régulièrement en dehors de sa plage de fonctionnement. Le maintien de la bonne cote en amont n'est donc pas assuré.

Le temps de transit entre ces deux mesures est de l'ordre de 2 h.

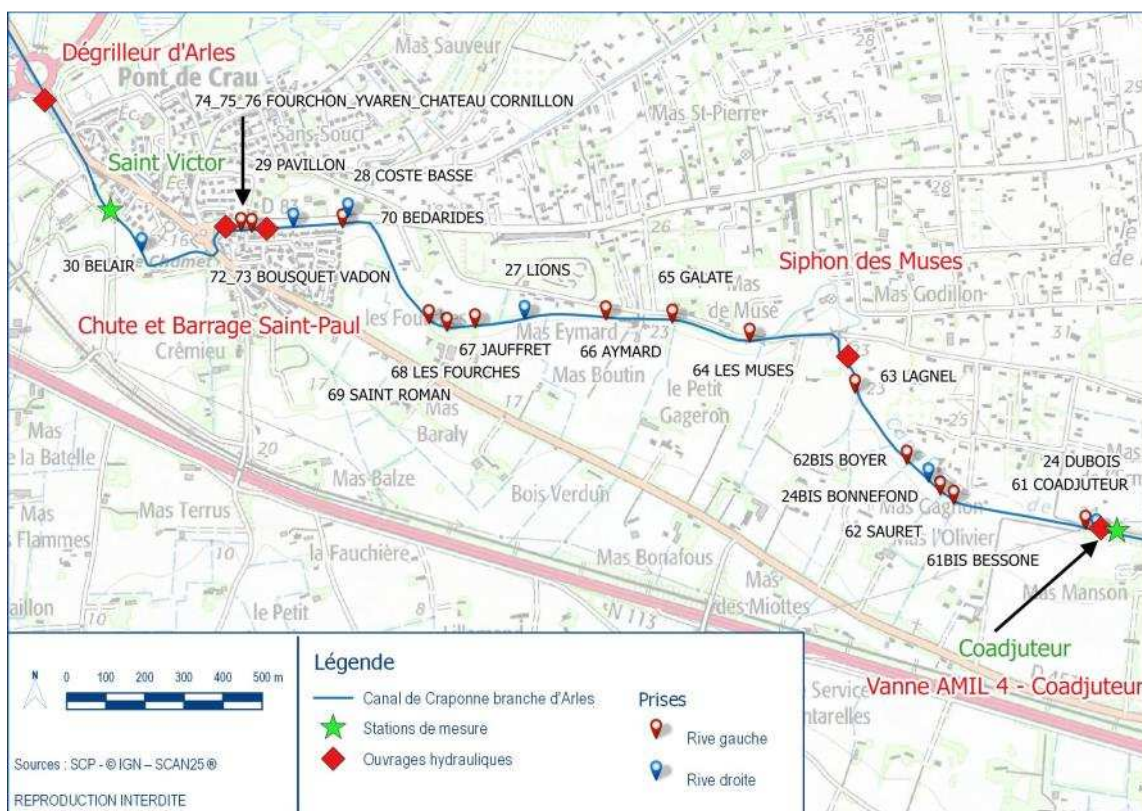


Figure 17 : Découpage du canal en 5 zones d'étude – zone 5

Zone 5 : Cette dernière zone comprend 10 prises, dont une seule en rive droite. On note un écart de l'ordre de 0,20 m³/s sur la consommation des prises (entre le débit théorique et le débit jaugé). La consommation globale de ce secteur est de l'ordre de 0,60 à 0,80 m³/s. Cette valeur de consommation n'est pas toujours vérifiée par le calcul de la différence entre le débit entrant et sortant. En effet, le débit au niveau de Saint Victor est parfois supérieur au débit au niveau de la vanne Coadjuteur. Cette inversion de débit peut être due à un apport de débit, en particulier par les rejets du canal de la Haute-Crau.

Le temps de transit entre ces deux mesures est plus difficile à estimer en raison des inversions de débit mais serait également de l'ordre de 2 h. Selon l'analyse des mesures, le temps de transit global entre Pont Paradis et la station de Saint Victor est de l'ordre de 8h30, ce qui est cohérent avec l'estimation du Schéma Directeur de 2015 (8h).

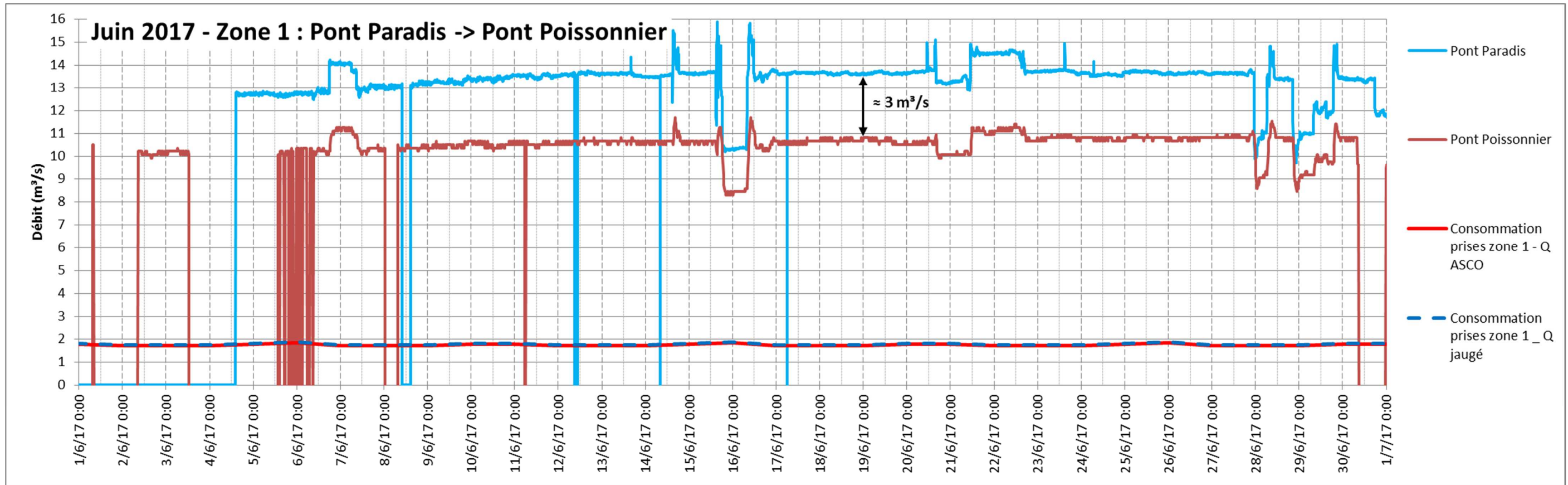


Figure 18 : Consommation zone 1 : Pont Paradis – Pont Poissonnier – Juin 2017

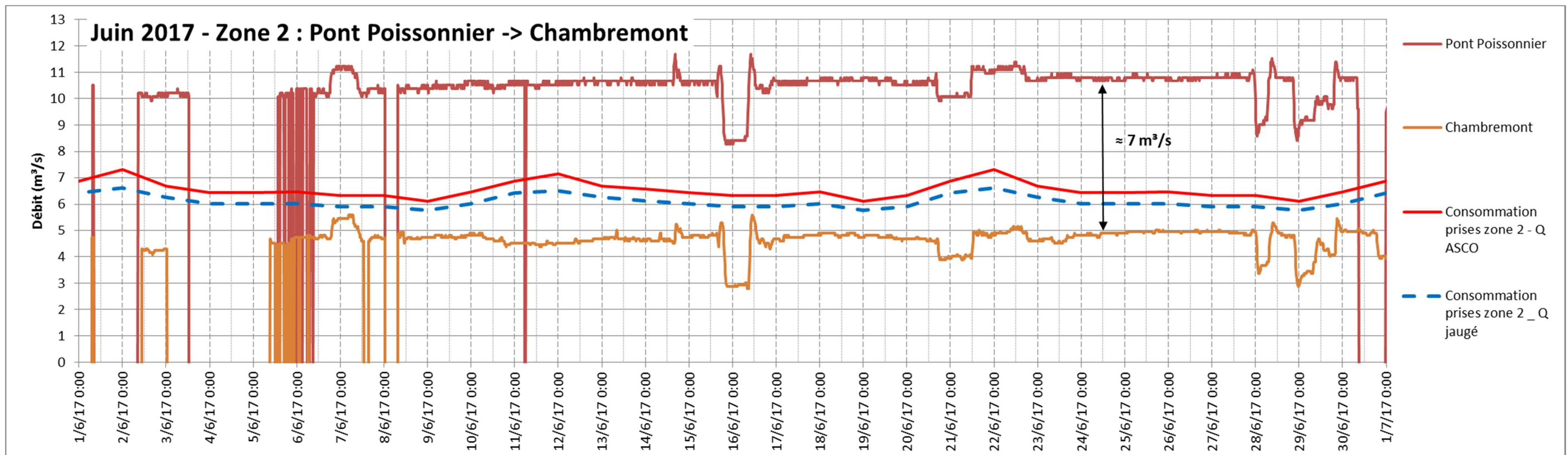


Figure 19 : Consommation zone 2 : Pont Poissonnier - Chambremont – Juin 2017

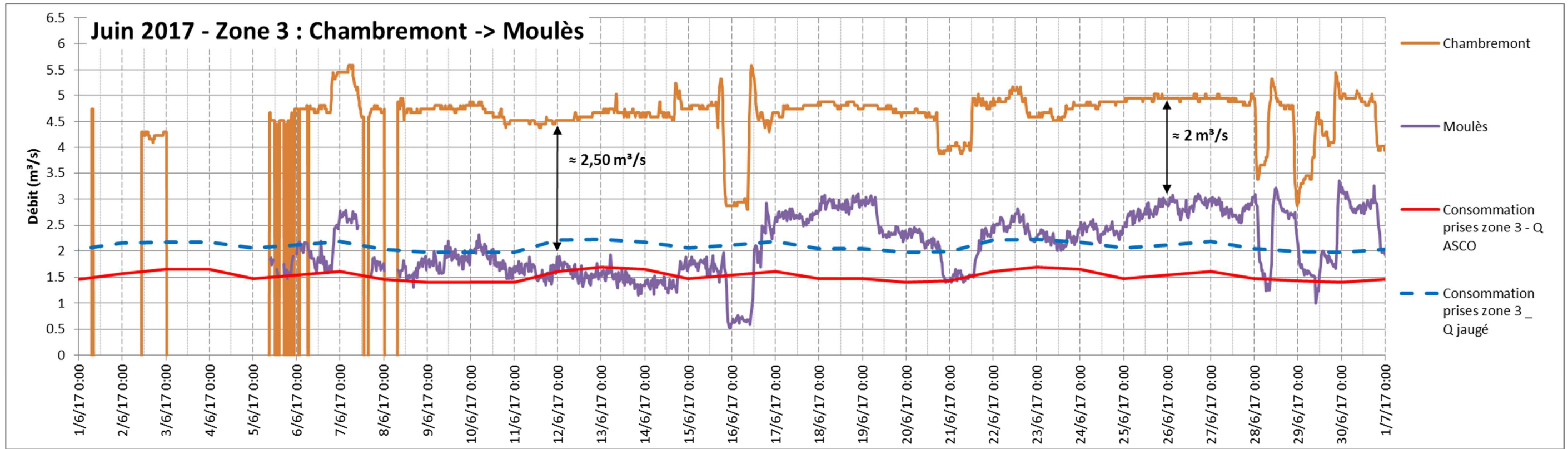


Figure 20 : Consommation zone 3 : Chambremont - Moulès – Juin 2017

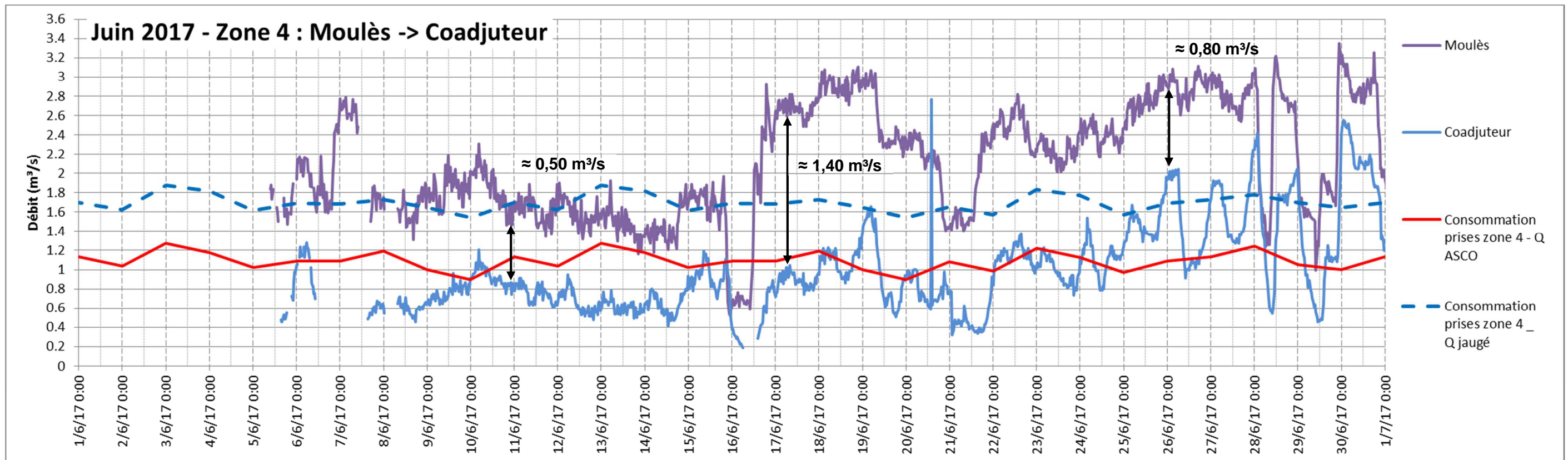


Figure 21 : Consommation zone 4 : Moulès - Coadjuteur – Juin 2017

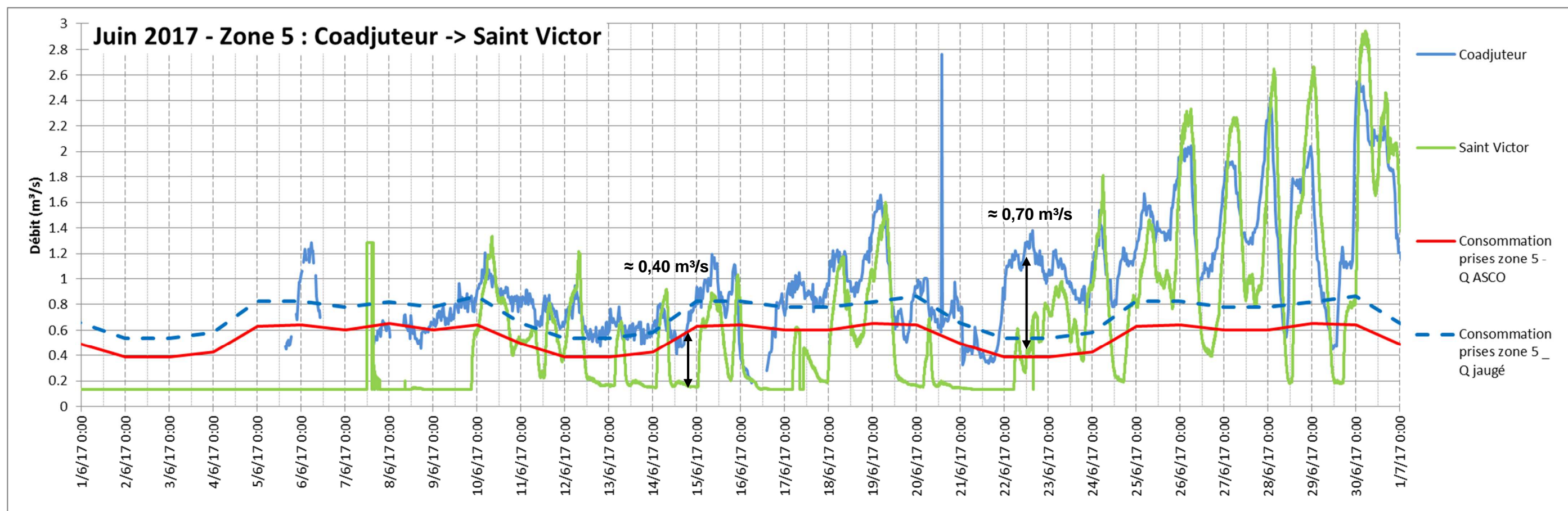


Figure 22 : Consommation zone 5 : Coadjuteur – Saint Victor– Juin 2017

2.3.3.3 Analyse des variations sur la journée

L'analyse des mesures met en évidence des variations de débit sur la journée, en particulier à partir de la vanne de Moulès. Sur l'année 2017, ces variations ont été observées sur les mois de mai à août (cf. 2.3.3.1). L'amplitude est variable, mais présente globalement la même périodicité :

- pic de débit dans le canal autour de 4 h du matin (ou entre 2 h et 8 h),
- faible débit dans le canal autour de 16 h (ou entre 12 h et 20 h).

Ces variations sont particulièrement visibles sur le mois de juillet, qui est retenu pour cette analyse et comme base d'un scénario de modélisation (cf. 3.3.3). L'amplitude est variable mais de l'ordre de 500 l/s pour la station du Coadjuteur, 700 l/s pour la station de Saint Victor et 400 l/s pour la station de Moulès.

