



# Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

PHASE 1 : ANALYSE DE LA FAISABILITE DU PROJET

RAPPORT DEFINITIF

**ARTELIA EAU ET ENVIRONNEMENT**

MEDITERRANEE - MARSEILLE

Le Condorcet  
18 rue Elie Pelas – CS 80132  
13122 MARSEILLE Cedex 16  
Tel. : +33 (0)4 91 17 55 84  
Fax : +33 (0)4 91 17 00 74



DATE : JUIN 2019

REF : 8230599

Passion & Solutions

## DEMARCHE QUALITE

| <i>Version</i> | <i>Date</i> | <i>Auteur</i>                                  | <i>Vérification</i> | <i>Approbation</i>   | <i>Commentaires</i>  |
|----------------|-------------|--|---------------------|--|--|
| 1              | 21/09/2018  | Eric Tiriau<br>Vincent Mano<br>Gaëlle Gaultier | Eric Tiriau         |  | Version initiale   |
| 2              | 13/06/2019  | Eric Tiriau<br>Vincent Mano<br>Gaëlle Gaultier | Eric Tiriau         |  | Version mise à jour (en cohérence avec le dossier réglementaire, et complété sur la partie modélisation hydro-sédimentaire et ses conclusions) |
| 3              | 28/06/2019  | Eric Tiriau<br>Vincent Mano<br>Gaëlle Gaultier | Eric Tiriau         | Nicolas Scheidecker,<br>Franck Compagnon<br>(SMIAGE<br>MARALPIN) | Version définitive (corrections mineures)  |

## SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Introduction</b>  | <b>12</b> |
| 1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE   | 12        |
| 1.2 SITUATION  | 12        |
| 1.3 SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DU LIT DU VAR                               | 15        |
| 1.4 DONNÉES DISPONIBLES  | 17        |
| <b>2 Rappel de l'historique de la basse vallée du Var et du secteur du seuil 7</b> | <b>19</b> |
| 2.1 CONTEXTE GÉNÉRAL   | 19        |
| 2.2 HISTORIQUE DU SECTEUR DU SEUIL 7   | 19        |
| <b>3 Caractéristiques actuelles des ouvrages</b>                                   | <b>24</b> |
| 3.1 PONT DE LA MANDA   | 24        |
| 3.2 RÉALISATION DU SEUIL 7   | 27        |
| 3.2.1 RÉALISATION INITIALE (1972)  | 27        |
| 3.2.2 AJOUT D'UNE MICROCENTRALE (1985)   | 29        |
| 3.2.3 RÉPARATION (2008)  | 30        |
| 3.3 AMÉNAGEMENT DE LA TRÉMIE DE LA MANDA   | 32        |
| 3.3.1 CONTEXTE ET PRINCIPES DE L'AMÉNAGEMENT                                       | 32        |
| 3.3.2 PLAN MASSE SYNTHÉTIQUE DE L'ENSEMBLE DES AMÉNAGEMENTS                        | 33        |
| 3.3.3 REÇEPAGE DU SEUIL 7 ET SEUIL PROVISOIRE                                      | 35        |
| 3.3.4 AUTRES AMÉNAGEMENTS  | 37        |
| 3.3.4.1 Profil en long du mur côté Var de la trémie                                | 37        |
| 3.3.4.2 Protection de la pile P1   | 37        |
| 3.3.4.3 Protection en enrochements de la rive droite                               | 38        |
| 3.3.4.4 OH 9   | 40        |
| 3.3.4.5 Station de pompage   | 40        |
| 3.4 PROTECTION DE LA RIVE GAUCHE   | 40        |
| 3.5 RESEAUX  | 41        |
| 3.6 STATION HYDROMÉTRIQUE  | 41        |
| 3.7 SITUATION ACTUELLE DES OUVRAGES  | 42        |
| 3.7.1 PROFIL ACTUEL DU SEUIL 7   | 42        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.7.2      | MUR DE LA TREMIE COTE VAR ET PROTECTIONS EN PIED  | 44        |
| 3.7.3      | SEUIL PROVISOIRE  | 45        |
| 3.7.3.1    | Evolutions récentes et recherche des causes   | 45        |
| 3.7.3.2    | Evaluation du risque pour les piles du pont de la Manda   | 46        |
| 3.7.3.2.1  | INTRODUCTION  | 46        |
| 3.7.3.2.2  | PROBABILITE D'UN CHENAL TOUCHANT LA PILE P2 OU LA PILE P3 REMONTANT DEPUIS UNE BRECHE SUR LE SEUIL PROVISOIRE | 47        |
| 3.7.3.2.3  | RISQUE POUR LES PILES P2 ET P3  | 48        |
| <b>4</b>   | <b>Fonctionnement morphodynamique du Var</b>  | <b>49</b> |
| <b>4.1</b> | <b>OBJECTIFS</b>  | <b>49</b> |
| <b>4.2</b> | <b>ANALYSE DES EVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES RECENTES</b>   | <b>49</b> |
| 4.2.1      | SYNTHESE DE L'EVOLUTION PASSEE  | 49        |
| 4.2.2      | EVOLUTION RECENTE DU LIT DU VAR ENTRE LA CONFLUENCE DE L'ESTERON ET LE SEUIL 6                                | 52        |
| 4.2.3      | MORPHOLOGIE DU LIT ATTENDUE DANS LE CADRE DU SAGE   | 57        |
| 4.2.3.1    | Cote d'abaissement des seuils et profil d'équilibre   | 57        |
| <b>5</b>   | <b>Fonctionnement hydrogéologique de la basse vallée</b>  | <b>60</b> |
| <b>5.1</b> | <b>GEOLOGIE</b>   | <b>60</b> |
| 5.1.1      | CONTEXTE GENERAL  | 60        |
| 5.1.2      | CONTEXTE LOCAL AU DROIT DU SEUIL 7  | 63        |
| <b>5.2</b> | <b>HYDROLOGIE DU VAR</b>  | <b>65</b> |
| 5.2.1      | DONNEES HYDROLOGIQUES   | 65        |
| 5.2.2      | ANALYSE DU PROFIL EN LONG   | 65        |
| <b>5.3</b> | <b>HYDROGEOLOGIE</b>  | <b>65</b> |
| 5.3.1      | CARTE PIEZOMETRIQUE   | 65        |
| 5.3.2      | CHRONIQUE LONGUE A PROXIMITE DU SEUIL 7 : PZ34BIS   | 68        |
| 5.3.3      | PRELEVEMENTS AU SEIN DE L'AQUIFERE ALLUVIAL   | 70        |
| 5.3.3.1    | Prélèvements pour l'alimentation en eau potable   | 70        |
| 5.3.3.2    | Prélèvements industriels et agricoles   | 71        |
| 5.3.3.3    | Prélèvements domestiques  | 72        |
| <b>5.4</b> | <b>RETOUR D'EXPERIENCE SUR L'ABAISSEMENT DES SEUILS 9 ET 10</b>   | <b>72</b> |
| 5.4.1      | NATURE DES TRAVAUX  | 72        |
| 5.4.2      | INCIDENCE SUR LA NAPPE  | 73        |
| 5.4.2.1    | Incidence théorique de l'abaissement d'un seuil   | 73        |
| 5.4.2.2    | Analyse des chroniques piézométriques   | 74        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 5.4.2.2.1  | DONNEES DISPONIBLES   | 74         |
| 5.4.2.2.2  | ANALYSE DES DONNEES   | 77         |
| <b>5.5</b> | <b>CAS DU SEUIL 7</b>   | <b>82</b>  |
| <b>6</b>   | <b>Conception antérieure du projet d'abaissement</b>                        | <b>86</b>  |
| <b>6.1</b> | <b>ETUDES D'AMENAGEMENT DE LA TREMIE DE LA MANDA</b>                        | <b>86</b>  |
| 6.1.1      | PRESENTATION SYNTHETIQUES DES AMENAGEMENTS PREVUS ET DE LEUR PRINCIPE       | 86         |
| 6.1.1.1    | Recépage du seuil 7   | 86         |
| 6.1.1.2    | Protections contre les affouillements du pont de la Manda                   | 86         |
| 6.1.1.3    | Suppression de l'ancienne pile  | 86         |
| 6.1.1.4    | Protections en rive gauche  | 86         |
| 6.1.1.5    | Fermeture de l'échancrure de la trémie                                      | 87         |
| 6.1.2      | PHASAGE PRECONISEE  | 87         |
| <b>6.2</b> | <b>ETUDE DES INCIDENCES DE L'ABAISSEMENT DES SEUILS SUR LA NAPPE DU VAR</b> | <b>87</b>  |
| <b>7</b>   | <b>Conception du projet d'abaissement</b>                                   | <b>89</b>  |
| <b>7.1</b> | <b>CONTRAINTES ACTUELLES MODIFIANT LA CONCEPTION ANTERIEURE</b>             | <b>89</b>  |
| 7.1.1      | DEMANTELEMENT DE LA MICROCENTRALE HYDROELECTRIQUE                           | 89         |
| <b>7.2</b> | <b>CARACTERISTIQUES DU PROJET D'ABAISSEMENT</b>                             | <b>89</b>  |
| 7.2.1      | ABAISSEMENT DU SEUIL 7  | 89         |
| 7.2.1.1    | Profil type de la crête du seuil  | 89         |
| 7.2.1.2    | Protection de la crête abaissée   | 94         |
| 7.2.1.3    | Coupes types du seuil   | 96         |
| 7.2.2      | PROTECTION CONTRE LES AFFOUILLEMENTS DES PILES DU PONT DE LA MANDA          | 97         |
| 7.2.3      | SUPPRESSION DES ANCIENNES PILES   | 101        |
| 7.2.4      | MODIFICATION DE L'ECHANCRURE DE LA TREMIE                                   | 103        |
| 7.2.5      | PROTECTION EN RIVE GAUCHE   | 104        |
| <b>7.3</b> | <b>IMPACTS DIVERS</b>   | <b>107</b> |
| 7.3.1      | IMPACTS SUR LES VALLONS   | 107        |
| 7.3.1.1    | Impact sur le vallon de la Tour   | 107        |
| 7.3.1.2    | Impacts sur les vallons rive gauche   | 108        |
| 7.3.2      | IMPACTS SUR LA STATION HYDROMETRIQUE  | 108        |
| <b>8</b>   | <b>Modélisation hydro-sédimentaire</b>                                      | <b>108</b> |
| <b>8.1</b> | <b>INTRODUCTION ET OBJECTIFS</b>  | <b>108</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>8.2 CONSTRUCTION DU MODELE</b>  | <b>108</b> |
| 8.2.1 MODELE UTILISE   | 108        |
| 8.2.2 DONNEES UTILISEES  | 109        |
| 8.2.2.1 Topographie  | 109        |
| 8.2.2.2 Granulométrie  | 109        |
| 8.2.2.3 Chronique de débit   | 111        |
| 8.2.2.4 Débits classés   | 112        |
| 8.2.3 DESCRIPTION DU MODELE  | 113        |
| 8.2.3.1 Emprise  | 113        |
| 8.2.3.2 Représentation du lit du Var   | 114        |
| 8.2.3.3 Représentation de la loi hauteur débit des seuils  | 116        |
| <b>8.3 CALAGE DU MODELE</b>  | <b>117</b> |
| 8.3.1 PRINCIPES  | 117        |
| 8.3.2 LOI DE TRANSPORT SOLIDE  | 118        |
| 8.3.2.1 Lois de transport solide utilisées antérieurement  | 118        |
| 8.3.2.1.1 ETUDE DU FONCTIONNEMENT PHYSIQUE DU FLEUVE VAR (REFERENCE /14/)                                      | 118        |
| 8.3.2.1.2 RN202BIS – TREMIE DE LA MANDA – MODELISATION HYDRAULIQUE – ESSAIS SUR FONDS MOBILES (REFERENCE /11/) | 118        |
| 8.3.2.1.3 RN202BIS – MODELISATION DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DU VAR – MODELE DE ST-JOSEPH                  | 118        |
| 8.3.2.2 Choix d'une formule de transport solide  | 119        |
| 8.3.3 SIMULATIONS DE CALAGE  | 122        |
| 8.3.3.1 Choix des périodes modélisées  | 122        |
| 8.3.3.2 Période 2011 – 2013  | 123        |
| 8.3.3.3 Période 2013 – 2017  | 126        |
| 8.3.3.4 Aptitude du modèle à représenter les lignes d'eau en crue  | 129        |
| VALIDATION DES ESTIMATIONS DES APPORTS SOLIDES SUR UNE LONGUE PERIODE  | 130        |
| 8.3.4  | 130        |
| <b>8.4 MODELISATIONS</b>   | <b>134</b> |
| 8.4.1 PERIODE 2017 – 2018  | 134        |
| 8.4.2 PERIODE DE 5 ANS A PARTIR DE 2018 ET ABAISSEMENT DU SEUIL 8  | 137        |
| 8.4.3 ABAISSEMENT DU SEUIL 7 (AVEC CONSERVATION DE LA MICROCENTRALE) EN 2019 ET NOUVELLE PERIODE DE 5 ANS      | 139        |
| 8.4.4 ABAISSEMENT DU SEUIL 7 ET SUPPRESSION DE LA MICROCENTRALE EN 2019  | 142        |
| 8.4.5 CONCLUSION   | 146        |
| <b>9 Estimation financière, modalités de réalisation</b>   | <b>149</b> |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>9.1 ESTIMATION FINANCIERE</b>  | <b>149</b> |
| <b>9.2 PHASAGE DE REALISATION</b> | <b>152</b> |
| <b>9.3 PERIODE DE REALISATION</b> | <b>154</b> |