Ces variations sont également très légèrement visibles à la station de Chambremont. Pour représenter ce phénomène, un scénario en régime transitoire a été testé. Les hypothèses et résultats obtenus sont présentés aux paragraphes 3.3.3 et 4.3.

Les mesures continues de 5 prises principales du 21 juillet au 20 novembre ne mettent pas en évidence les mêmes périodes de variation. Cette constatation vient confirmer que ce phénomène est principalement lié aux pratiques d'irrigation en aval de Chambremont et de la vanne de Moulès. Quatre des cinq prises mesurées sont situées en amont de Chambremont. La prise 36 Chanoines est située à environ 1,50 km de la vanne AMIL de Moulès.

De plus, ces prises ont un fonctionnement continu. Les variations observées ont vraisemblablement comme origine les variations de niveau dans le canal principal. Pour les prises 4, 17 et 22 ; situées en amont du Moulin de Chambremont ; il n'existe pas d'ouvrage de régulation (de type vanne ou bec de canard) sur ce tronçon du canal.

Le niveau de la prise de la Haute Crau est maintenu par la présence d'un seuil dans le canal à environ 45 m. La prise 22-Mas de Pillier est situé à environ 2 km du Moulin de Chambremont dont la chute permet de maintenir le niveau. Aucun seuil n'est situé à proximité de la prise 4 - La Tapie.

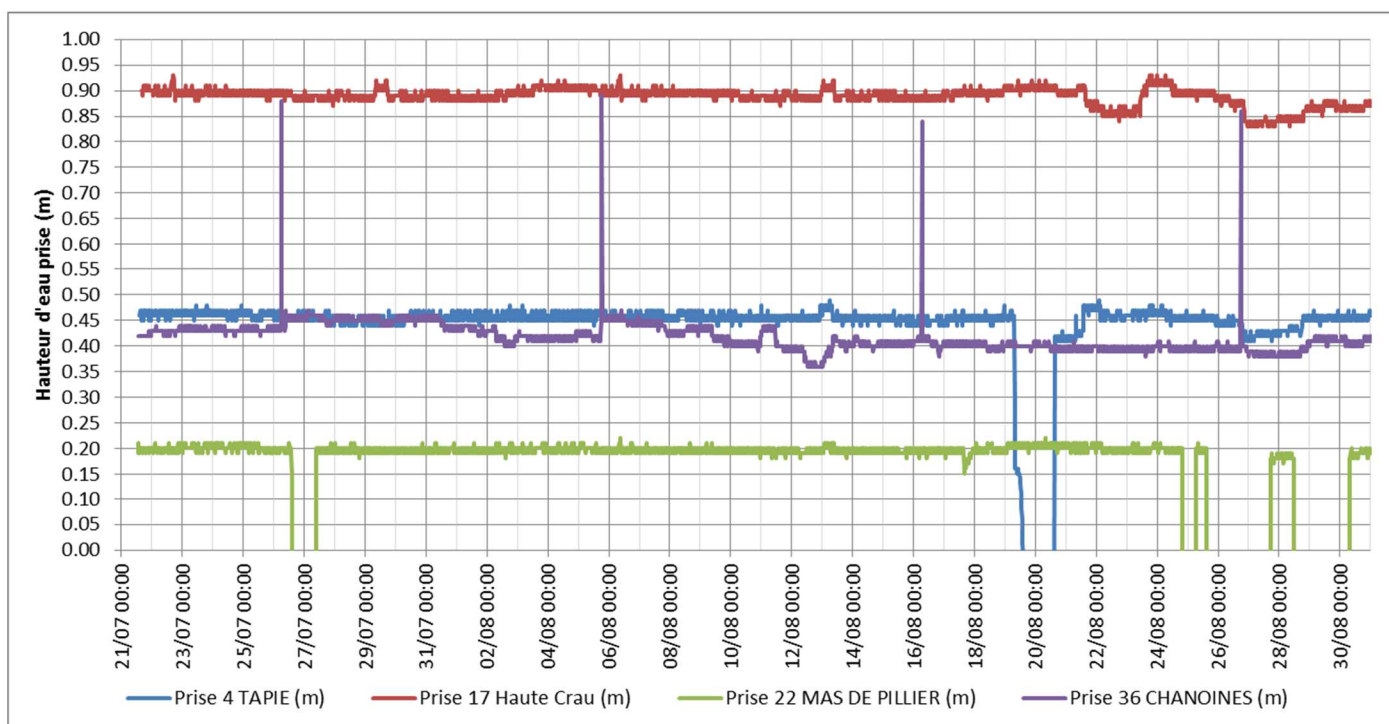


Figure 23 : Relevé limnimétrique de 5 prises principales entre juillet et août 2017

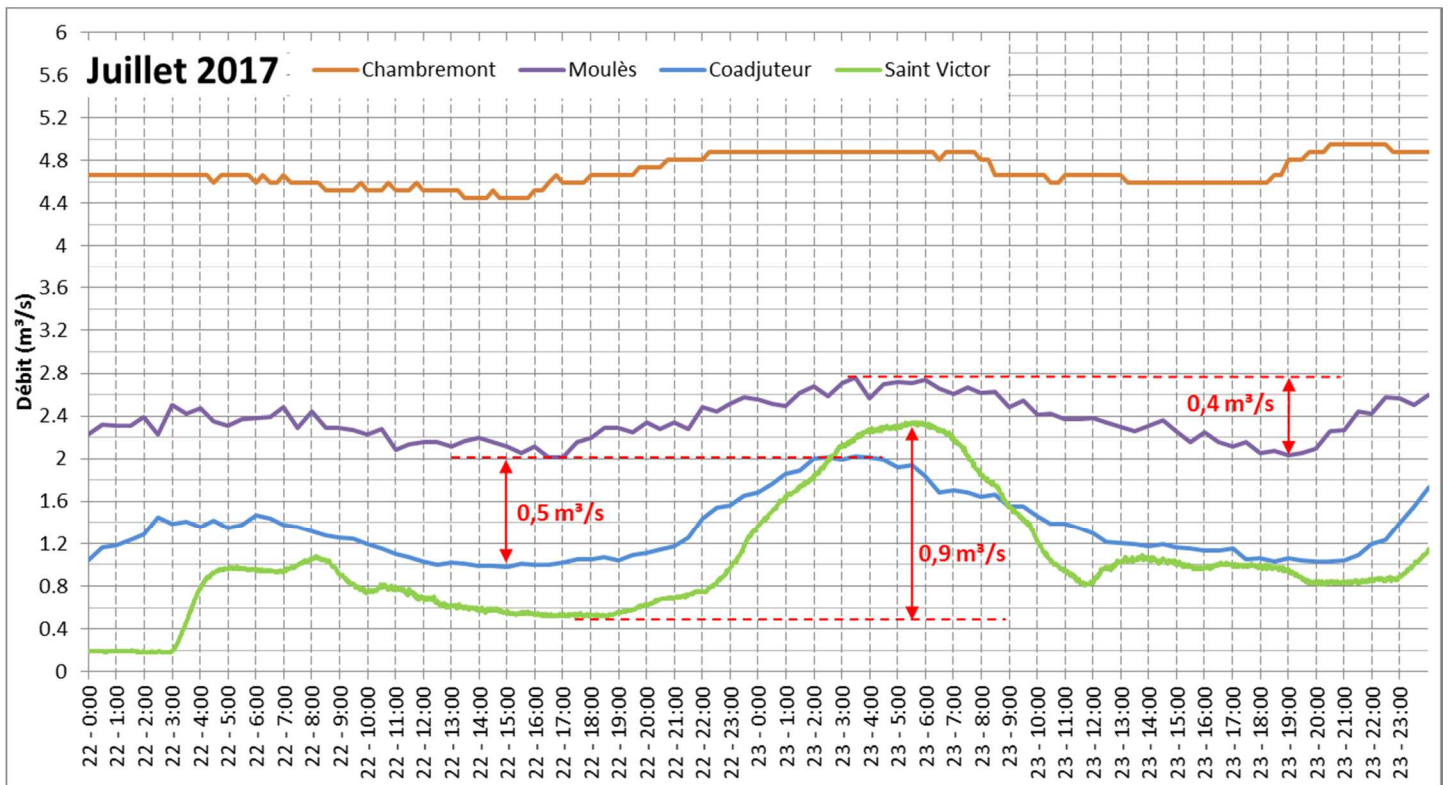


Figure 24 : Variation de débits sur la journée – 22 et 23 juillet 2017

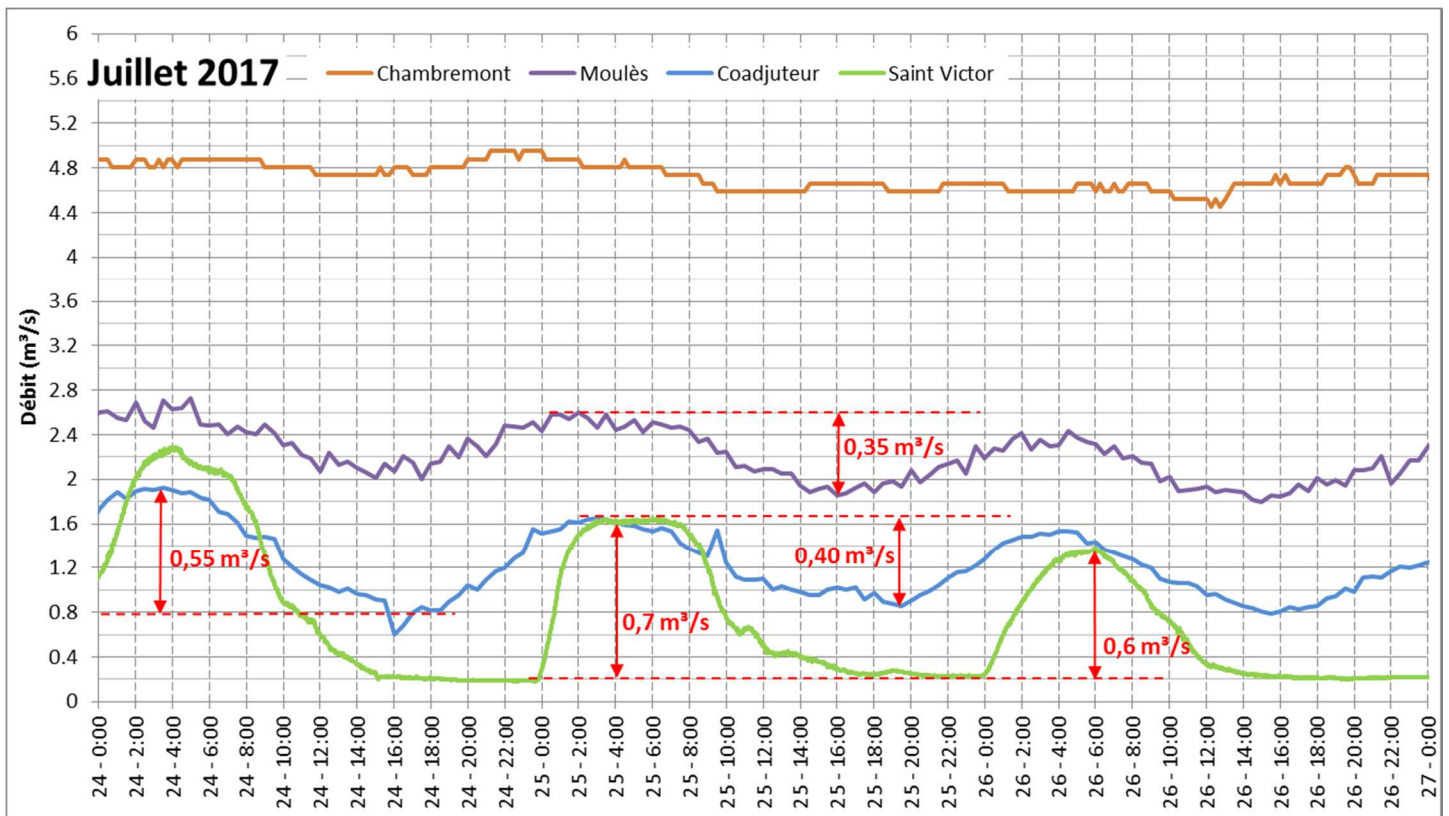


Figure 25 : Variation de débits sur la journée – 24 et 26 juillet 2017

3 MODELISATION DU CANAL

3.1 Présentation du modèle

3.1.1 Logiciel

Le logiciel SIC², développé par l'IRSTEA, a été utilisé pour construire le modèle du canal de Craponne branche d'Arles. Les modèles construits à l'aide de SIC² sont basés sur une discrétisation des équations de Saint Venant unidimensionnelles. Ce logiciel permet de simuler en régime permanent ou transitoire des écoulements filaires, à l'aide de profils en travers et d'ouvrages.

3.1.2 Construction du modèle

Ce modèle est issu du Schéma Directeur du canal de 2015. Il a été légèrement ajusté pour répondre aux besoins de l'étude. Les principales modifications ont porté sur l'emplacement des prises, la représentation des vannes AMIL et le positionnement des stations de mesure de débit.

Les données topographiques utilisées sont les suivantes :

- levés topographiques sur certaines portions des canaux, réalisés en 2013,
- profils en travers interpolés sur la base des plans projets pour les secteurs suivants :
 - du Moulin de Chambremont au pont de Mas Perrot ;
 - du pont de Moulès au pont de Rabet ;
 - du pont du Coadjuteur au barrage Saint Paul.

Seul le canal principal est modélisé depuis l'aval du partiteur de Pont Paradis, au PK 3,14, où débutent les levés topographiques de 2013. L'aval du modèle correspond à l'entrée du dégrilleur d'Arles. A raison d'un profil en travers tous les 500 m environ, le modèle compte 610 profils.

3.1.3 Conditions limites

Les conditions limites permettent de décrire ce qui se passe aux frontières du modèle.

Dans le cas de la branche d'Arles du canal de Craponne, les limites sont :

- limite amont : PK 3,14 en aval du partiteur de Pont Paradis,
- limite aval : entrée du dégrilleur d'Arles.

3.1.3.1 Condition limite amont

La condition limite amont est représentée par un débit en entrée du canal, en régime permanent. Afin de définir la capacité maximale du canal, les modélisations ont été réalisées pour une plage de débit variant de 4 m³/s à 16 m³/s.

Pour les modélisations de scénarios d'irrigation, le débit en entrée du modèle correspond au droit d'eau maximal de 13,18 m³/s.

3.1.3.2 Condition limite aval

La limite aval du modèle se situe à l'entrée du dégrilleur d'Arles, constitué d'une chute. La géométrie de l'ouvrage a été renseignée dans le modèle, puis la hauteur critique est imposée sur la dernière section.

3.2 Calage

3.2.1.1 Méthodologie

L'opération de calage consiste à obtenir la meilleure coïncidence possible entre les résultats du modèle et les observations effectuées d'un phénomène réel servant de référence. Le coefficient de Strickler, qui rend compte des frottements contre les parois du canal, constitue le principal paramètre permettant d'ajuster les résultats de la simulation. Si le coefficient de Strickler ne suffit pas à caler le modèle, les coefficients de débits aux ouvrages peuvent également être ajustés afin de caler la perte de charge de ce dernier.

Dans un premier temps, les coefficients de Strickler sont fixés selon les valeurs standards généralement admises, fonctions de la nature de berge. En référence au Schéma Directeur, les valeurs suivantes ont été retenues :

Type de section	Coefficient de Strickler
Canal entièrement cuvelé	50
Radier en terre et berges bétonnées	40
Radier en terre et berges en enrochement ou en béton	35
Radier et une des berges en terre et l'autre berge en béton	30
Canal entièrement en terre	25

Tableau 2 : Coefficient de Strickler

Ces coefficients de Strickler ont ainsi été appliqués sur chaque section du modèle, en fonction de leur nature, sur la base de l'atlas cartographique réalisé dans le cadre du Schéma Directeur. Les coefficients associés à chaque linéaire sont rappelés ci-après :

Tronçon du canal	PK amont	PK aval	Linéaire (m)	Coefficient de Strickler
Partiteur de Pont Paradis – aval pont sur route	3,14	4,50	1 360	40
Aval pont sur route – pont Grande Vacquière	4,50	21,39	16 890	35
Pont Grande Vacquière – pont Bellevue	21,39	26,98	5 590	50
Pont Bellevue – prise 10 RD	26,98	27,41	430	35
Prise 10 RD – pont Moulès	27,41	29,58	2 170	40
Pont Moulès – Pont Servanne	29,58	31,58	2 000	50
Pont Servanne – amont siphon des Muses	31,58	36,03	4 450	35
Siphon des Muses	36,03	36,26	230	50
Aval siphon des Muses – dégrilleur d'Arles	36,26	38,24	1 980	35

Tableau 3 : Coefficients de Strickler appliqués au canal de Craponne Branche d'Arles

Dans un premier temps le calage a été réalisé à l'aide d'une modélisation en régime transitoire. Le but de cette étape est d'ajuster les coefficients de Strickler afin de retrouver les temps de transit du canal (évalués sur la base des mesures de débits des 6 stations et indiqués dans le paragraphe 2.3.3.2).