## TABLEAUX

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 1 : Données disponibles  | 17  |
| Tableau 2 : Cote moyenne d'abaissement des seuils de l'étude 2003  | 57  |
| Tableau 3 : Analyse de l'engravement des biefs et des projections antérieures  | 58  |
| Tableau 4 : Informations sur le champ captant de la Manda (situé à Carros) (source : /6/)  | 71  |
| Tableau 5 : Prélèvements déclarés auprès de l'Agence de l'Eau RMC en 2015  | 72  |
| Tableau 6 : Cotes des seuils avant et après abaissement  | 72  |
| Tableau 7 : Piézomètres de la nappe alluviale du Var (données ADES)  | 75  |
| Tableau 8 : Synthèse des évolutions piézométriques entre l'amont du seuil 10 et le seuil 5 depuis l'abaissement des seuils 9 et 10 | 81  |
| Tableau 9 : hypothèses d'abaissement des seuils dans le modèle hydrogéologique de 2005   | 82  |
| Tableau 10 : Granulométries retenues pour l'étude  | 111 |
| Tableau 11 : Relation débit solide / débit liquide retenue pour le modèle physique de la trémie de la Manda                        | 118 |
| Tableau 12 : Estimation financière de l'abaissement du seuil 7 (microcentrale conservée)   | 150 |
| Tableau 13 : Estimation financière de l'abaissement du seuil 7 (microcentrale démantelée)  | 151 |

## FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Situation générale du seuil n°7 dans la basse vallée du Var                       | 13 |
| Figure 2 : Situation du seuil n°7 (source : Géoportail)                                      | 14 |
| Figure 3 : Environnement immédiat du seuil 7   | 15 |
| Figure 4 : Chronologie de l'aménagement des seuils de la basse vallée du Var (source : /13/) | 16 |
| Figure 5 : la vallée du Var vers Carros en 1759 (source : archives départementales)          | 20 |
| Figure 6 : Ancien pont routier/ferroviaire de la Manda (source site internet CPARama)        | 21 |
| Figure 7 : Secteur du pont de la Manda en 1943 (source : IGN)                                | 22 |
| Figure 8 : Rive gauche du pont de la Manda en 1964 (source : IGN)                            | 23 |
| Figure 9 : Nouveau pont de la Manda en 1969 (source : IGN)                                   | 23 |
| Figure 10 : Elévation aval du pont de la Manda (source : /30/)                               | 25 |
| Figure 11 : Plans des piles du pont de la Manda (source : /30/)                              | 26 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 12 : Coupe-type longitudinale des seuils 2 à 10 (source : DDTM, 1982)   | 27 |
| Figure 13 : Coupe longitudinale du seuil 7 (source DDTM, date ?)   | 27 |
| Figure 14 : Coupe du seuil 7 à sa construction d'après archives  | 28 |
| Figure 15 : Vue de la crête actuelle de l'ouvrage depuis la microcentrale (février 2016)   | 29 |
| Figure 16 : Microcentrale du seuil 7 et sa voie d'accès vue de l'amont (février 2016)  | 30 |
| Figure 17 : Etat du seuil en 2005  | 31 |
| Figure 18 : Coupe-type des travaux de renforcement du seuil 7 en 2008, d'après documents disponibles   | 32 |
| Figure 19 - Synthèse des travaux réalisés lors de l'aménagement de la trémie de la Manda   | 34 |
| Figure 20 : Coupe-type du seuil recépé en 2007 en rive droite, d'après les données disponibles   | 35 |
| Figure 21 : Seuil provisoire, radier et protection de la pile P1 (extrait du DOE)  | 36 |
| Figure 22 : Vue en coupe du seuil provisoire projeté en APS (source : /9/)   | 36 |
| Figure 23 : Protection projetée des piles du pont de la Manda (APS, source : /9/)  | 38 |
| Figure 24 : Profil type de la protection de la rive droite en amont du seuil provisoire (source : /27/)  | 39 |
| Figure 25 : Protection projetée de la rive droite en amont (APS, source : /9/)   | 39 |
| Figure 26 : Coupe-type des digues Sardes (source : /4/)  | 40 |
| Figure 27 : Profil de la digue rive gauche 380 m environ en amont du seuil 7 (source : /7/)  | 41 |
| Figure 28 : Mesures de niveaux de la station hydrométrique de la Manda, vue depuis la microcentrale  | 42 |
| Figure 29 : Profil actuel du seuil 7 (vue de l'aval)   | 43 |
| Figure 30 : Echancrure de la trémie et protection de la rive droite du seuil 7   | 44 |
| Figure 31 : Mur de la trémie côté Var lors de la crue du 26/11/2016 (vers 15 h, soit Q~800 m³/s)   | 44 |
| Figure 32 : Partie aval du seuil provisoire en septembre 2015 (à gauche) et en septembre 2017 (à droite)   | 45 |
| Figure 33 : Partie aval du seuil provisoire lors de la crue du 26/11/2016 (vers 15 h, soit Q~800 m³/s)   | 46 |
| Figure 34 : Essai 3 du modèle physique à fonds mobiles de la trémie de la Manda (enlèvement du seuil provisoire) : chenaux à la fin de la crue centennale (source : /11/)          | 47 |
| Figure 35 : Essai 3 du modèle physique à fonds mobiles de la trémie de la Manda (enlèvement du seuil provisoire) : attaque de la pile P2 en fin de crue centennale (source : /11/) | 48 |
| Figure 36 : Synthèse de l'évolution du lit du Var en plan dans le secteur du seuil 7   | 50 |
| Figure 37 : Evolution globale du profil en long du Var dans sa basse vallée  | 51 |
| Figure 38 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 1993 – 2002   | 53 |
| Figure 39 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 2002 - 2013   | 54 |
| Figure 40 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 2013 – 2017   | 55 |
| Figure 41 : Evolution en plan entre les seuils 7 et 10 entre 1999 et 2014  | 56 |
| Figure 42 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 2013 – 2017, et profils en long projetés  | 59 |
| Figure 43 : Carte géologique et hydrogéologique (source : /5/)   | 61 |
| Figure 44 : Coupe géologique n°3 (cf. carte précédente) (source : /5/)   | 62 |
| Figure 45 : Localisation des sondages BSS par rapport au seuil 7   | 63 |
| Figure 46 : Coupe géologique BSS002FFQX à proximité du seuil 7   | 64 |
| Figure 47 : Débits journaliers du Var au pont de la Manda (Banque Hydro)   | 65 |
| Figure 48 : Corrélation entre la piézométrie et la cote du Var   | 66 |
| Figure 49 : Carte piézométrique de septembre 2007 (source : /6/)   | 68 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 50 : Suivi piézométrique Pz34bis de 1977 à 2004 (BRGM)   | 69  |
| Figure 51 : Chronique piézométrique Pz34bis de 2008 à 2017 (ADES)   | 69  |
| Figure 52 : Prélèvements AEP à proximité du seuil 7   | 71  |
| Figure 53 : Schématisation de l'évolution du lit du Var avant et après abaissement des seuils, cas des seuils 8 et 7 (source : /13/)  | 74  |
| Figure 54 : Localisation des piézomètres et des seuils  | 75  |
| Figure 55 : Position des piézomètres sur le profil en long du Var   | 76  |
| Figure 56 : Suivi piézométrique de Pz10 Amont   | 77  |
| Figure 57 : Suivi piézométrique de Pz10 Aval  | 77  |
| Figure 58 : Suivi piézométrique de Pz33bis  | 78  |
| Figure 59 : Suivi piézométrique de Pz40   | 78  |
| Figure 60 : Suivi piézométrique de Pz9 Amont  | 79  |
| Figure 61 : Suivi piézométrique de Pz9 Aval   | 79  |
| Figure 62 : Suivi piézométrique de Pz34bis  | 80  |
| Figure 63 : Suivi piézométrique de Pz15   | 80  |
| Figure 64 : Suivi piézométrique de P57  | 81  |
| Figure 65 : Estimation quantitative de l'impact des travaux sur la piézométrie en période de basses eaux (source : /13/)  | 83  |
| Figure 66 : Estimation quantitative de l'impact des travaux sur la piézométrie moyenne (source : /13/)  | 83  |
| Figure 67 : Estimation quantitative de l'impact des travaux sur la piézométrie en période de hautes eaux (source : /13/)  | 84  |
| Figure 68 : Captages de la Manda : estimation de l'impact des travaux sur la piézométrie (source : /13/)  | 85  |
| Figure 69 : Profil type de l'arasement du seuil 9 (vue de l'aval)   | 90  |
| Figure 70 : Fonds finaux après crue de 600 m <sup>3</sup> /s, configuration finale seuil complètement arasé avec un profil plat à 58.0 m NGF (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/) | 91  |
| Figure 71 : Profil type du seuil 7 abaissé, solution en V (vue de l'aval)   | 92  |
| Figure 72 : Profil type du seuil 7 abaissé, solution profil plat (vue de l'aval)  | 93  |
| Figure 73 : Affouillement en amont immédiat de la crête du seuil, seuil abaissé (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)  | 94  |
| Figure 74 : Affouillement en amont de la microcentrale, seuil 7 actuel (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)   | 95  |
| Figure 75 : Coupe-type du recépage du seuil 7   | 96  |
| Figure 76 : Protection de la pile P3 au cours des essais de la configuration finale (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)  | 98  |
| Figure 77 : Protection en enrochements de la pile P2 (coupes)   | 99  |
| Figure 78 : Protection en enrochements de la pile P3 (coupes)   | 100 |
| Figure 79 : Affouillement autour de l'ancienne pile (phase de calage du modèle réduit, source : 16)   | 101 |
| Figure 80 : Erosion en aval de l'ancienne pile (enlevée ici après essai) jusqu'au seuil 7 (source : 16)   | 102 |
| Figure 81 : Implantation approchée de l'ancien pont de la Manda et de ses piles   | 102 |
| Figure 82 : Ligne d'eau à 2000 m <sup>3</sup> /s le long du mur de la trémie, au niveau de l'échancrure (source : essai de la configuration finale, /11/)                                 | 103 |
| Figure 83 : Proposition de modification de l'échancrure (suivant élévation du mur côté Var de la Trémie, source /27/)   | 104 |
| Figure 84 : Coupe-type de la solution enrochements (aval) pour le tronçon 3-2 (source : /3/)  | 105 |
| Figure 85 : Profil en long du projet de confortement de la rive gauche (source : /3/)   | 106 |
| Figure 86 : Restitution de l'OH9 sur le modèle réduit   | 107 |
| Figure 87 : Granulométrie Pradon  | 110 |

**Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var****RAPPORT DEFINITIF**

|   |     |
|---|-----|
| Figure 88 : Granulométrie de 2003 (source : /14/) [les PK sont identiques à la présente étude]  | 110 |
| Figure 89 : Courbe des débits classés (hautes eaux) du Var au pont Napoléon III (période 1974 - 2019, avec lacunes)   | 113 |
| Figure 90 : Comparaison de la courbe des débits classés sur quatre périodes (hautes eaux) pour le Var au pont Napoléon III  | 113 |
| Figure 91 : Représentation dans CAVALCADE d'un profil type lit en tresses   | 115 |
| Figure 92 : Représentation dans CAVALCADE d'un profil type lit avec bancs latéraux  | 115 |
| Figure 93 : Avancée des graviers et chasse des limons, par érosion latérale, en aval du seuil 8 entre 2012 (à gauche) et 2014 (à droite)  | 116 |
| Figure 94 : Loi charge - débit du seuil 7 dans sa configuration actuelle (comparaison mesures du modèle physique et loi dans le modèle hydro-sédimentaire)  | 117 |
| Figure 95 : Comparaison des mesures modèles et de l'application de la formule de Lefort 2001 pour le débit solide (modèle physique de la RN202bis à Saint-Joseph, référence /16/)                 | 119 |
| Figure 96 : Relations débit solide / débit liquide avec les paramètres du modèle physique de la Manda   | 120 |
| Figure 97 : Relations débit solide / débit liquide avec les paramètres du modèle physique de Saint-Joseph   | 120 |
| Figure 98 : Relations débit solide / débit liquide pour deux pentes et deux granulométries  | 121 |
| Figure 99 : Relations débit solide / débit liquide pour deux pentes et deux granulométries (débits liquides inférieurs à 500 m <sup>3</sup> /s)   | 122 |
| Figure 100 : Débits journaliers du Var (station du pont Napoléon III) sur la période 2011 - 2013 considérée   | 124 |
| Figure 101 : Modélisation de la période 2011 - 2013 - profil en long  | 125 |
| Figure 102 : Modélisation de la période 2011 - 2013 - profil en long (zoom seuil 8 – seuil 6)   | 126 |
| Figure 103 : Débits journaliers du Var (station du pont Napoléon III) sur la période 2013 - 2017 considérée   | 127 |
| Figure 104 : Modélisation de la période 2013 - 2017 - profil en long  | 128 |
| Figure 105 : Modélisation de la période 2013 - 2017 - profil en long (zoom seuil 8 – seuil 6)   | 129 |
| Figure 106 : Profil en long de la ligne d'eau à 3000 m <sup>3</sup> /s  | 130 |
| Figure 107 : Volumes liquides cumulées sur le Var à la Mescla et au pont Napoléon III   | 132 |
| Figure 108 : Volume solides cumulées (par calcul et par évaluation des dépôts) et chronologie de l'avancée des graviers, depuis 1992  | 133 |
| Figure 109 : Volume solides cumulées (par calcul et par évaluation des dépôts) et chronologie de l'avancée des graviers, depuis 2001  | 134 |
| Figure 110 : Débits journaliers du Var (station du pont Napoléon III aval) sur la période 2017 - 2018 considérée  | 135 |
| Figure 111 : Modélisation de la période 2017-2018 - profil en long (zoom seuil 8 – seuil 6)   | 136 |
| Figure 112 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m <sup>3</sup> /s (Q <sub>réf</sub> PPRi) avec états du fond 2011 et 2018 calculé  | 137 |
| Figure 113 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2018 à 2023, seuil 8 abaissé  | 138 |
| Figure 114 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m <sup>3</sup> /s (Q <sub>réf</sub> PPRi) avec états du fond 2011 et 2023 calculé  | 139 |
| Figure 115 : Loi charge - débit du seuil 7 dans sa configuration actuelle et configuration seuil abaissé et microcentrale et sa voie d'accès conservées   | 140 |
| Figure 116 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2019 à 2023, seuil 8 abaissé, seuil 7 abaissé mais avec microcentrale et sa voie d'accès conservés                    | 141 |
| Figure 117 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m <sup>3</sup> /s (Q <sub>réf</sub> PPRi) avec états du fond 2011 et 2023 calculé, seuil 7 abaissé   | 142 |
| Figure 118 : Loi charge - débit du seuil 7 dans sa configuration entièrement abaissé, et comparaison avec les configurations précédentes  | 143 |
| Figure 119 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2019 à 2023, seuil 8 abaissé, seuil 7 abaissé y compris microcentrale et sa voie d'accès                              | 144 |
| Figure 120 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m <sup>3</sup> /s (Q <sub>réf</sub> PPRi) avec états du fond 2011 et 2020 calculé, seuil 7 abaissé entièrement ou partiellement                    | 145 |
| Figure 121 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2019 à 2023, seuil 8 abaissé, seuil 7 abaissé y compris microcentrale et sa voie d'accès, et profils en long projetés | 146 |