Le calage du temps de transit est réalisé à l'aide d'un scénario en régime transitoire, selon la méthodologie suivante (les résultats, sont présentés au paragraphe 3.2.1.2.1) :

1. modélisation d'un échelon de débit,
2. détermination du temps de transit correspondant à l'arrivée de cet échelon au niveau de chaque station. Le temps de transit estimé correspond retard moyen, soit le temps moyen pour passer d'un état permanent à un autre, en tenant compte de l'atténuation du signal hydraulique.
3. comparaison avec les temps de transit estimés sur les mesures de débit du canal et ajustements des coefficients de Strickler si besoin.

Dans un second temps, le calage est réalisé sur la base de quatre sections du canal jaugées lors de la campagne de mesure réalisée dans le cadre de cette étude (le 30 mai et le 3 août 2017). Il s'agit des quatre stations de mesure du canal :

- Poissonnier,
- Chambremont,
- Moulès,
- Coadjuteur.

Les débits jaugés sont rappelés ci-après :

	30/05/2017			03/08/2017			Incertitude mesure (%)
	Débit jaugé (m ³ /s)	Heure	H échelle (m)	Débit jaugé (m ³ /s)	Heure	H échelle (m)	
Pont Poissonnier	11,87	11h45	0,81	10,97	11h00	0,72	+/- 5 %
Moulin de Chambremont	6,03	13h45	1,39	4,56	12h50	1,27	+/- 10 %
Moulès	3,86	14h50	1,66	2,58	14h20	1,57	+/- 5 %
Coadjuteur	1,71	16h00	1,6	1,22	15h20	1,52	+/- 10 %

Tableau 4 : Débit jaugés les 30 mai et 3 août 2017

La méthodologie mise en place pour caler le modèle est la suivante (les résultats, sont présentés au paragraphe 3.2.1.2.2) :

1. modélisation de la journée du 30 mai 2017 avec les hypothèses suivantes :
 - a. débit en tête du modèle de 14,328 m³/s, correspondant au relevé au niveau de Pont Paradis,
 - b. débits prélevé aux prises imposés à la valeur jaugée lors de la campagne de 2017,
 - c. ajustement des débits au niveau de certaines prises pour retrouver le débit jaugé au niveau de chaque station,

2. comparaison des niveaux d'eau obtenus au niveau de chaque station par rapport à la mesure,
3. ajustement des coefficients de Strickler et/ou des pertes de charges aux ouvrages.

Une fois le modèle callé pour le 30 mai 2015, la journée du 3 août est modélisée pour validation. Les hypothèses de calcul sont les mêmes, avec un débit en entrée de 13,40 m³/s, correspondant au débit relevé au niveau de Pont Paradis.

3.2.1.2 Résultats

3.2.1.2.1 Calage des temps de transit

Cette étape de calage a conduit à modifier légèrement les coefficients de Strickler sur certaines portions du canal (cf. Tableau 6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ce calage a nécessité plusieurs itérations afin d'obtenir le meilleur compromis. Compte tenu des incertitudes pour déterminer les temps de transit sur la base des mesures, ce calage est jugé satisfaisant.

Tronçon du canal	Temps de transit	
	Estimé à partir des mesures sur le canal	Modélisé
Pont Paradis – Pont Poissonnier	1 h 30	2 h 20
Pont Poissonnier – Chambremont	1 h	1 h
Chambremont – Moulès	2 h	2 h
Moulès – Coadjuteur	2 h	1 h 45
Coadjuteur – Saint Victor	2 h	1 h 05
Global : Pont Paradis – Saint Victor	8 h 30	8 h 10

Tableau 5 : Calage des temps de transit

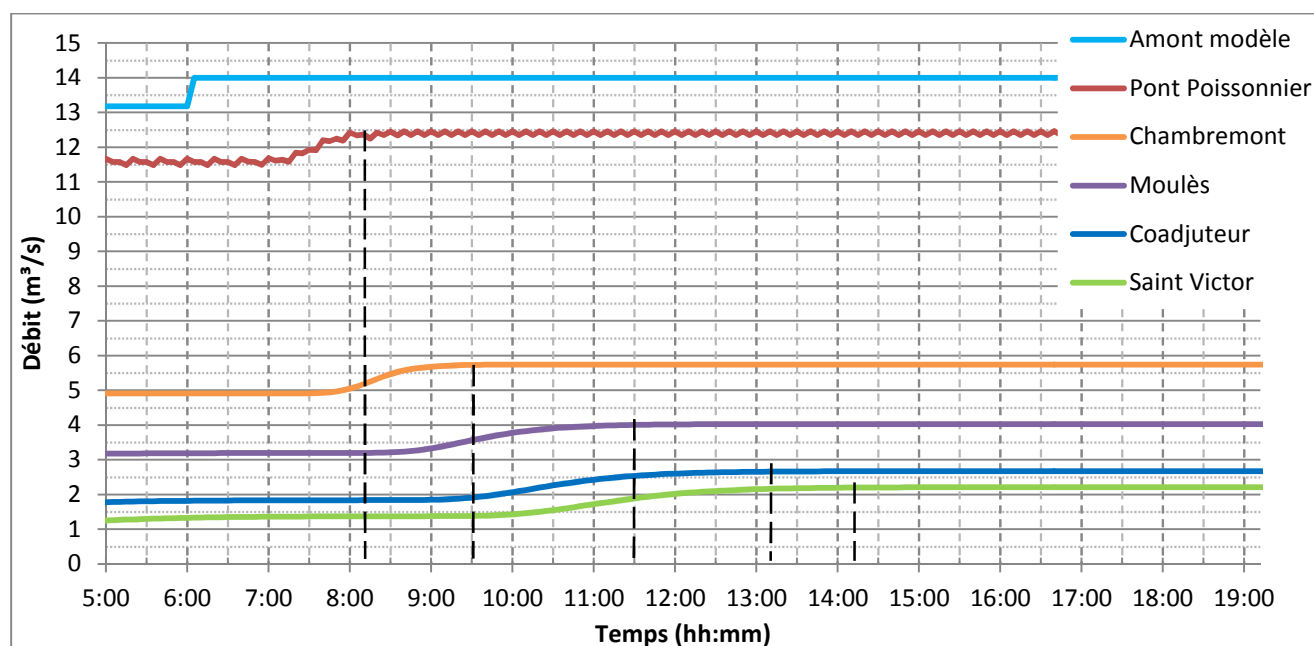


Figure 26 : Calcul des temps de transit, modélisation d'un échelon de débit

Tronçon du canal	PK amont	PK aval	Linéaire (m)	Coefficient de Strickler	
				Initial	Après calage
Partiteur de pont Paradis – aval pont sur route	3,14	4,50	1 360	40	50
Aval pont sur route – prise 3 RG	4,50	7,50	3 000	35	50
Aval pont sur route – pont Grande Vacquière	7,50	21,39	1 389	35	45
Pont Grande Vacquière – Pont Bellevue	21,39	26,98	5 590	50	50
Pont Bellevue – Prise 10 RD	26,98	27,41	430	35	45
Prise 10 RD – Pont Moulès	27,41	29,58	2 170	40	45
Pont Moulès – Pont Servanne	29,58	31,58	2 000	50	50
Pont Servanne – Vanne AMIL Coadjuteur	31,58	35,11	3 530	35	35
Vanne AMIL Coadjuteur – Siphon des Muses	35,11	36,03	920	35	30
Siphon des Muses	36,03	36,26	230	50	50
Aval Siphon des Muses – Dégrilleur d'Arles	36,26	38,24	1 980	35	30

Tableau 6 : Coefficients de Strickler retenus, après calage

3.2.1.2.2 Calages des ouvrages

Remarque : La modélisation hydraulique fournit comme résultat un niveau d'eau (cote en m NGF) et un débit au niveau de chaque profil du canal. La validation du calage se fait donc par comparaison de la cote d'eau calculée et de la cote d'eau mesurée lors du jaugeage.

La transformation de la hauteur d'eau lue à l'échelle en cote nécessite de connaître la cote (en m NGF) du zéro de l'échelle. En l'absence de ces données dans les documents transmis, les côtes du zéro des échelles ont été estimées à partir des rapports de mise en place des stations et des données topographiques disponibles.

Les valeurs suivantes ont été définies :

Station	Estimation cote zéro échelle (m NGF)
Poissonnier	49,53
Chambremont	28,41 ¹
Moulès	23,40
Coadjuteur	21,94

Tableau 7 : Cote du zéro des échelles limnimétriques

- **Pont Poissonnier**

Cette station est située en amont du pont Poissonnier. Ce site présente un seuil en travers en amont du pont. Le niveau d'eau dans le canal est donc principalement lié à la loi de seuil, et non au coefficient de Strickler. Les coefficients de Strickler n'ont pas été modifiés sur ce secteur, mais le coefficient de seuil a été ajusté pour retrouver les valeurs jaugées.

¹ Cette valeur a été validée par un levé topographique le 24/11/2017

Pour ces deux calculs l'écoulement sur le seuil est dénoyé. Le coefficient de débit retenu pour arriver à ce calage est de 0,55.

Date jaugeages	Jaugeages			Modélisation SIC			Ecart modélisation – mesure (cm)
	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	
30/05/2017	11,87	0,81	50,34	11,874	0,83	50,35	1 cm
03/08/2017	10,97	0,72	50,25	10,97	0,78	50,31	6 cm

Tableau 8 : Calage –Poissonnier

Remarque : La cote du zéro de l'échelle est estimée à 49,53 m NGF.

Au regard des écarts ce calage est jugé satisfaisant.

- **Chambremont**

Cette station est située en amont du Moulin de Chambremont. La section de passage en aval de la station est réduite par rapport à la section du canal (cf. photo suivante). De plus, en aval de l'ouvrage le canal présente une chute.

Le niveau d'eau dans le canal est uniquement dû à la configuration du seuil (cote et largeur). La chute présente à l'aval assure qu'il n'y a aucune influence sur l'écoulement sur le seuil.

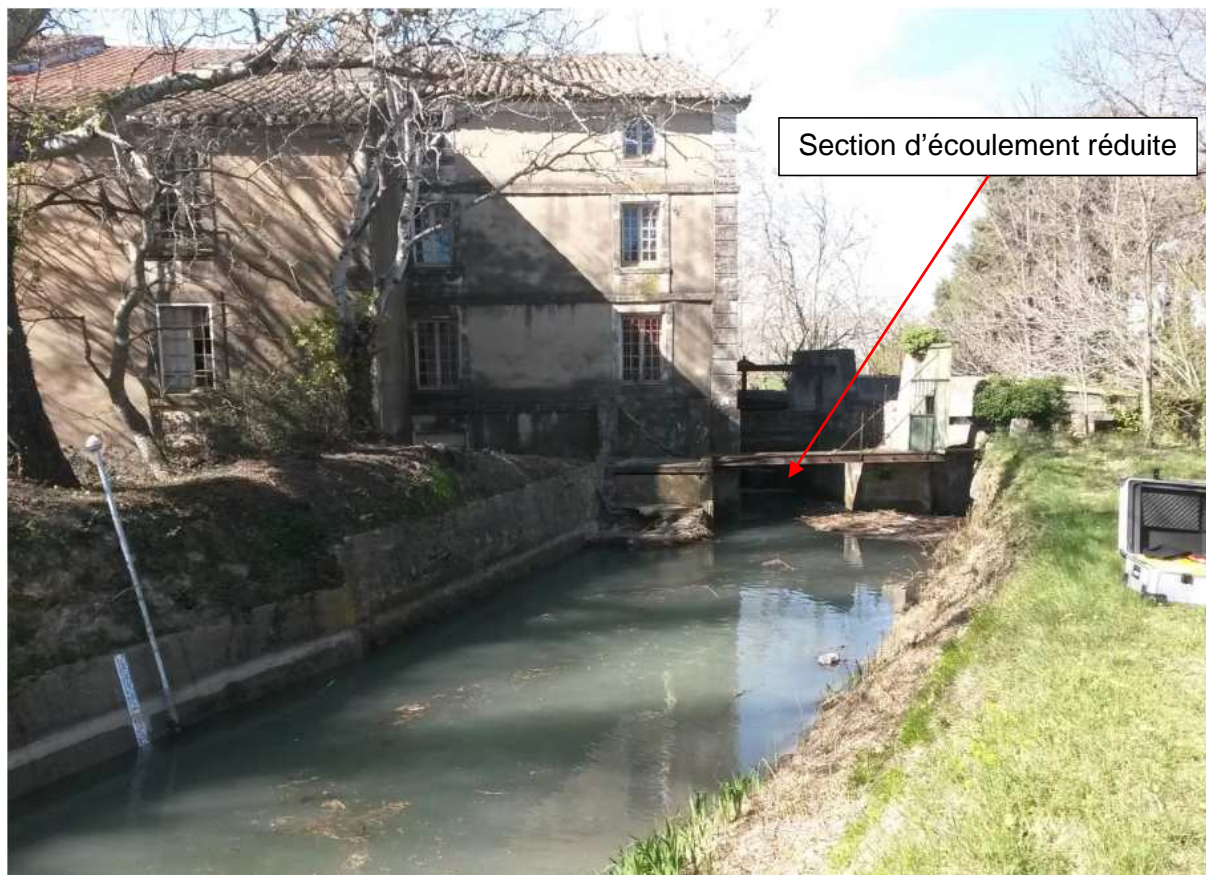


Figure 27 : Moulin de Chambremont – source : Schéma d'implantation de la station - OTT

La cote du zéro de l'échelle et la géométrie de la section d'écoulement ont été validées par un levé topographique complémentaire le 24 novembre 2017. La représentation de l'ouvrage a donc été ajustée pour retrouver les valeurs jaugées.

Pour ces deux calculs l'écoulement sur le seuil est dénoyé. Le coefficient de débit retenu pour arriver à ce calage est de 0,45.

Date jaugages	Jaugeages			Modélisation SIC			Ecart modélisation – mesure (cm)
	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	
30/05/2017	6,03	1,39	29,80	6,03	1,48	29,89	+ 9 cm
03/08/2017	4,56	1,27	29,68	4,56	1,31	29,72	+ 4 cm

Tableau 9 : Calage - Chambremont

Remarque : La cote du zéro de l'échelle est estimée à 28,41 m NGF.

Au regard des écarts, ce calage est jugé satisfaisant.

La figure suivante représente la comparaison de la courbe de tarage de la station de Chambremont (en bleu) et la courbe calculée par modélisation (en rouge).

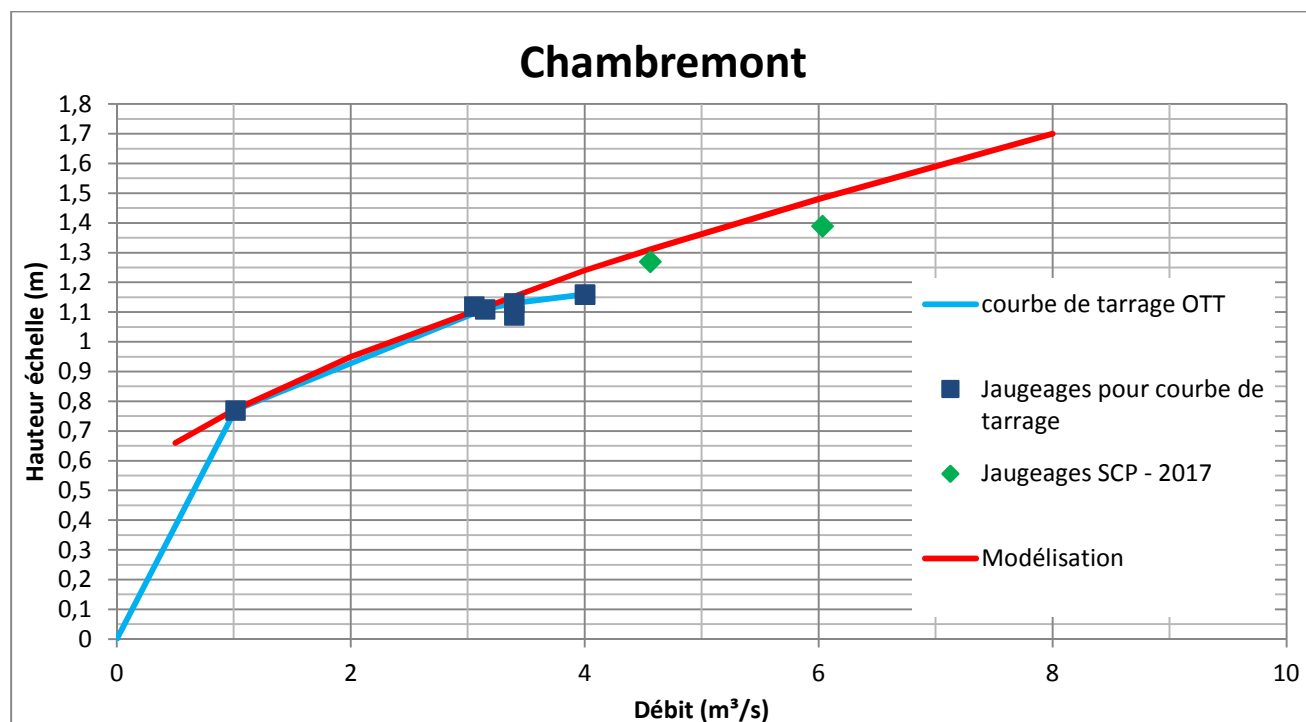


Figure 28 : Courbe de tarage – Moulin de Chambremont

• **Moulès**

Cette station est située en amont de la vanne AMIL de Moulès. Le niveau d'eau est donc influencé par le fonctionnement de cette vanne.