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

|   |     |
|---|-----|
| Figure 121 : Phasage de réalisation : phase 1 | 153 |
| Figure 122 : Phasage de réalisation : phase 2 | 153 |

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Afin de poursuivre la démarche engagée sur le fleuve Var, et dans la continuité des études et travaux déjà réalisés, le SMIAGE MARALPIN, actuel gestionnaire du domaine public fluvial, souhaite réaliser une étude de faisabilité de l'abaissement du seuil n°7 de la basse vallée du Var.

Cette mission, confiée à Artelia, est composée de deux phases :

- Phase 1 : Analyse de la faisabilité du projet ;
- Phase 2 : Elaboration des dossiers réglementaires.

Le présent document constitue le rapport provisoire de la phase 1 de l'étude.

## 1.2 SITUATION

La figure suivante localise le seuil n°7 parmi l'ensemble des seuils de la basse vallée du Var. Il est situé au PK 10.45 du fleuve, à 13 km de l'embouchure.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

## Légende

- Seuils actuels
- Seuils abaissés
- ✕ Anciens seuils (détruits)
- + Points kilométriques

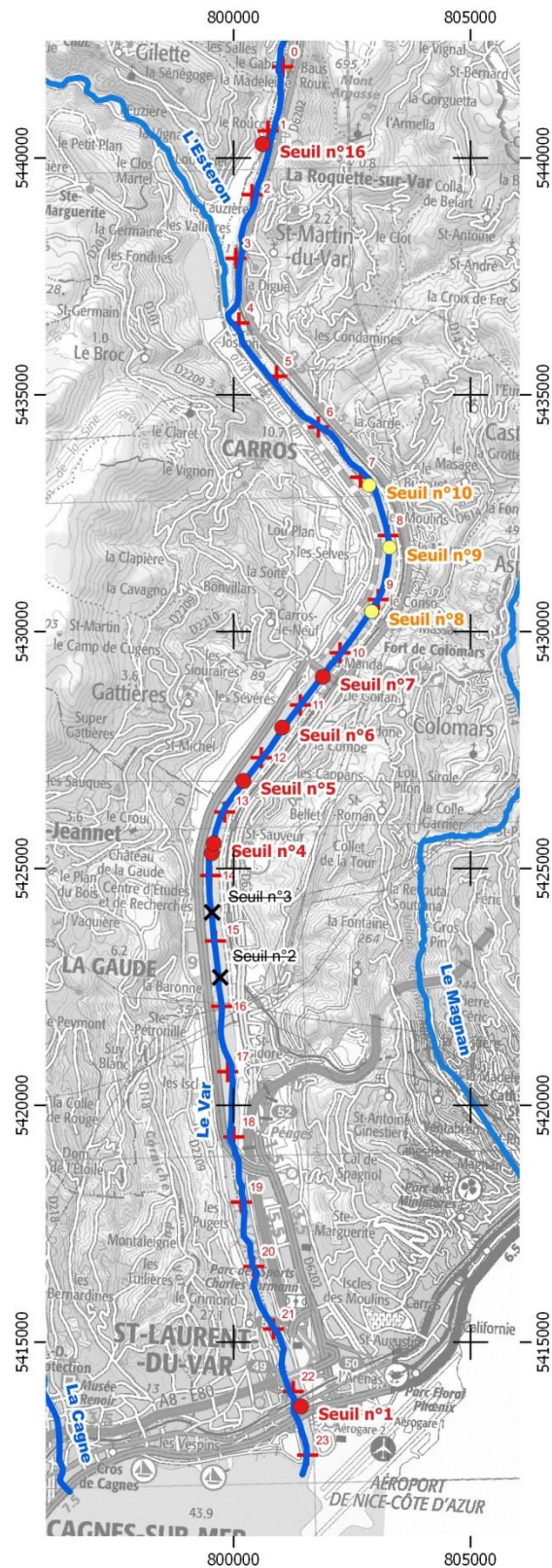
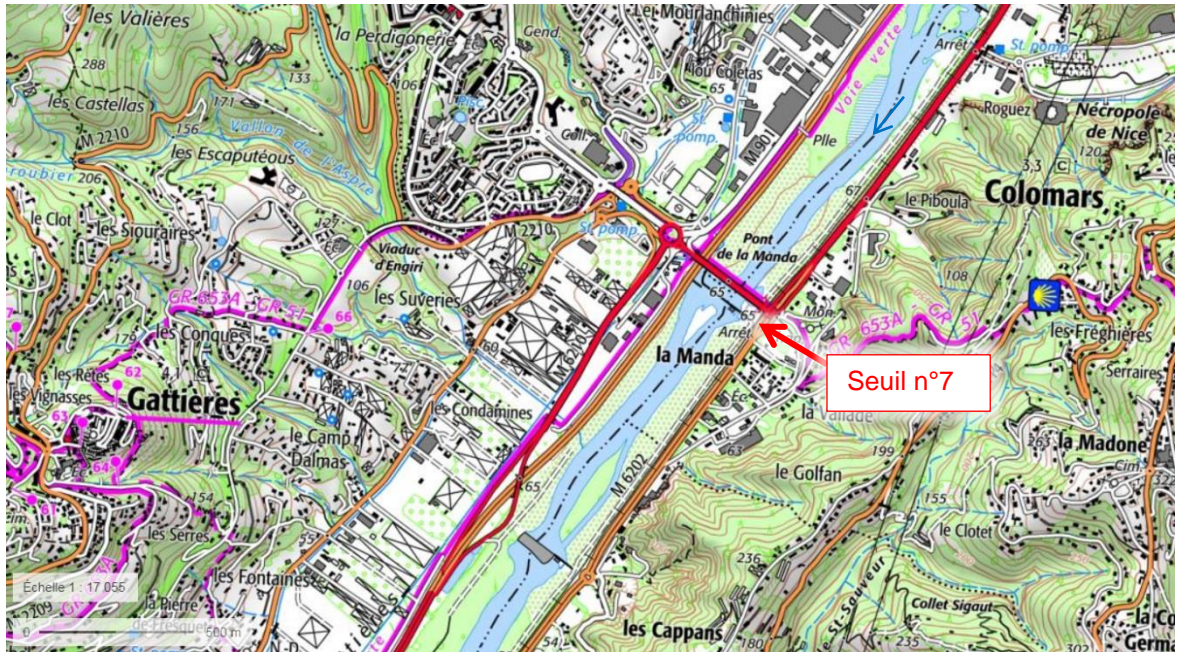


Figure 1 : Situation générale du seuil n°7 dans la basse vallée du Var

Le seuil n°7 est plus précisément localisé sur les communes de Colomars (rive gauche) et Gattières (rive droite), en aval immédiat du pont de la Manda (M 2210). La commune de Carros se situe en amont immédiat du seuil, en rive droite.