Date jaugages	Jaugeages			Modélisation SIC			Ecart modélisation – mesure (cm)
	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	
30/05/2017	3,86	1,66	25,06	3,86	1,55	24,95	- 11 cm
03/08/2017	2,58	1,57	24,97	2,57	1,53	24,93	- 4 cm

Tableau 10 : Calage - Moulès

Remarque : La cote du zéro de l'échelle est estimée à 23,4 m NGF.

La cote de consigne de cette vanne est de 24,95 m NGF. Les valeurs calculées sont donc proches de cette cote de consigne. La vanne est dénoyée pour les deux jours simulés.

Au regard des écarts, ce calage est jugé satisfaisant.

• **Coadjuteur**

Cette station est située en amont de la vanne AMIL Coadjuteur. Le niveau d'eau est donc influencé par le fonctionnement de cette vanne.

Date jaugages	Jaugeages			Modélisation SIC			Ecart modélisation – mesure (cm)
	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	Débit (m ³ /s)	H échelle (m)	Cote (m NGF)	
30/05/2017	1,71	1,60	23,54	1,71	1,55	23,49	- 5 cm
03/08/2017	1,22	1,52	23,46	1,234	1,54	23,48	2 cm

Tableau 11 : Calage - Coadjuteur

Remarque : La cote du zéro de l'échelle est estimée à 21,94 m NGF.

La cote de consigne de cette vanne est de 23,52 m NGF. Les valeurs calculées sont donc proches de cette cote de consigne, mais légèrement inférieures. La vanne est dénoyée pour les deux jours simulés.

Au regard des écarts, ce calage est jugé satisfaisant.

• **Synthèse**

Le tableau suivant rappelle les résultats obtenus sur les deux journées de calage. Au regard des écarts, ce calage est jugé satisfaisant, et ce modèle sera exploitée pour la suite de l'étude.

Station	Date jaugeage	Jaugeages			Modèle SIC			Ecart modélisation - mesure (cm)
		Débit (m³/s)	Héchele (m)	Cote (m NGF)	Débit (m³/s)	Héchele (m)	Cote (m NGF)	
Poissonnier	30 mai	11.87	0.81	50.34	11.874	0.83	50.35	1 cm
	3 août	10.97	0.72	50.25	10.97	0.78	50.31	6 cm
Chambreumont	30 mai	6.03	1.39	29.80	6.03	1.17	29.89	9 cm
	3 août	4.56	1.27	29.68	4.56	0.97	29.72	4 cm
Moulès	30 mai	3.86	1.66	25.06	3.86	1.55	24.95	-11 cm
	3 août	2.58	1.57	24.97	2.571	1.53	24.93	-4 cm
Coadjuteur	30 mai	1.71	1.6	23.54	1.71	1.55	23.49	-5 cm
	3 août	1.22	1.52	23.46	1.234	1.541	23.481	2 cm

Tableau 12 : Tableau de synthèse calage

3.3 Hypothèses et scénarios

Afin de représenter le fonctionnement du canal en période d'irrigation, deux scénarios hydrauliques ont été modélisés. Les calculs sont réalisés en régime permanent et transitoire. Pour chaque prise gravitaire, on vérifie si elle est bien alimentée en s'assurant que l'ouverture de chaque prise est noyée (niveau d'eau dans le canal supérieur au niveau « haut » de la prise).

3.3.1 Capacité du canal de Craponne branche d'Arles

Pour estimer la capacité du canal, plusieurs calculs ont été réalisés, en régime permanent, avec des débits en tête variant de 4 m³/s à 16 m³/s. Toutes les prises sont considérées comme fermées et les vannes AMIL sont remplacées par des vannes plates, de même section, ouvertes au maximum. La condition aval imposée est la hauteur critique (cf. 3.1.3.2).

3.3.2 Scénario A : fonctionnement théorique du canal

Ce scénario correspond à un fonctionnement de pointe du canal, où le débit en tête est le droit d'eau maximal du canal et où les prises prélèvent leur droit d'eau, selon le respect du tour d'eau. Le jour 13 du mois a été retenu pour ce scénario car il correspond à un jour où les prélèvements sont maximaux.

La condition aval imposée est la hauteur critique (cf. 3.1.3.2).

3.3.3 Scénario B : fonctionnement actuel du canal

Ce scénario correspond à un fonctionnement du canal plus proche de la réalité. Les hypothèses retenues pour ce scénario sont les mêmes que pour le scénario A, en considérant le débit jaugé aux prises (lors de la campagne de mesure de juin 2017) au lieu du droit d'eau.

Cette modélisation en régime permanent est complétée par l'analyse des variations de débit dans le canal pendant la journée (cf. 2.3.3.3). Une modélisation en transitoire est réalisée pour représenter les variations sur la journée, avec les hypothèses suivantes :

- Fermeture des prises entre 0h00 et 8h00 en aval du Moulin de Chambremont
- Ajustement du nombre de prises fermées pour retrouver l'amplitude de variation.

De même que pour les scénarios précédents, la condition aval imposée est la hauteur critique.

4 RESULTATS

4.1 Capacité du canal de Craponne branche d'Arles

Les hypothèses de modélisation sont présentées au paragraphe 3.3.1.

Les résultats obtenus sont cohérents avec les modélisations réalisées dans le cadre du Schéma Directeur de 2015. La capacité maximale varie de 16 m³/s en amont du pont de la Tapie à 4 m³/s au niveau du siphon des Muses (cf. figure suivante).

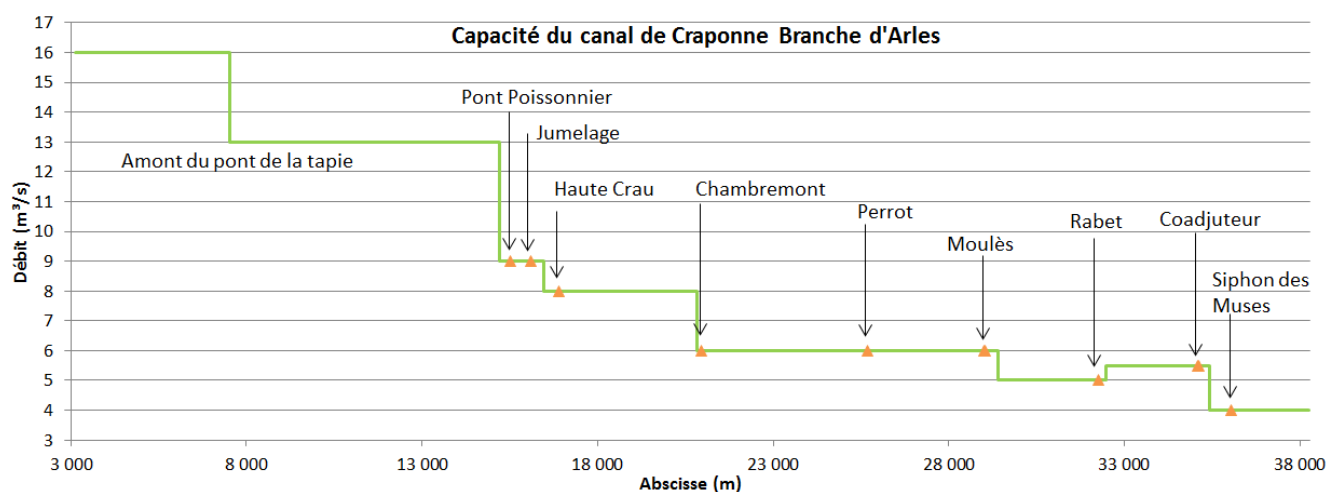


Figure 29 : Capacité du canal de Craponne branche d'Arles

Le secteur où les revanches sont les plus faibles se situe entre la prise de la Haute-Crau et le Moulin de Chambrement. La pente du canal y est relativement forte (0,40 % en moyenne) et le radier présente plusieurs chutes. La capacité de ce tronçon est estimée à 8 m³/s, la revanche moyenne est de 41 cm avec des minimums locaux inférieurs à 10 cm.

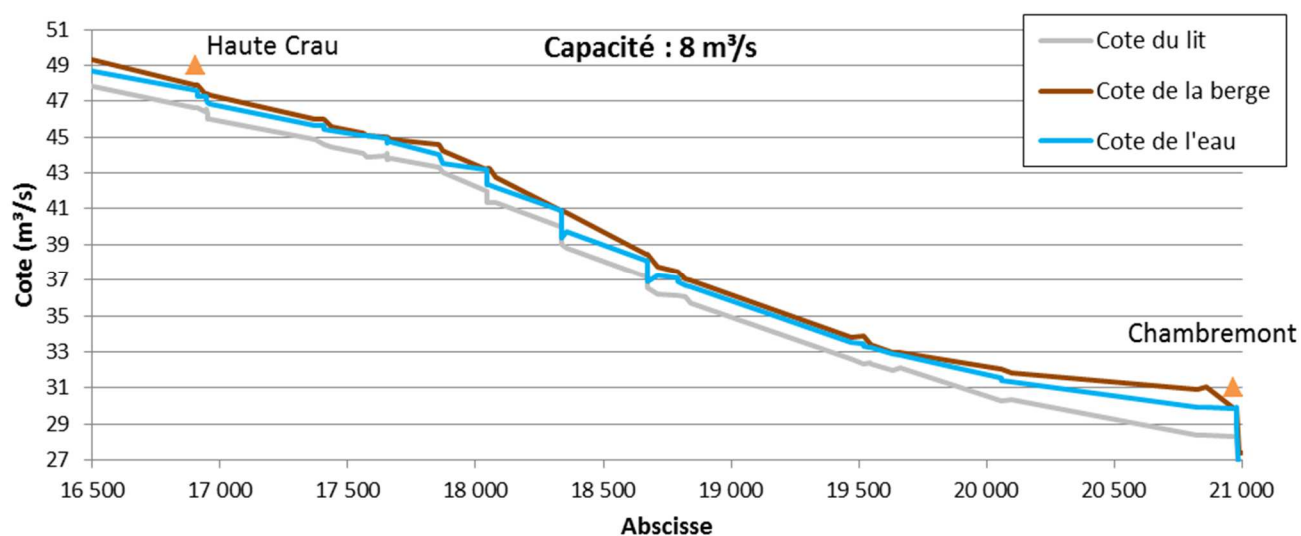


Figure 30 : Ligne d'eau entre la prise de la Haute-Crau et le Moulin de Chambrement – 8 m³/s

4.2 Scénarios A et B régime permanent

Les hypothèses de modélisation de ces deux scénarios sont présentées aux paragraphes 3.3.2 et 3.3.3. Les résultats des modélisations en régime permanent, pour ces deux scénarios, sont présentés sur les mêmes figures, les lignes d'eau étant relativement proches. Les différences entre ces deux scénarios en termes de débit sont analysées au paragraphe 4.2.2.

4.2.1 Lignes d'eau par secteur

4.2.1.1 *Du partiteur de Pont Paradis au jumelage des prises de Rageyrol, Poulagères et Langlade*

Les lignes d'eau obtenues sur ce secteur sont présentées sur la Figure 31. Les lignes d'eau des deux scénarios sont confondues étant donné que les débits prélevés aux prises sont proches dans les deux scénarios (débits théoriques et débits jaugés).

Les points les plus limitants sont le pont de la Tapie et le pont Poissonnier où la revanche disponible est d'environ 20 cm en amont de ce dernier. Au-delà de ces points la revanche moyenne est de l'ordre de 80 cm.

Ce secteur comporte 16 prises (dont 2 en rive droite) dont la moitié sont totalement en charge et bien alimentées. Les sept prises suivantes ne sont pas complètement en charge, ce qui fait que le débit desservi n'est pas assuré :

- Prises en rive gauche : 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11

Remarque : La vérification du niveau d'alimentation des prises dépend de leurs cotes caractéristiques (radier et ouverture). Ces cotes ont été relevées lors de la phase 1, lorsque le canal était en eau. Des incertitudes et écarts peuvent donc subsister. Lorsque ces informations n'étaient pas disponibles (lors du relevé de 2013 ou de 2017), la cote de radier du canal a été retenue comme radier de la prise avec une ouverture de 50 cm (valeur retenue dans le cadre du Schéma Directeur de 2015).

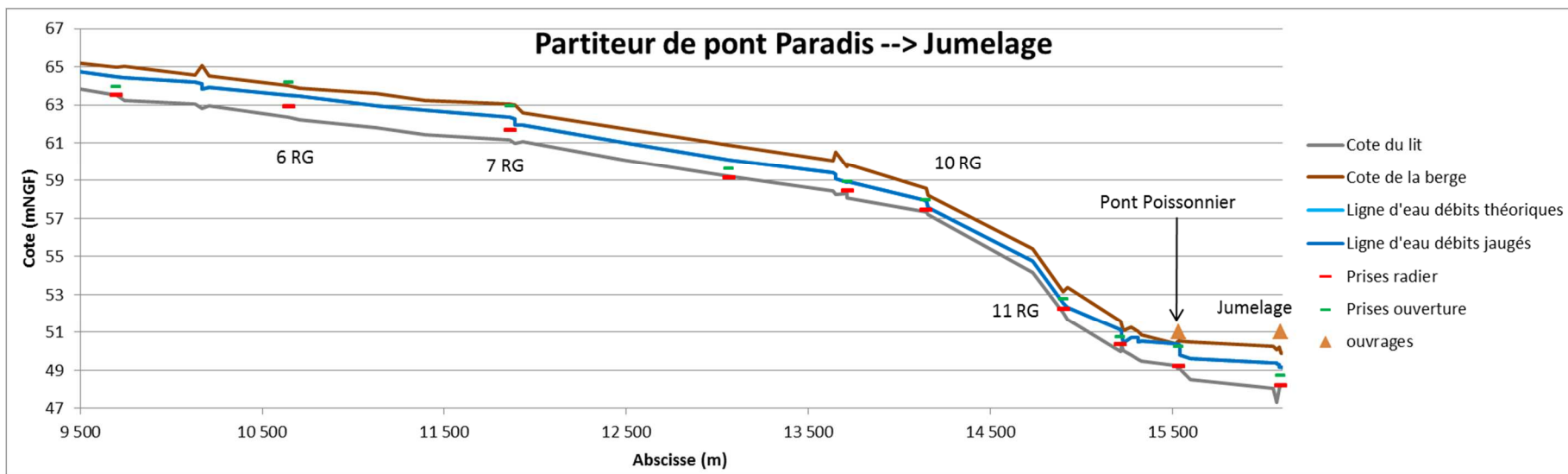
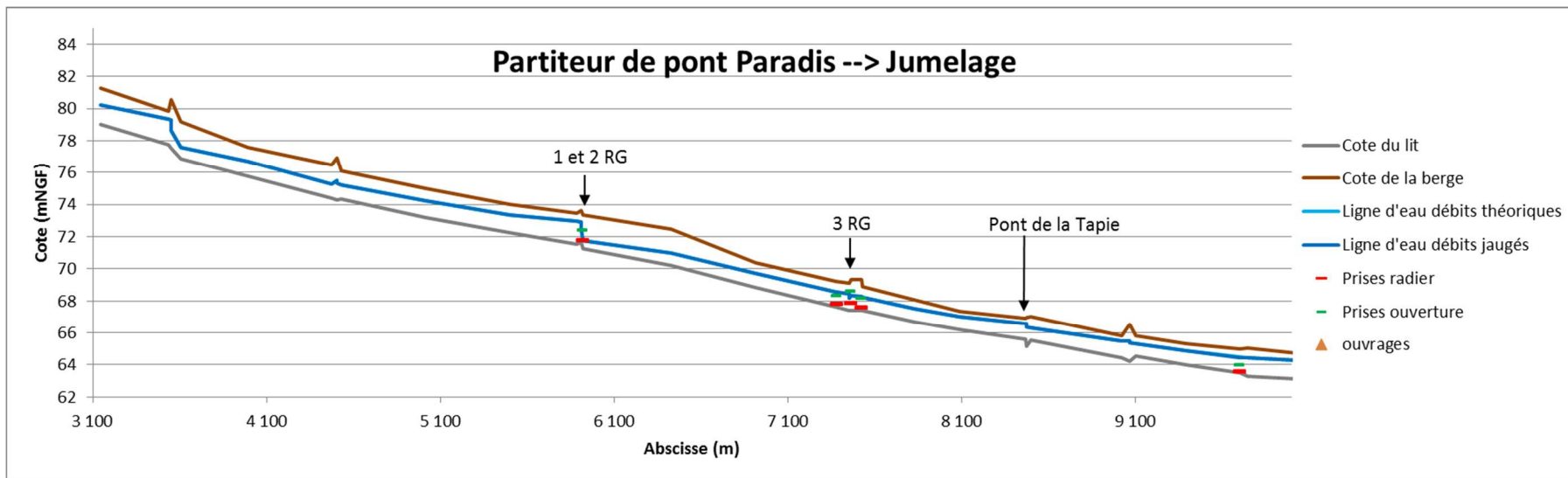


Figure 31 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – de Pont Paradis à Jumelage

4.2.1.2 Du jumelage à la prise de la Haute-Crau

De même que sur le secteur précédent, les lignes d'eau sont confondues entre les deux scénarios (cf. Figure 32).

En aval du jumelage, jusqu'à la prise de la Haute-Crau, il n'existe qu'une prise en rive gauche (18 – Farinon) qui n'est pas complètement en charge. Pour ces deux scénarios, la prise de la Haute-Crau est bien alimentée.

En aval du pont Poissonnier, la revanche moyenne est de l'ordre de 70 cm.

4.2.1.3 De la prise de la Haute-Crau au Moulin de Chambremont

En aval de la prise de la Haute-Crau, jusqu'au Moulin de Chambremont, le canal comptabilise 13 prises (dont 3 en rive droite), dont la moitié est totalement alimentée. Les cinq prises suivantes ne sont pas complètement en charge, ce qui fait que le débit desservi n'est pas assuré :

- Prises en rive gauche : 21, 22, 23 et 26
- Prises en rive droite : 3ter

La prise 21bis RG (Saint Hubert) n'est, quant à elle, pas du tout alimentée, en raison probablement d'une erreur de mesure lors des relevés topo (radier de la prise au niveau de la berge du canal).

La proximité des prises 4 et 4bis RD (Luzernes) constitue le secteur le plus limitant avec une revanche disponible de 20 cm. Au-delà la revanche moyenne est de l'ordre de 70 cm.

Les lignes d'eau sont représentées sur la Figure 33.

4.2.1.4 Du Moulin de Chambremont à la vanne AMIL de Perrot

Ce secteur contient 13 prises (dont 5 en rive droite). Le niveau dans le canal est maintenu par la vanne AMIL de Perrot ; toutes les prises sont donc bien alimentées.

Pour les deux scénarios modélisés, le niveau atteint en amont de la vanne AMIL de Perrot est légèrement supérieur au niveau à réguler (d'environ 2 cm, cote de l'axe égale à 25,81 m NGF).

Il y a donc un déversement sur le seuil ; cependant l'écoulement dans la vanne est dénoyé. Le débit transitant par la vanne est de 4 m³/s, ce qui correspond à sa plage de fonctionnement.

La revanche moyenne est de 80 cm, avec un minimum de 5 cm au niveau d'un point bas local en amont de la vanne AMIL. Les lignes d'eau sont représentées sur la Figure 34.

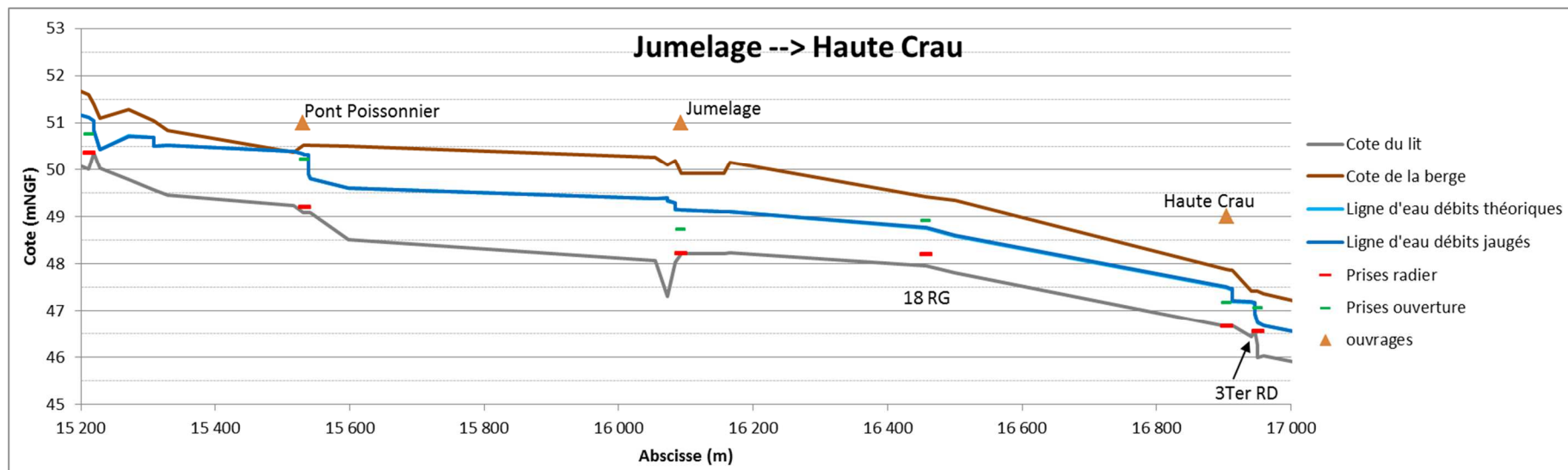


Figure 32 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – Du Jumelage à la prise de la Haute-Crau

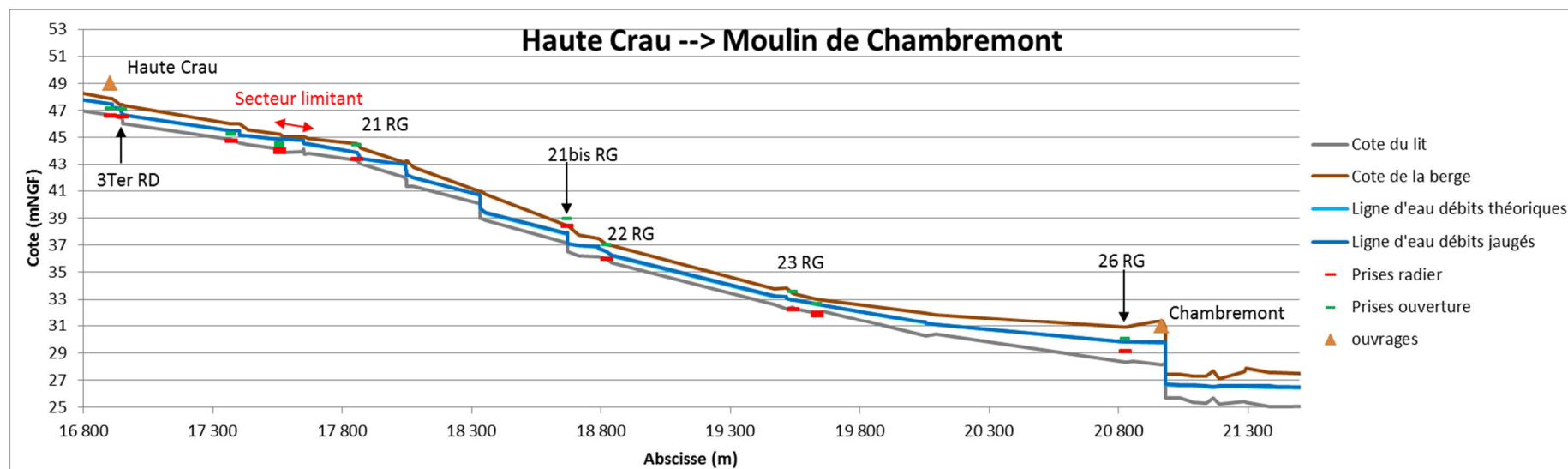


Figure 33 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – de la prise de la Haute-Crau au Moulin de Chambremont

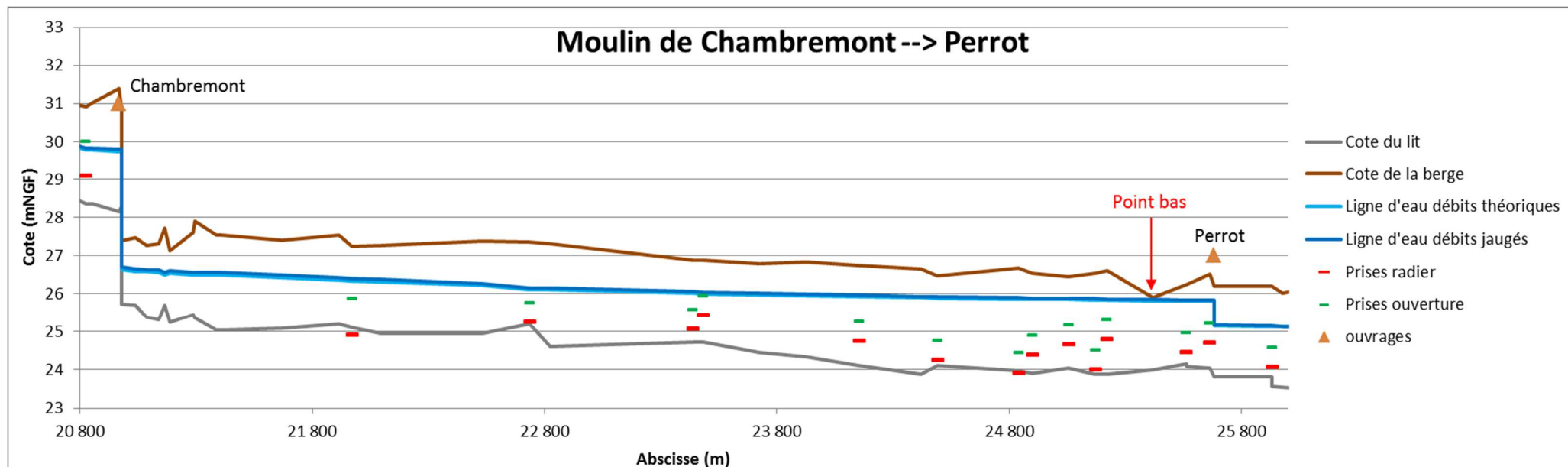


Figure 34 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – du Moulin de Chambremont à la vanne AMIL de Perrot

4.2.1.5 De la vanne AMIL de Perrot à celle de Moulès

Ce secteur contient 14 prises, dont 5 en rive droite. Le niveau dans le canal est maintenu par la vanne AMIL de Moulès ; toutes les prises sont donc bien alimentées.

Pour les deux scénarios modélisés, le niveau atteint en amont de la vanne AMIL de Moulès est légèrement inférieur au niveau à réguler (d'environ 2 cm, cote de l'axe égale à 24,95 m NGF). Le débit transitant par la vanne est de 3 m³/s, ce qui correspond à sa plage de fonctionnement.

La revanche moyenne est de 71 cm, avec un minimum de 40 cm au niveau du pont Bellevue. Les lignes d'eau sont représentées sur la Figure 35.

4.2.1.6 De la vanne AMIL de Moulès à celle de Rabet

Ce secteur contient 16 prises, dont 5 en rive droite. Le niveau dans le canal est maintenu par la vanne AMIL de Rabet ; toutes les prises sont donc bien alimentées.

Pour les deux scénarios modélisés, le niveau atteint en amont de la vanne AMIL de Rabet est légèrement inférieur au niveau à réguler (cote de 24,10 m NGF, cote de l'axe égale à 24,12 m NGF). Le débit transitant par la vanne est de 2,4 m³/s pour le scénario théorique et de 1,8 m³/s pour le scénario réel, ce qui correspond à sa plage de fonctionnement.

La revanche moyenne est de 75 cm, avec un minimum de 15 cm au niveau du pont Servanne. Les lignes d'eau sont représentées sur la Figure 36.

4.2.1.7 De la vanne AMIL de Rabet à celle du Coadjuteur

Ce secteur contient 22 prises, dont 6 en rive droite. Le niveau dans le canal est maintenu par la vanne AMIL du Coadjuteur ; toutes les prises sont donc bien alimentées.

Pour les deux scénarios modélisés, le niveau atteint en amont de la vanne AMIL du Coadjuteur est légèrement inférieur au niveau à réguler (d'environ 4 à 5 cm selon les scénarios, cote de l'axe égale à 23,52 m NGF). Le débit transitant par la vanne est de 1,65 m³/s pour le scénario théorique et de 0,89 m³/s pour le scénario réel, ce qui correspond plus à sa plage de fonctionnement (de 1 à 4,5 m³/s). La modélisation assure cependant un maintien du niveau amont proche de la cote de consigne, ce qui n'est peut-être pas le cas dans la réalité.

On note un écart entre les lignes d'eau des deux scénarios (théorique et actuel), de l'ordre de 10 cm en aval de la vanne de Rabet. Cet écart est dû à la différence de débit entre les deux scénarios, liée aux débits des prises. Cet écart s'estompe le long du canal en raison de la présence de la vanne du Coadjuteur qui maintient un niveau constant.

La revanche moyenne est de 85 cm, avec un minimum de 40 cm.

Les lignes d'eau sont représentées sur la Figure 37.

4.2.1.8 De la vanne AMIL du Coadjuteur au dégrilleur d'Arles

Ce dernier tronçon contient 26 prises, dont 6 en rive droite, qui sont globalement toutes alimentées. Seule la prise 62 RG (Sauret) est quasiment en charge pour le scénario réel.

On note un écart entre les lignes d'eau des deux scénarios (de 20 cm en moyenne) dû aux écarts de prélèvement aux prises. Cet écart n'est pas atténué par l'influence d'un ouvrage de régulation de niveau.

La revanche moyenne est d'environ 1 m, avec un minimum de 30 cm. Les lignes d'eau sont représentées sur la Figure 38.

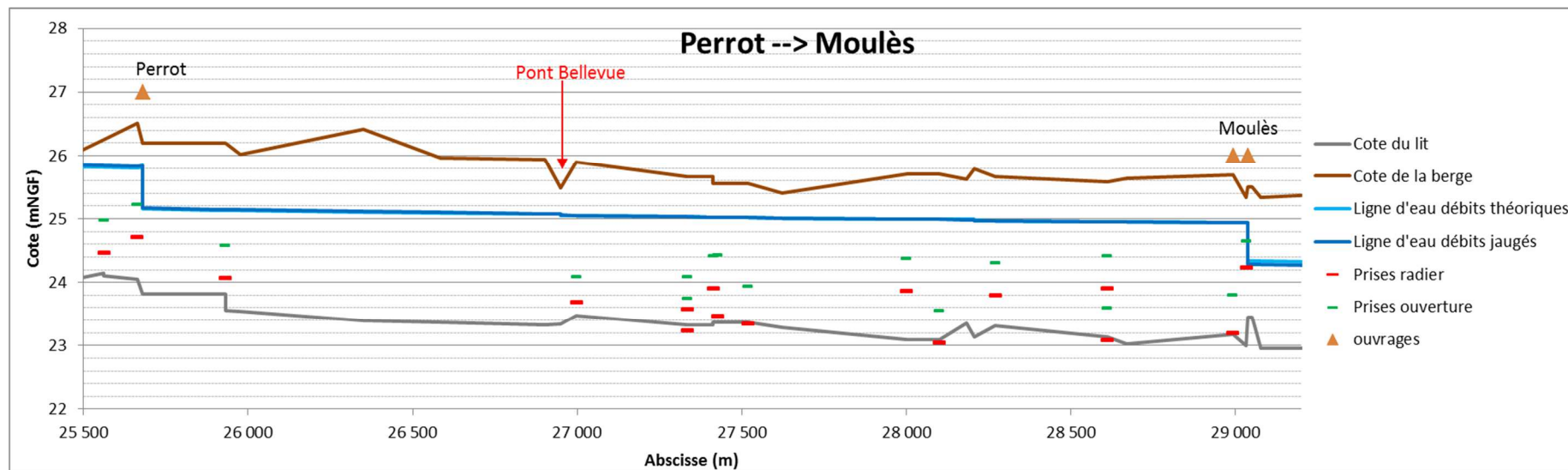


Figure 35 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL de Perrot à celle de Moulès

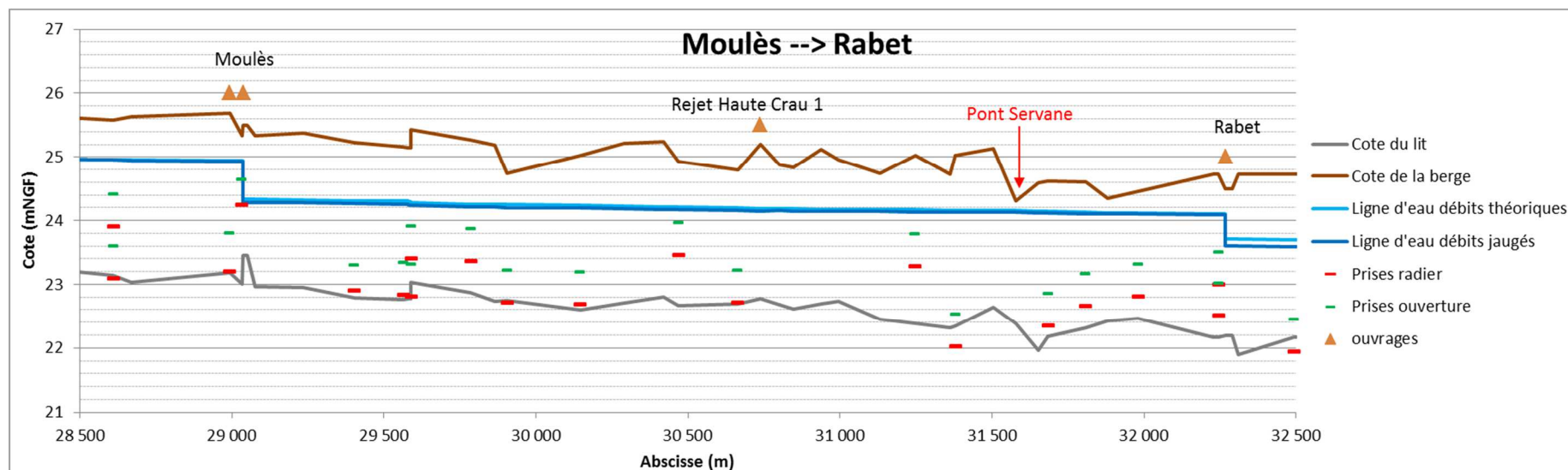


Figure 36 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL de Moulès à celle de Rabet