**Figure 2 : Situation du seuil n°7 (source : Géoportail)**

La figure suivante présente, à titre de repérage pour la suite du rapport, l'environnement immédiat du seuil 7.



Figure 3 : Environnement immédiat du seuil 7

### 1.3 SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DU LIT DU VAR

Dans la basse vallée du Var, l'endiguement du lit dès le XVIII<sup>ème</sup> siècle puis les extractions massives au cours du XX<sup>ème</sup> ont profondément modifié le fonctionnement hydromorphologique du fleuve et engendré des dysfonctionnements majeurs. Afin de stopper une incision du lit comprise entre 2 et 5 m et remonter le niveau de la nappe, 11 seuils ont été réalisés dans les années 1970 et 1980. Dans les années 1980, 10 centrales hydroélectriques ont été installées à hauteur de chaque seuil qui présente chacun une hauteur de chute d'environ 5 m.

Suite à ces aménagements, la morphologie du lit du Var a été bouleversée. D'une rivière en tresses évoluant dans toute la largeur de sa vallée alluviale, le Var présentait dans les années 1990, sur plus de 10 km, un faciès de chenal unique entre chaque seuil, avec des berges limoneuses, **identique à une rivière de plaine**. Son profil en long était en forme d'escaliers, se caractérisant par une succession de biefs à chenal lentique et de chutes.

La crue majeure de 1994 a mis en lumière l'absence de résilience de cette configuration, par la rupture en cascade des deux seuils les plus en aval (seuils 2 et 3), rupture ayant menacé le troisième (seuil 4) et nécessité la réalisation d'un contre-seuil pour le protéger.

La figure suivante présente la chronologie, jusqu'en 2005, de l'aménagement des seuils dans la basse vallée.

**Août/sept. 1967** : construction de quatre barrages provisoires (Detragiache, Sonidraco, Spada et Lingostière)

**Nov. 1967** : rupture des barrages provisoires suite aux crues

**Avant 1971** : seuil 1 opérationnel, les seuils 2, 3 et 7 sont en cours de réalisation

**05/02/1971** : fermeture du seuil 2 (détruit durant la crue du 05/11/1994)

**30/07/1971** : fermeture du seuil 3 (détruit durant la crue du 05/11/1994)

**17/10/1971** : fermetures provisoires des seuils 4 et 5

**25/11/1971** : ouverture de la fouille du seuil 4

**21/09/1972** : ouverture de la fouille du seuil 6

**21/12/1972** : fermeture du seuil 7

**27/07/1973** : fermeture du seuil 4 (déstabilisé suite à la crue du 05/11/1994)

**25/06/1974** : fermeture du seuil 6

**15/09/1975** : fermeture du seuil 5

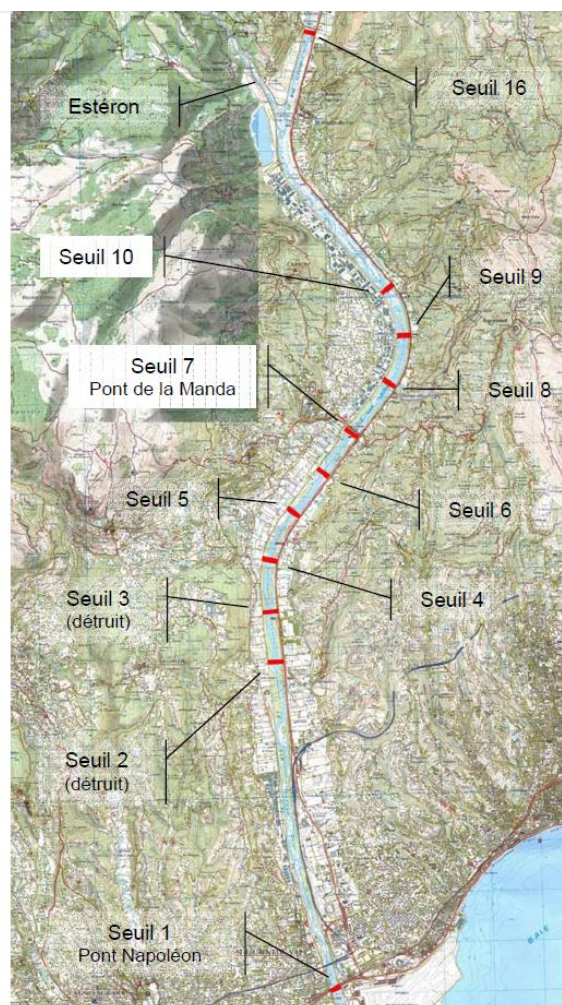
**14/03/1979** : fermeture du seuil 10

**25/03/1980** : fermeture du seuil 9

**Fin 1980** : les seuils 1 à 10 sont en service

**1988** : réalisation du seuil 16

**1989** : fermeture et mise en service du seuil 16



**Figure 4 : Chronologie de l'aménagement des seuils de la basse vallée du Var (source : /13/)**

Une réflexion globale a été engagée après cette crue, à l'échelle de la basse vallée du Var, et s'est concrétisée par une démarche de SAGE. Actant l'arrêt des extractions, le SAGE « Nappe et basse vallée du Var » (approuvé en 2007 puis révisé en 2010 et 2015) favorise ainsi le retour au faciès en tresses du fleuve. Dans le cadre de cette réflexion préalable au SAGE, une étude du fonctionnement physique a été élaborée intégrant un modèle hydrosédimentaire (référence /14/). Elle a permis de mettre en évidence la nécessité d'abaisser successivement les seuils en tenant compte de l'avancement des matériaux de l'amont vers l'aval, pour prendre en compte les enjeux liés au risque inondation. Sur la base des modélisations réalisées, une planification prévisionnelle de l'abaissement successif des seuils a été proposée.

L'arrêt des extractions et la capacité de transport solide du Var permettent aujourd'hui un retour progressif des matériaux dans la basse vallée. Bien que contenu dans l'espace interdigé, le faciès en tresses du Var revient progressivement depuis l'amont.

Aujourd'hui, les deux seuils situés à l'amont ont d'ores et déjà fait l'objet d'une opération d'arasement (seuils 9 et 10). Le seuil 8 vient d'être abaissé (à l'automne 2018). L'abaissement du seuil 7 est l'objet du présent document.