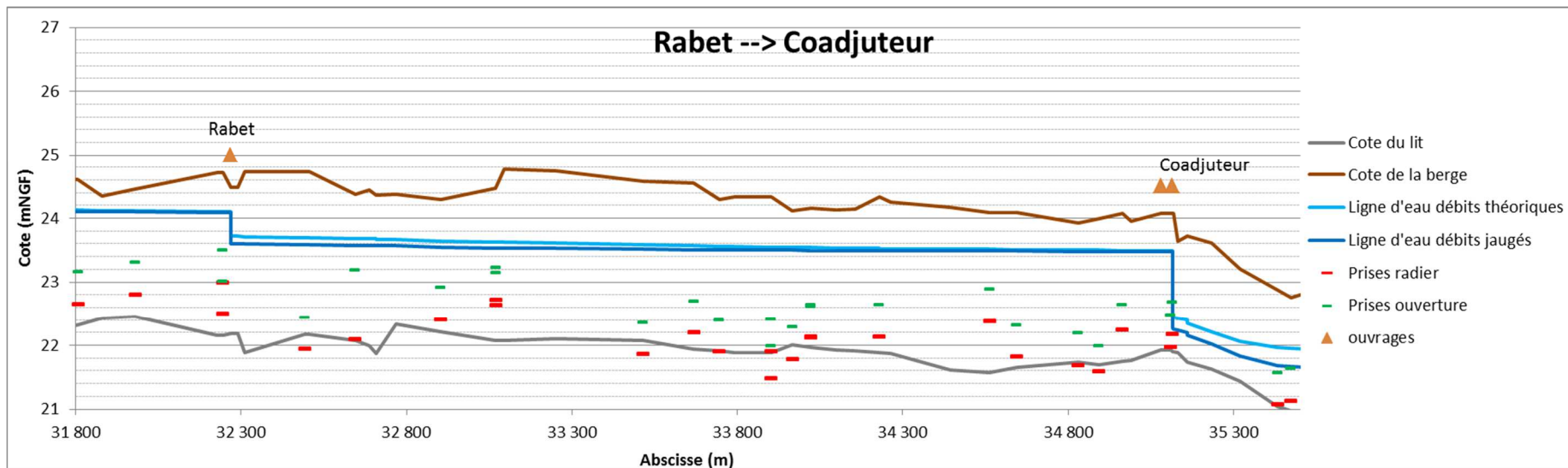


Figure 37 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL de Rabet à celle du Coadjuteur

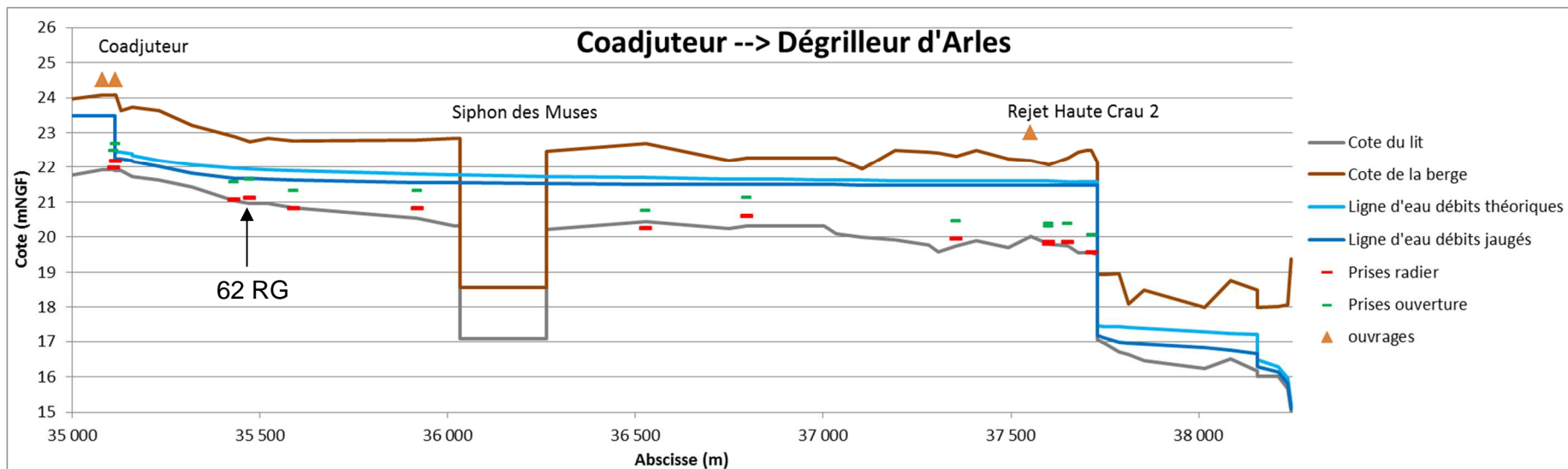


Figure 38 : Résultats scénario A et B régime permanent – de la vanne AMIL du Coadjuteur au dégrilleur d'Arles

4.2.2 Synthèse

En conclusion, ces deux modélisations mettent en évidence les secteurs limitants suivants :

- pont de la Tapie,
- pont Poissonnier,
- proximité prises 4 et 4bis RD (Luzernes),
- amont prise 33 RG (Les Blancs),
- pont Bellevue,
- pont Servanne.

Les prises sont globalement toutes alimentées, excepté la 21bis – Saint Hubert en rive gauche pour laquelle une vérification de la cote du radier serait nécessaire.

Certaines prises ne sont pas complètement en charge, d'où un risque de non atteinte du débit théorique (droit d'eau). Il s'agit de 12 prises en rive gauche et 1 en rive droite, situées sur la partie amont du canal, en amont du Moulin de Chambremont.

La différence principale entre ces deux scénarios est le débit transitant dans le canal principal, en raison des hypothèses sur les débits prélevés (théorique ou jaugés). La figure suivante représente le débit dans le canal principal, elle met en évidence trois fonctionnements distincts :

- En amont du jumelage les débits transitant dans le canal sont proches dans les deux scénarios. Cela signifie que les débits prélevés sont généralement proches du droit d'eau,
- Entre le jumelage et la vanne de Moulès, les débits transitant dans le canal sont supérieurs pour le scénario réel. Cela signifie qu'en moyenne les prises de ce tronçon prélèvent moins que leur droit d'eau.
- En aval de la vanne de Moulès, les deux courbes s'inversent, les débits prélevés sont donc généralement supérieurs aux droits d'eau.

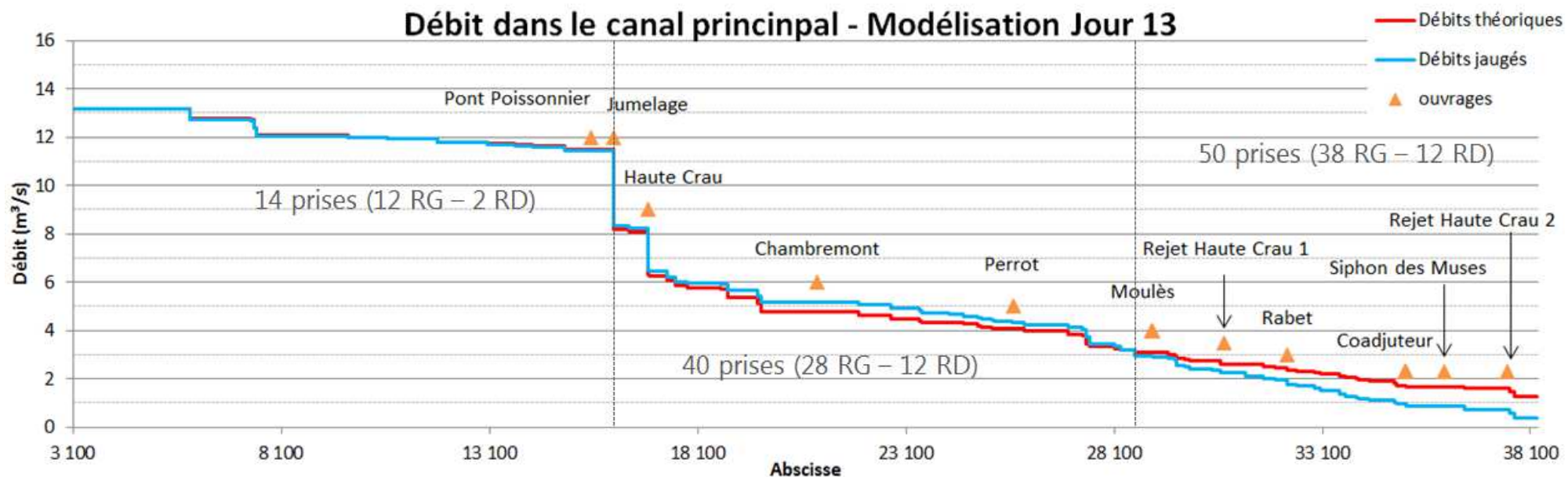


Figure 39 : Résultats scénario 1 et 2 régime permanent – débits transitant dans le canal

4.3 Scénario B régime transitoire

4.3.1.1 Hypothèses

Le test de ce scénario a nécessité plusieurs simulations afin de s'approcher du fonctionnement réel du canal, observé sur les mesures. La période retenue pour ce test est du 22 au 28 juillet 2017 car elle présente plusieurs variations journalières. Les hypothèses appliquées pour retrouver globalement le fonctionnement de ces 6 jours sont les suivantes :

- débit en entrée du modèle de 13,18 m³/s correspondant au droit d'eau maximum,
- les débits prélevés aux prises correspondent aux droits d'eau,
- respect du tour d'eau selon le calendrier fourni par l'ASCO,
- fermetures entre 0h00 et 8h00, des prises suivantes :
 - entre pont Poissonnier et Chambremont : prises fonctionnant en continu, en rive droite (3ter et 4bis),
 - entre Chambremont et Moulès : prises fonctionnant en continu, en rive droite (5 à 14),
 - entre Moulès et Coadjuteur : prises fonctionnant en continu, en rive droite (15 à 24),
 - en aval de la vanne Coadjuteur : prises fonctionnant en continu, en rive droite (prise 28).

4.3.1.2 Variation du débit dans le canal

La Figure 40 représente les variations de débit dans le canal principal au niveau de chaque station de mesure sur les 6 jours modélisés. Les valeurs issues des mesures sur le canal sont rappelées en pointillé.

Ce graphique montre que le scénario modélisé ne colle pas exactement aux valeurs mesurées dans le canal. Cependant, il met en évidence que la fermeture de certaines prises (entre 0h00 et 8h00) permet d'expliquer les variations de débit dans le canal. Les périodes de fermeture retenues pour ce scénario permettent globalement de retrouver les pics de débit dans le canal aux mêmes heures que sur les mesures.

Les valeurs de débit en chacune des stations et l'amplitude des variations obtenues sont cependant différentes des mesures. Ces valeurs sont très difficiles à caler étant données les incertitudes sur le débit prélevé par les prises et sur le nombre de prises ouvertes.

A titre de comparaison, un autre calcul a été réalisé en considérant que toutes les prises de type continues situées à l'aval du Moulin de Chambremont sont fermées entre 0h00 et 8h00. Les résultats sont présentés sur la Figure 41.

La différence majeure avec le calcul précédent concerne l'amplitude des variations de débit qui est plus élevée et ne représente pas non plus le fonctionnement réel, mesuré par les stations.

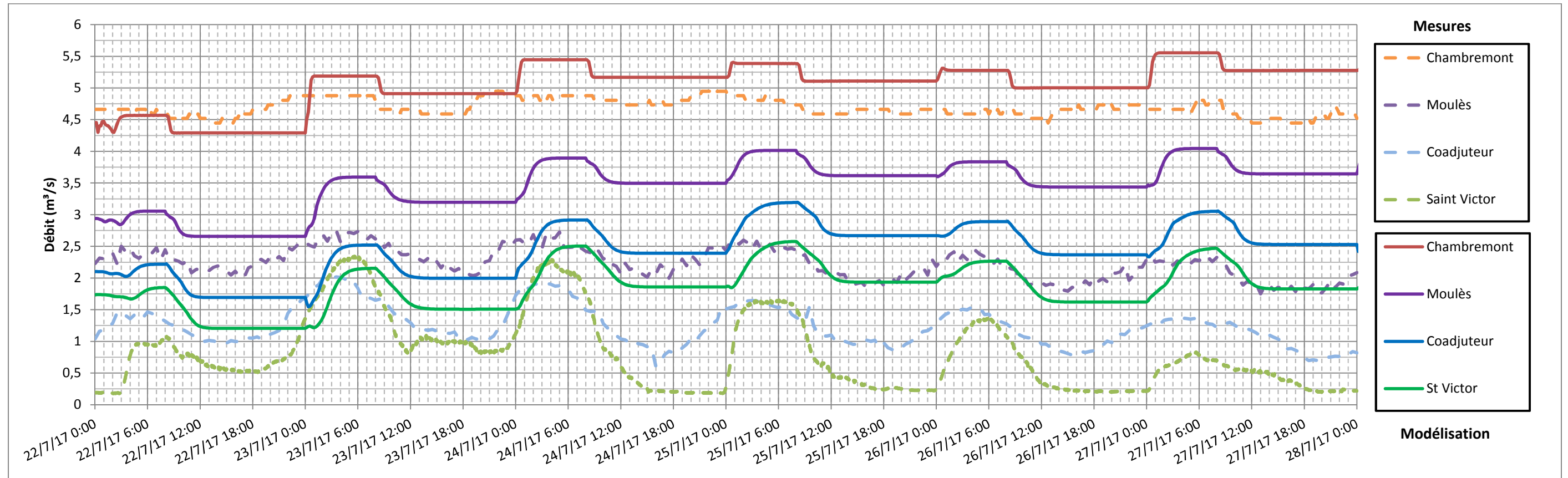


Figure 40 : Scénario B – Régime transitoire – variation de débit dans le canal principal

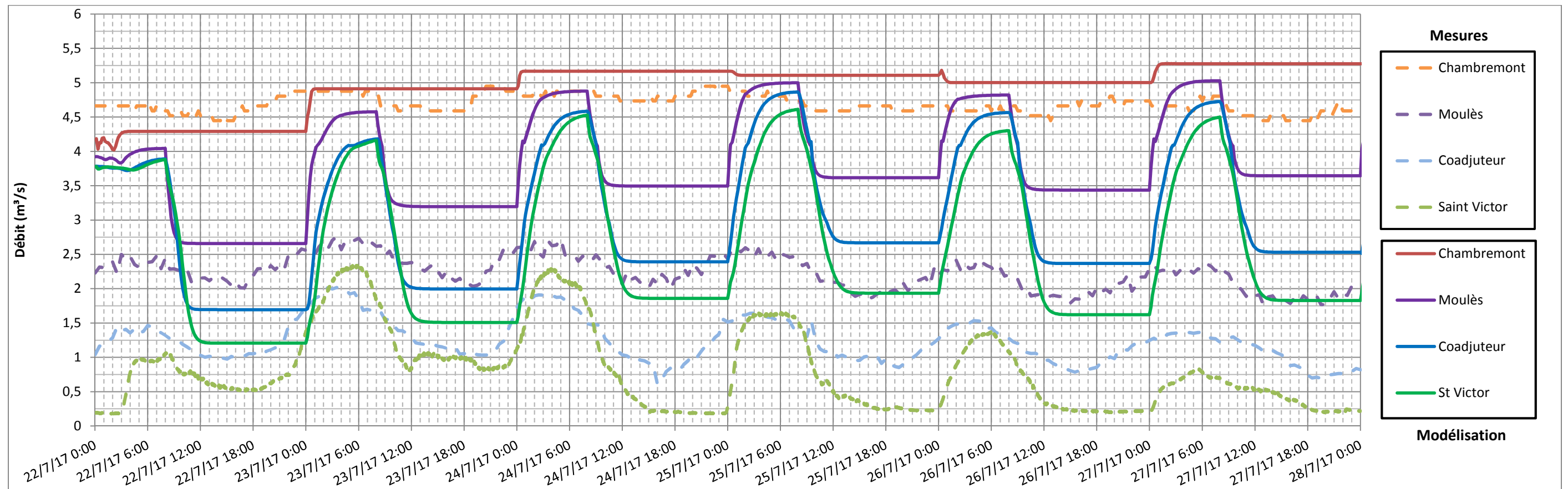


Figure 41 : Scénario B – Régime transitoire – variation de débit dans le canal principal – cas 2

4.3.1.3 Lignes d'eau

Ces variations de débit ont une influence sur le niveau de l'eau dans le canal principal. Ainsi certaines prises risquent de ne plus être correctement alimentées lors de ces périodes. Le scénario modélisé correspond à un fonctionnement théorique du canal où les débits prélevés correspondent aux droits d'eau. Les lignes d'eau obtenues sont donc proches des scénarios permanents présentés au paragraphe 4.2.1. De façon globale, les prises sont alors toutes bien alimentées.

Cependant, les débits mesurés dans le canal sur cette période sont sensiblement inférieurs aux débits obtenus par simulation. Des problèmes/défauts d'alimentation ont donc pu avoir lieu à cette période. De plus, les débits mesurés en amont des vannes AMIL sont parfois inférieurs à leur plage de fonctionnement (vanne du Coadjuteur principalement) ce qui rend d'autant plus probable le risque de défaut d'alimentation de certaines prises, le niveau amont n'étant plus assuré.

Ces variations de débit engendrent des variations de niveau, principalement en aval des chutes et des vannes AMIL :

- 10 cm localement en amont du Moulin de Chambremont,
- 20 cm en aval du Moulin de Chambremont (pour un écart de débit de 1,30 m³/s environ),
- 16 cm en aval de Perrot (pour un écart de débit de 1,40 m³/s environ),
- 26 cm en aval de Moulès (pour un écart de débit de 1,50 m³/s environ),
- 28 cm en aval de Rabet (pour un écart de débit de 1,50 m³/s environ),
- 46 cm en aval de Coadjuteur (pour un écart de débit de 1,70 m³/s environ).

Les lignes d'eau min et max obtenues par simulation sont présentées sur les figures pages suivantes.

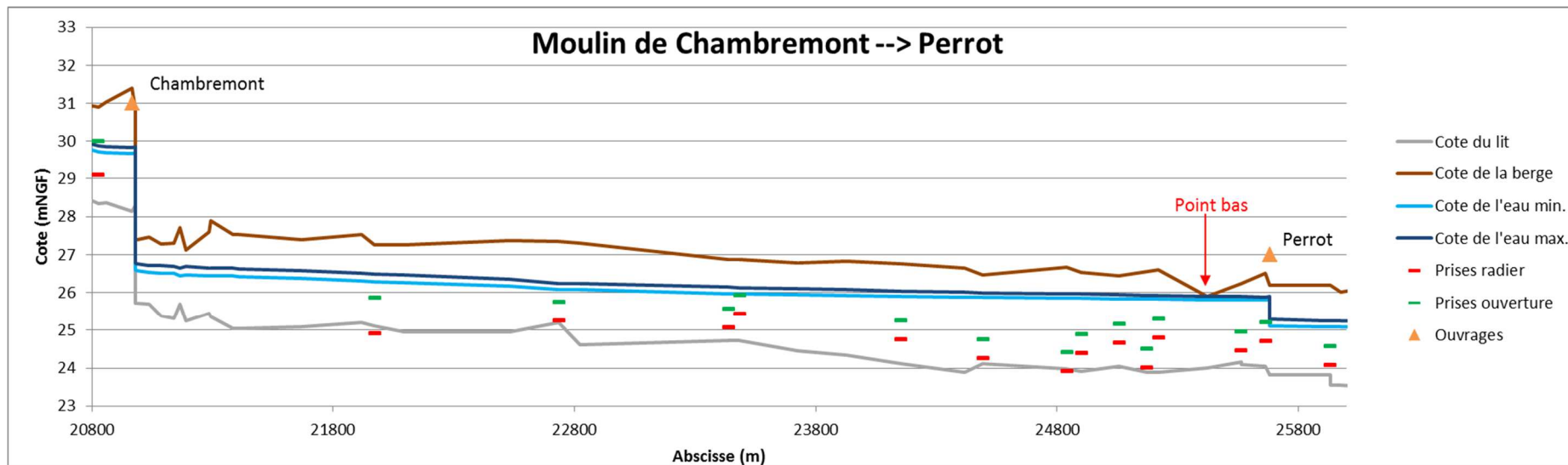


Figure 42 : Résultats scénario B régime transitoire – Moulin de Chambremont – Perrot

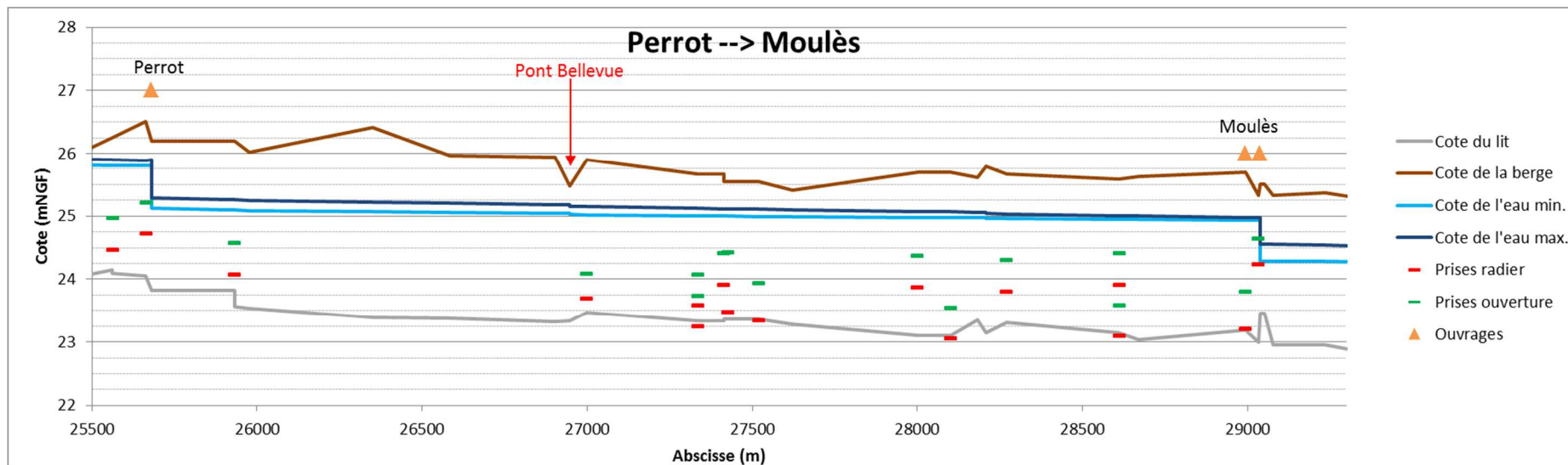


Figure 43 : Résultats scénario B régime transitoire – Perrot - Moulès

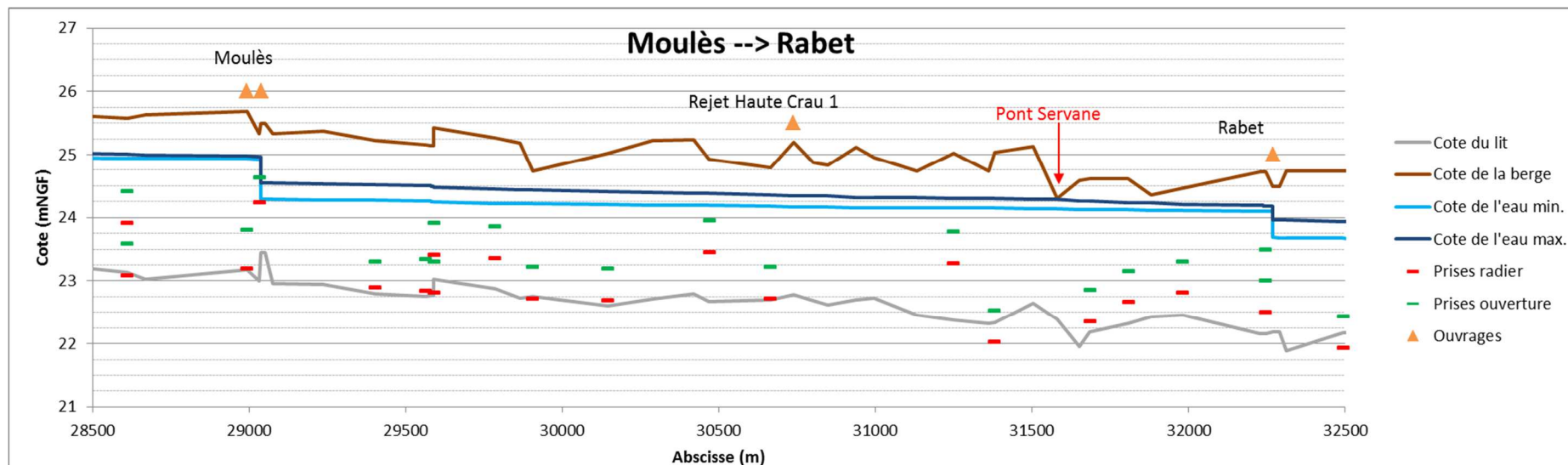


Figure 44 : Résultats scénario B régime transitoire – Moulès – Rabet

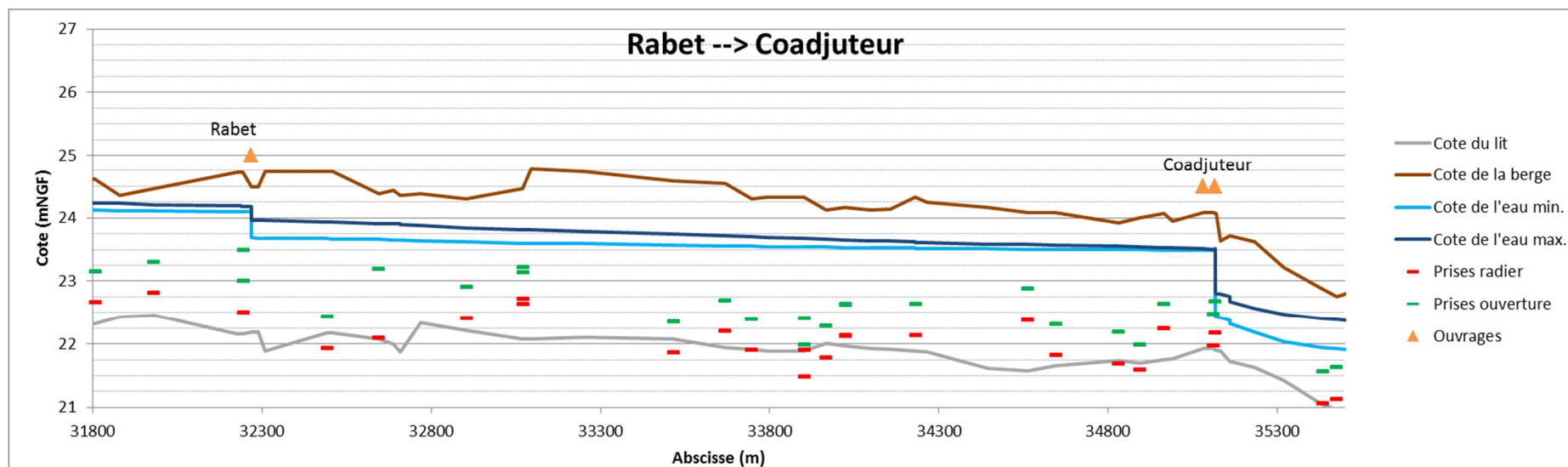


Figure 45 : Résultats scénario B régime transitoire – Rabet – Coadjuteur

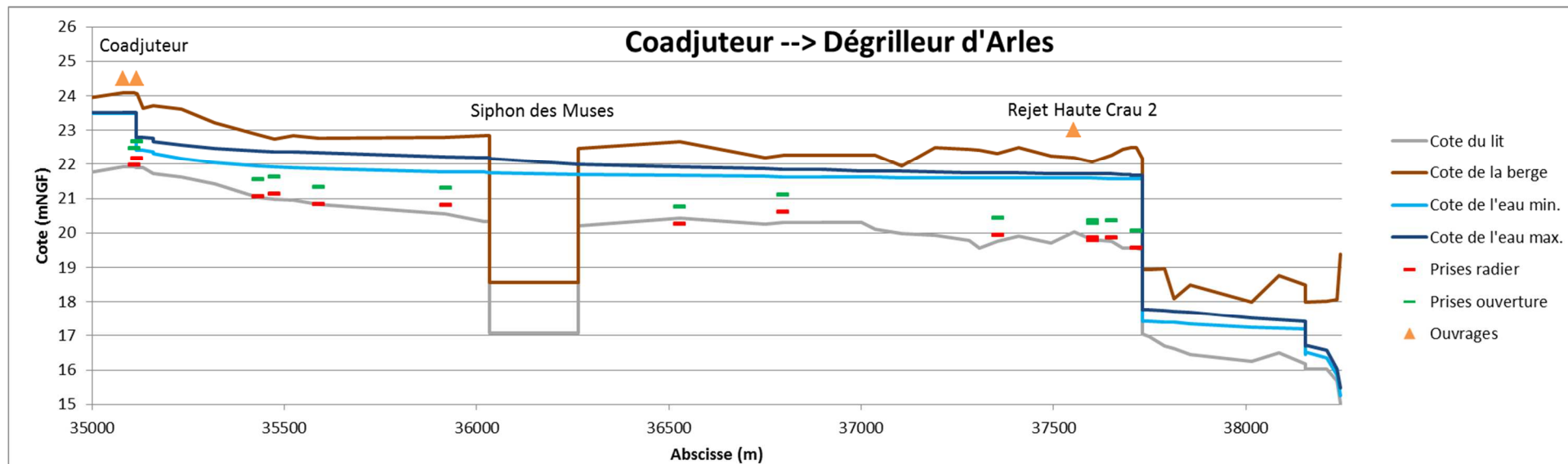


Figure 46 : Résultats scénario B régime transitoire – Coadjuteur – Dégrilleur d'Arles

4.4 Tests de sensibilité – Coefficient de Strickler

4.4.1 Hypothèses

L'objectif de ce test de sensibilité est d'évaluer l'influence de ce coefficient sur les hauteurs d'eau dans le canal. La dégradation du coefficient de Strickler représente une rugosité plus forte semblable à la prolifération d'algues ou de macrophytes dans le canal. En cohérence avec les observations de terrain, seule la deuxième partie du canal fait l'objet de ce test (zone plus sensible au développement d'algues).

Les hypothèses de calcul sont les mêmes que précédemment (cf. paragraphe 3.3). Seul le coefficient de frottement est adapté, en considérant une diminution de 20 % et de 50 % du coefficient de Strickler, par rapport aux coefficients de Strickler issu du calage (cf. Tableau 3), en aval du Moulin de Chambremont.

Ces deux tests sont réalisés sur le scénario théorique présenté au paragraphe 3.3.2. Les résultats sont présentés ci-après sous forme de graphiques.

4.4.2 Résultats

4.4.2.1 Du Moulin de Chambremont à la vanne AMIL de Perrot

La diminution du coefficient de Strickler engendre une augmentation des hauteurs d'eau, particulièrement marquée en aval de Chambremont, le niveau à Perrot étant bien maintenu par la vanne AMIL. Les augmentations de hauteur d'eau (par rapport au calage) sont :

- En aval du Moulin de Chambremont :
 - + 20 cm pour un Strickler – 20%,
 - + 1,20 m pour un Strickler – 50%.

Ces écarts s'atténuent en aval au niveau de la vanne AMIL. Le débit transitant par la vanne est le même pour les trois simulations (4,057 m³/s) et compris dans la plage de fonctionnement de la vanne AMIL. Le niveau amont est bien maintenu dans chaque simulation. Pour le cas le plus défavorable, le niveau amont est légèrement supérieur à la consigne (3 cm) et l'écoulement est noyé.

La revanche est plus faible pour le cas le plus défavorable (-50%) et en moyenne de 43 cm, sur les secteurs non débordants. Le secteur le plus limitant est en aval de Chambremont, où une telle dégradation du coefficient de Strickler provoque des débordements.

4.4.2.2 De la vanne AMIL de Perrot à celle de Moulès

De même que précédemment, la diminution du coefficient de Strickler engendre une augmentation des hauteurs d'eau, en aval de la vanne de Perrot, qui s'estompe plus en aval. Les augmentations de hauteur d'eau (par rapport au calage) sont :

- En aval de la vanne AMIL de Perrot :
 - + 10 cm pour un Strickler – 20%,
 - + 50 cm pour un Strickler – 50%.

Le débit transitant par la vanne est le même pour les trois simulations (3,069 m³/s) et compris dans la plage de fonctionnement de la vanne AMIL. Dans chaque cas simulé, le niveau amont est légèrement inférieur à la consigne pour chaque simulation (d'environ 1 cm). Pour le cas le plus défavorable (-50 %), l'écoulement est noyé.

La revanche est plus faible pour le cas le plus défavorable (-50%) et en moyenne de 50 cm. Cette situation ne génère cependant pas de débordement.

4.4.2.3 De la vanne AMIL de Moulès à celle de Rabet

De même que précédemment, la diminution du coefficient de Strickler engendre une augmentation des hauteurs d'eau en aval de la vanne de Moulès, qui s'estompe plus en aval. Les augmentations de hauteur d'eau (par rapport au calage) sont :

- En aval de la vanne AMIL de Moulès :
 - + 10 cm pour un Strickler – 20 %,
 - + 41 cm pour un Strickler – 50 %.

Le débit transitant par la vanne est le même pour les trois simulations (2,365 m³/s) et compris dans la plage de fonctionnement de la vanne AMIL. Pour le cas le plus défavorable, le niveau amont est légèrement supérieur à la consigne (3 cm) et l'écoulement est noyé.

La revanche est plus faible pour le cas le plus défavorable (-50 %) et en moyenne de 50 cm. Le secteur le plus limitant est le pont Servanne, où une telle dégradation du coefficient de Strickler risque d'engendrer des débordements.

4.4.2.4 De la vanne AMIL de Rabet à celle du Coadjuteur

De même que précédemment, la diminution du coefficient de Strickler engendre une augmentation des hauteurs d'eau en aval de la vanne de Rabet, qui s'estompe plus en aval. Les augmentations de hauteur d'eau (par rapport au calage) sont :

- En aval de la vanne AMIL de Rabet :
 - + 9 cm pour un Strickler – 20 %,
 - + 35 cm pour un Strickler – 50 %.