## 1.4 DONNEES DISPONIBLES

Les données utilisées dans le cadre de la présente étude pour l'étude des seuils du Var sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1 : Données disponibles**

| Réf.                      | Intitulé  | Auteurs   | Maître d'ouvrage | Date           |
|---------------------------|---|---|------------------|----------------|
| <b>Etudes antérieures</b> |   |   |                  |                |
| /1/                       | Suivi des nappes souterraines de la basse vallée du fleuve Var, de septembre 2015 à décembre 2016   | SMIAGE MARALPIN   | SMIAGE MARALPIN  | Avril 2017     |
| /2/                       | SAGE Nappe et basse vallée du Var – Plan d'Aménagement et de Gestion Durable  | CLE du SAGE   | CD06             | 2015           |
| /3/                       | Diagnostic des digues et des berges de la rive gauche du Var entre Baou Roux et le seuil n°4 et définition d'une stratégie de protection – Action 5.4 du PAPI – Avant-projet des T1 à T4 – indice C | EGIS EAU  | CG06             | Février 2014   |
| /4/                       | PPRi de la Basse Vallée du Var – rapport de présentation  | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | DDE 06           | Avril 2011     |
| /5/                       | Etude hydrogéologique des nappes profondes de la basse vallée du Var  | H2EA  | CG06             | Septembre 2010 |
| /6/                       | Étude de la vulnérabilité de la nappe alluviale du Var aux aléas climatiques secs   | HYDRATEC  | CG06             | Septembre 2009 |
| /7/                       | Abaissement des seuils 8, 9, 10 du Var - AVP  | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | CG06             | Novembre 2008  |
| /8/                       | Notice d'incidence pour les travaux de réhabilitation du seuil n°7 sur le Fleuve Var  | CG06  | CG06             | 2007 ?         |
| /9/                       | RN202bis – Trémie de la Manda – modélisation hydraulique – Avant-projet sommaire  | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | DDE 06           | Décembre 2005  |
| /10/                      | RN202bis – Trémie de la Manda – modélisation hydraulique – Essais sur fonds mobiles – essais supplémentaires  | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | DDE 06           | Décembre 2005  |
| /11/                      | RN202bis – Trémie de la Manda – modélisation hydraulique – Essais sur fonds mobiles   | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | DDE 06           | Septembre 2005 |
| /12/                      | RN202bis – Trémie de la Manda – modélisation hydraulique – étude préalable des ouvrages   | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | DDE 06           | Avril 2005     |
| /13/                      | Etude des incidences de l'abaissement des seuils sur la nappe du Var entre le seuil 7 et le Bec de l'Estéron  | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | SMEBVV           | Novembre 2005  |
| /14/                      | Etude du fonctionnement physique du fleuve Var – Rapport n°0815561  | ARTELIA (Ex SOGREAH) – Hunziker, Zarn & Partner – Dr Jaeggi | SMEBVV           | Juin 2003      |
| /15/                      | Note – hypothèses de calage des lignes d'eau du Var   | Philippe LEFORT   | DDE 06           | Janvier 2002   |
| /16/                      | RN202bis – Modélisation des ouvrages de franchissement du Var – rapport intermédiaire Saint-Joseph – essais de réglage  | ARTELIA (Ex SOGREAH)  | DDE 06           | Juillet 2001   |

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

|  |   |   |                       |                             |
|--|---|---|-----------------------|-----------------------------|
| /17/   | Fleuve Var – étude globale du bassin versant – définition d'orientation en vue d'une gestion équilibrée – volet hydrologie – rapport 550410 – tome 2.02   | ARTELIA (Ex SOGREAH)<br>– Atelier CLARAC – GAY<br>environnement                                 | DDE 06                | Janvier 1999                |
| /18/   | Fleuve Var – étude globale du bassin versant – définition d'orientation en vue d'une gestion équilibrée – volet transport solide et évolution morphologique – rapport 550410 – tome 2.03  | ARTELIA (Ex SOGREAH)<br>– Atelier CLARAC – GAY<br>environnement                                 | DDE 06                | Janvier 1999                |
| /19/   | Hydrogéologie des aquifères plio-quaternaires de la basse vallée du Var (Alpes-Maritimes, France) : contrôle néotectonique des écoulements souterrains : l'outil, chimique et isotopique, pour l'étude du fonctionnement et de la vulnérabilité des aquifères | Y. GUGLIELMI  |                       | 1993                        |
| /20/   | Construction de seuils en Durance – rapport de synthèse   | SOGREAH   | DDE 84                | 1980                        |
| /21/   | La Basse Vallée du Var : travaux d'endiguement et de colmatage (Centre de documentation des archives des Alpes-Maritimes, recherches régionales (Côte d'Azur et contrées limitrophes), n°1, p 8-25  | H. CECCARELLI   |                       | 1962                        |
| <b>Données cartographiques et topographiques</b> |   |   |                       |                             |
| /22/   | Plans photogrammétriques par drone entre l'amont du seuil 10 et le seuil 7  | CD06  | CD06                  | Juin 2017                   |
| /23/   | Mesures des niveaux d'eau amont et aval aux seuils 1 – 4 – 5 – 6 – 7 – 16   | CD06  | CD06                  | De juin 2016 à janvier 2017 |
| /24/   | Plans topographiques (levés partiels) sur les seuils 1 – 4 – 5 – 6 – 7 – 16.<br>Référence : 215.01.028  | SEGC topo   | CD06                  | Août 2016                   |
| /25/   | MNT issu d'un Lidar aéroporté   |   | IGN                   | Juin 2013                   |
| /26/   | MNT issu d'un Lidar aéroporté   |   | CD06                  | Septembre 2011              |
| /27/   | 6202 bis – Trémie de la Manda et modification du seuil 7 – Plan d'ensemble général – Vue en plan – Elévations – Coupes (émission conforme à l'exécution)  | Groupement d'entreprises<br>RAZEL (mandataire) –<br>EIFFAGE TP – APPIA –<br>SPADA – STCM - TECS | CG06                  | Octobre 2008                |
| /28/   | Aménagement de 9 seuils sur le Var - Profil en travers type des seuils  |   |                       | Juin 1982                   |
| /29/   | Aménagement de 9 seuils sur le Var - Profil en long schématique de la rivière   |   |                       | Juin 1982                   |
| /30/   | RN210 – reconstruction du pont de la Manda – Avant-projet du nouvel ouvrage – Plans et note de calculs  |   | Ponts et<br>Chaussées | Novembre 1964               |
| /31/   | Photos aériennes IGN  | IGN   | IGN                   | Différentes dates           |
| /32/   | Profil en long des Grandes Forces Hydrauliques  | IGN   | IGN                   | Novembre 1912               |