Le débit transitant par la vanne est le même pour les trois simulations (1,651 m³/s) et compris dans la plage de fonctionnement de la vanne AMIL. Dans chaque cas simulé le niveau amont est légèrement inférieur à la consigne pour chaque simulation (d'environ 3 cm). L'écoulement dans cette vanne est dénoyé pour chaque cas simulé.

La revanche est plus faible pour le cas le plus défavorable (-50%), et en moyenne de 55 cm. Cette situation ne génère cependant pas de débordement.

4.4.2.5 De la vanne AMIL du Coadjuteur au dégrilleur d'Arles

En aval de la vanne du Coadjuteur, il n'existe pas d'ouvrage de régulation assurant le maintien du niveau. Cependant, la présence de la chute de Saint Paul crée une section critique et un contrôle du niveau. Le débit transitant dans cette section est le même dans les trois simulations (1,26 m³/s), le niveau amont est donc également le même.

La diminution du coefficient de Strickler entraîne donc une augmentation des hauteurs d'eau en aval de la vanne du Coadjuteur, qui s'estompe au niveau de la chute de Saint Paul. Les augmentations de hauteur d'eau (par rapport au calage) sont :

- En aval de la vanne AMIL du Coadjuteur :
 - + 10 cm pour un Strickler – 20 %,
 - + 40 cm pour un Strickler – 50 %.

La revanche est plus faible pour le cas le plus défavorable (-50 %) et en moyenne de 85 cm. Cette situation ne génère cependant pas de débordement.

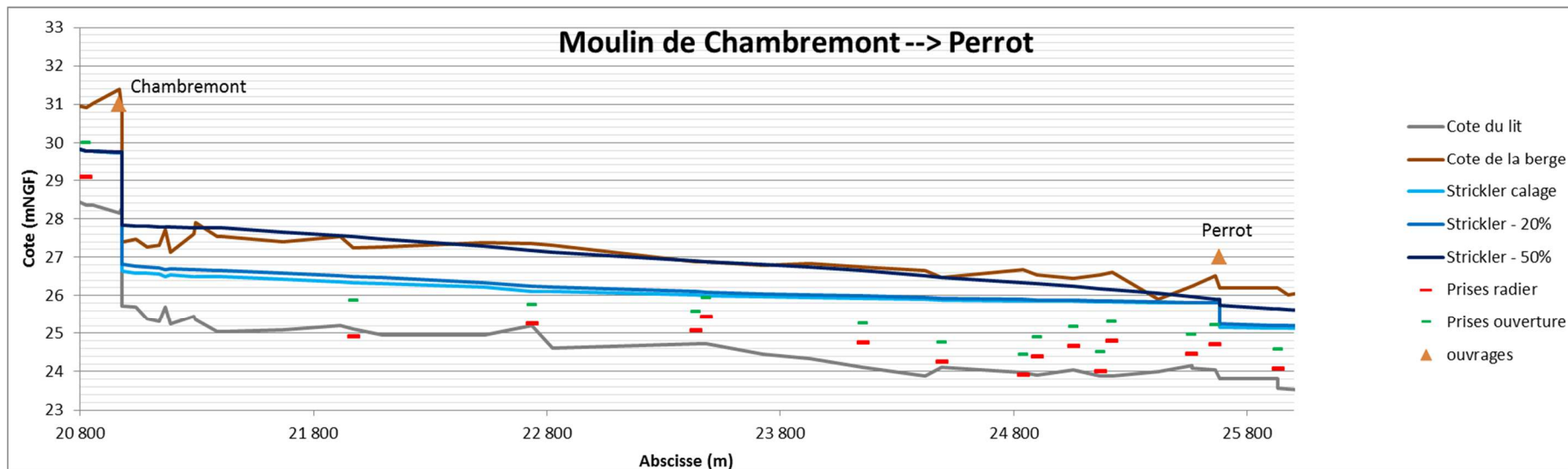


Figure 47 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – du Moulin de Chambremont à la vanne AMIL de Perrot

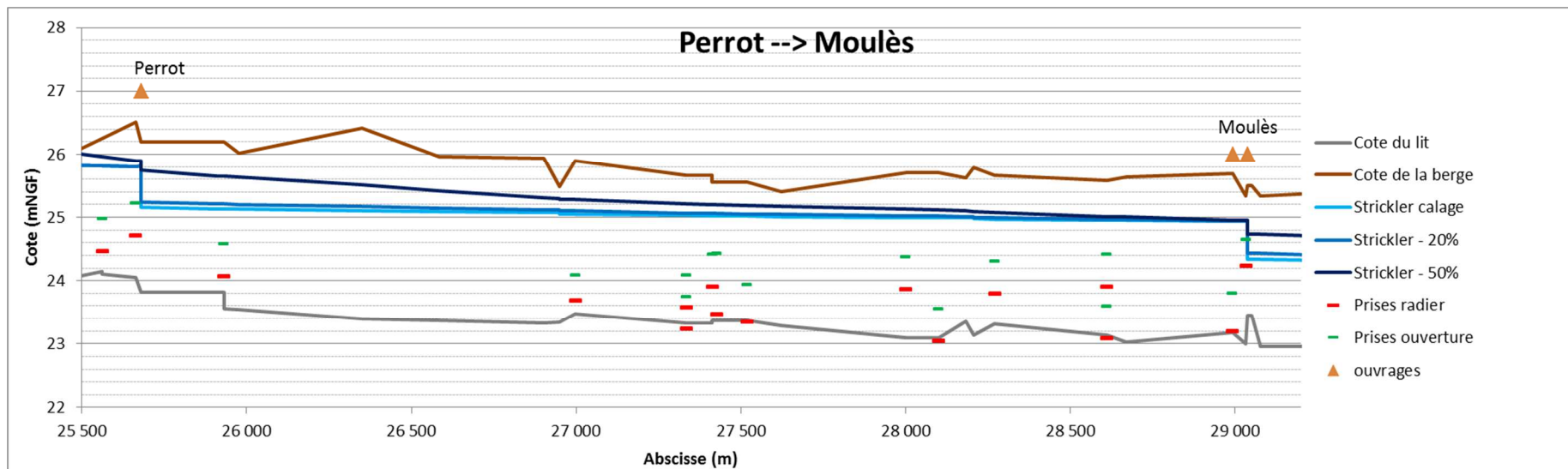


Figure 48 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL de Perrot à celle de Moulès

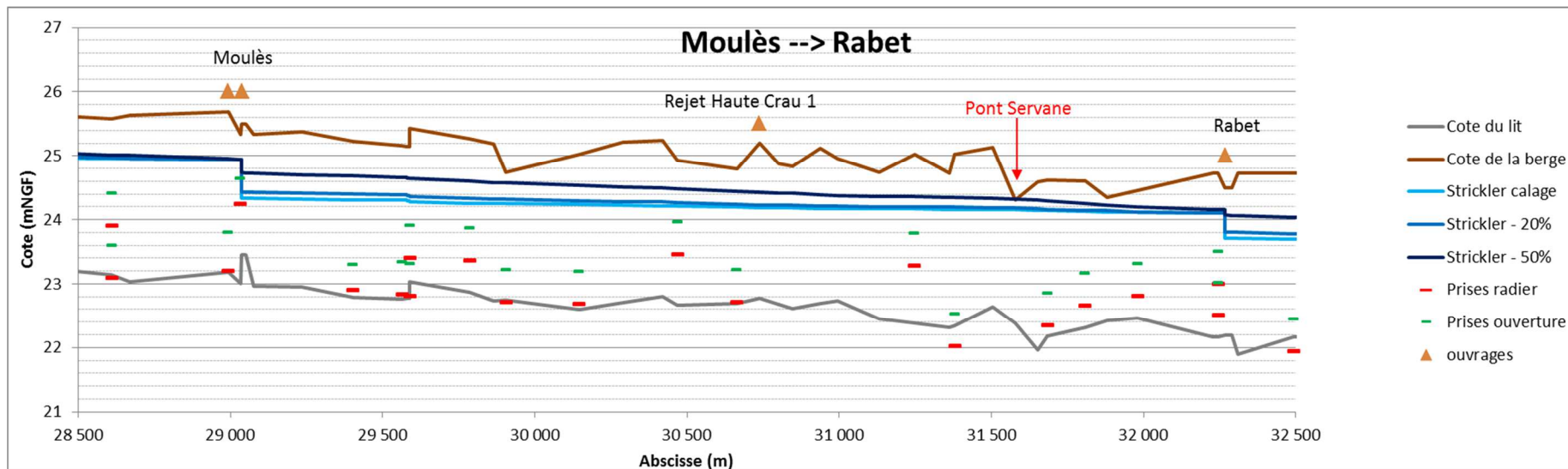


Figure 49 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL de Moulès à celle de Rabet

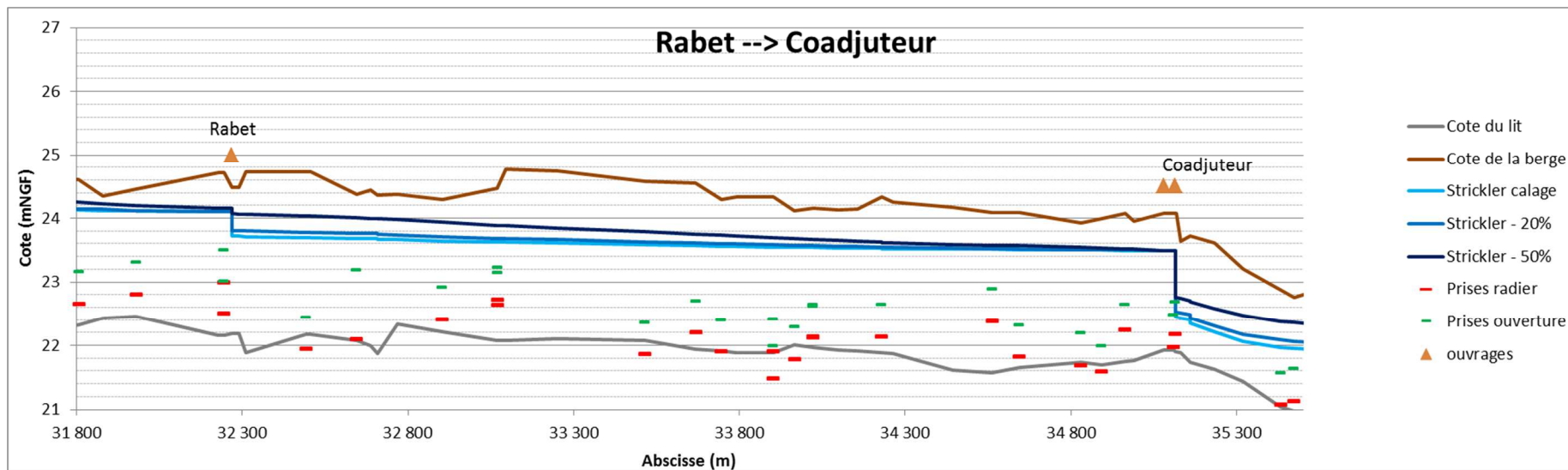


Figure 50 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL de Rabet à celle du Coadjuteur

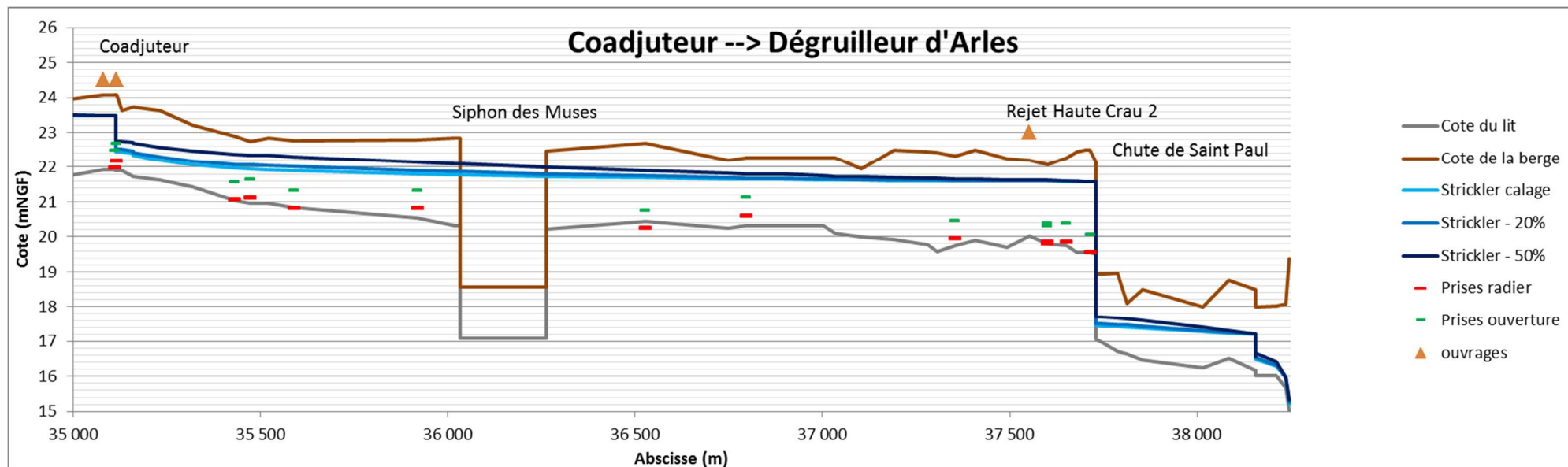


Figure 51 : Test de Sensibilité coefficient de Strickler – de la vanne AMIL du Coadjuteur au dégrilleur d'Arles

5 CONCLUSIONS ET REFLEXION POUR LA PHASE SUIVANTE

L'analyse des mesures et les différentes simulations réalisées permettent de mieux comprendre le fonctionnement du canal. Les principaux enseignements sont les suivants :

- **La partie amont du canal** (de pont Paradis au moulin de Chambremont) se caractérise par une pente relativement forte. Ce tronçon est donc rapide avec un temps de transit de l'ordre de 2h à 2h30.

Les simulations d'une journée de pointe montrent que certaines prises ne sont pas complètement en charge, la fourniture du droit d'eau de ces prises n'est donc pas assurée.

Les mesures mettent en évidence que le débit est globalement continu sur ce tronçon. Les prises sont effectivement de type « prise continue » et prélèvent l'intégralité de leur droit d'eau pendant la période d'irrigation.

- **La partie aval du canal** (en aval du moulin de Chambremont) présente une pente plus faible avec des temps de transit plus élevés (environ 6h). Le niveau d'eau est maintenu par l'intermédiaire de quatre vannes AMIL, les prises sont donc globalement bien alimentées.

Les mesures sur ce tronçon mettent en évidence d'importantes variations de débit sur la journée. Ces variations ont comme origine une variation des pratiques d'irrigation dans cette zone (les exploitations sont globalement plus petite que sur la partie amont). En effet une fermeture des prises la nuit (entre 0h00 et 8h00) permet globalement de retrouver, par simulation, les variations observées dans le canal.

Les mesures montrent également un problème de manque d'eau sur cette partie aval. Le rejet est en effet quasiment nul sur certaines périodes des mois de juin, juillet et août.

Les débits transitant dans le canal, en aval de la vanne de Moulès, sont généralement plus faibles par rapport au scénario théorique, d'où un manque d'eau sur ce secteur en aval et un risque de mauvaise alimentation des prises.

La gestion du canal telle qu'effectuée actuellement demande une très grande connaissance du canal, et beaucoup de maîtrise de la part des exploitants. La régulation du canal par l'amont implique un fonctionnement avec un surplus d'eau, qui retourne vers le Rhône à l'extrémité aval du canal.

Les économies d'eau, c'est-à-dire la limitation du prélèvement en tête et la limitation des décharges en aval, passent par un meilleur contrôle des débits prélevés, ou la création de zones de stockage pour compenser les écarts de prélèvement le temps que le débit en tête soit ajusté.

Les pistes suivantes sont envisageables pour améliorer la gestion du canal :

- regroupement de certaines prises,
- sécurisation de l'alimentation de certaines prises (sur la partie amont),
- création de zones de stockage,
- modification, et motorisation des ouvrages de régulation.

La suite de l'étude portera sur trois scénarios prospectifs, en visant à proposer des aménagements adéquats :

- **Un scénario I conduisant à optimiser la gestion actuelle** du canal, dont les hypothèses seront la préservation des droits d'eau actuels et l'optimisation de la distribution entre usagers au regard des attentes qu'ils auront émis.
- **Un scénario II visant l'atteinte d'un optimum vis-à-vis de la ressource en eau** pour lequel les membres du COPIL fixeront des objectifs à atteindre en termes de débits et de mode de régulation.
- **Un scénario III concernant les situations critiques** : soit remplissage maximal sur l'amont par les entrées pluviales, soit forte sécheresse selon les conditions de l'année 2007.

Le scénario I correspond au scénario théorique A complété par des propositions d'aménagements pour assurer le prélèvement de leur droit d'eau à chaque usager du canal ; tout en optimisant sa gestion globale (adaptation de la régulation aux variations des prélèvements par exemple).

Le scénario II reprend les mêmes objectifs que le scénario I mais vise à réduire les pertes d'eau du canal et limiter les rejets selon les objectifs fixés par les membres du COPIL. Une réunion supplémentaire est nécessaire pour définir ces objectifs. Ce scénario consistera à proposer des aménagements plus ambitieux que le scénario I.

Le scénario III correspond au fonctionnement critique du canal, en période de sécheresse ou d'apport pluviaux importants, soit deux scénarios de modélisation.