---

## 2 RAPPEL DE L'HISTORIQUE DE LA BASSE VALLEE DU VAR ET DU SECTEUR DU SEUIL 7

### 2.1 CONTEXTE GENERAL

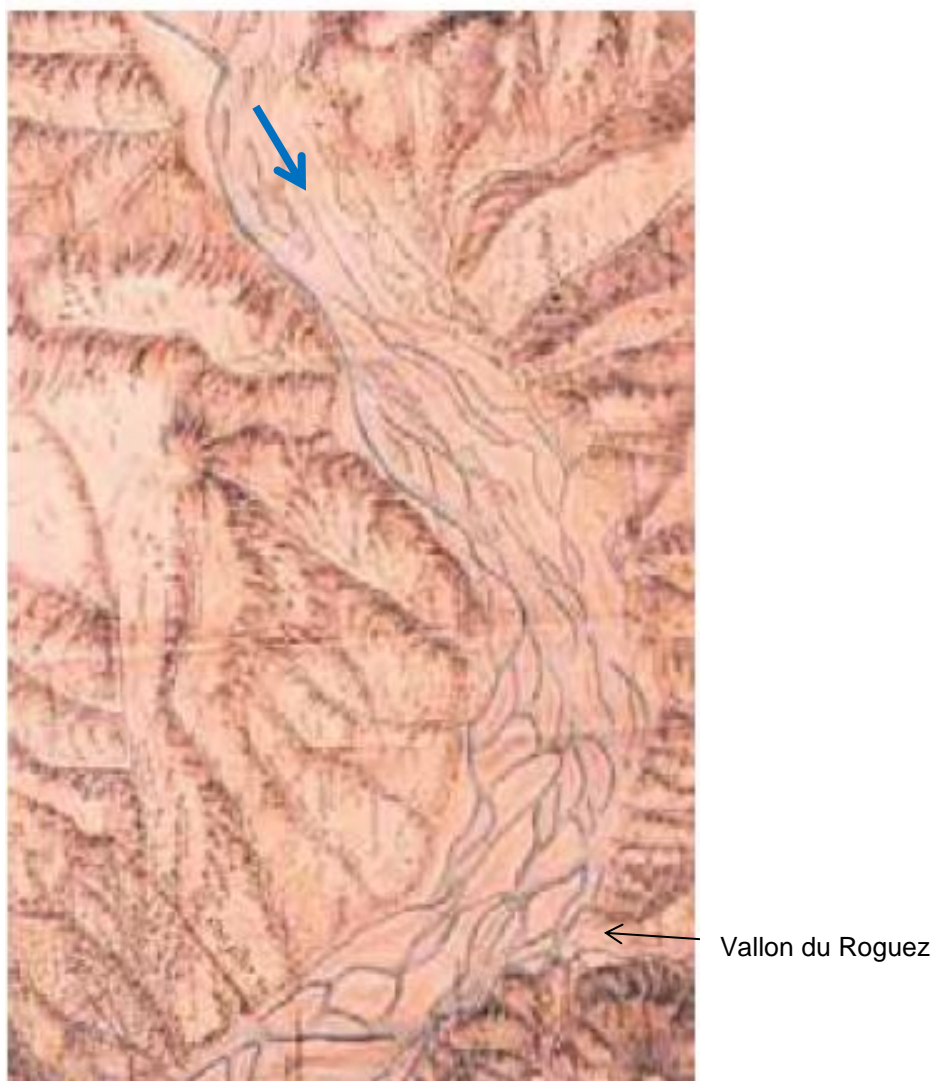
Avec une longueur de 110 km et un bassin versant de 2 822 km<sup>2</sup>, le fleuve Var est le plus important des fleuves côtiers de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il prend naissance à 2 600 m d'altitude, dans les massifs subalpins du parc national du Mercantour. De nature torrentielle à sa source, c'est après un long cheminement au travers de gorges et vallées encaissées que le fleuve s'ouvre sur 20 km de plaine terminale avant de se jeter dans la mer Méditerranée entre Nice et Saint-Laurent du Var.

Seul espace plat favorable au développement économique dans la région, cette basse vallée est occupée par l'agriculture, l'industrie, les axes de transport et l'urbanisation. Ainsi, dès le début du XVIII<sup>ème</sup> siècle, le Var a fait l'objet de nombreux aménagements pour permettre le développement de la région. Les endiguements et les extractions massives ont transformé la morphologie du fleuve dans sa basse vallée et dégradé son état. Aujourd'hui, les acteurs locaux se mobilisent pour restaurer le bon fonctionnement du Var au travers du SAGE "Nappe et Basse Vallée du Var" et par la réalisation de nombreuses études et travaux réalisés ou projetés.

### 2.2 HISTORIQUE DU SECTEUR DU SEUIL 7

(source : rapport de présentation du PPRi, repris du SAGE de la basse vallée du Var).

Avant d'être endigué, le lit en tresses du Var s'étendait sur la majeure partie de sa plaine, quasiment de versant à versant. La carte de 1759 illustre cette configuration naturelle (le vallon du Roguez permet de se situer, il conflue avec le Var juste en aval du seuil 8 aujourd'hui).



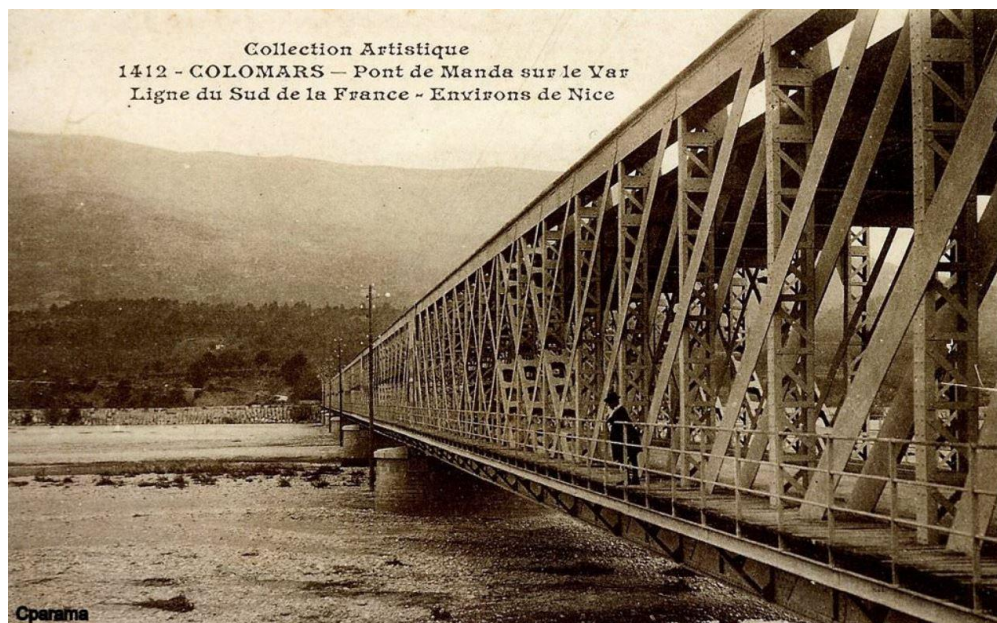
**Figure 5 : la vallée du Var vers Carros en 1759 (source : archives départementales)**

C'est en 1844 que fut envisagé un vaste programme de protection de la rive gauche du fleuve, portant sur un linéaire de 22,8 km. L'Etat sarde réalisa les premiers travaux de 1844 à 1851 (digue des Sardes), puis, après le rattachement du comté de Nice à la France, c'est l'Etat français qui prolongea cet ouvrage jusqu'à l'amont de la confluence avec l'Estéron (entre 1861 et 1865).

Les endiguements de la rive droite n'ont pas fait l'objet d'un projet d'ensemble et ont été réalisés par différents maîtres d'ouvrages sous l'influence de besoins locaux, soit pour permettre l'extension de terres cultivables, soit pour protéger certains ouvrages aux points sensibles des rives.

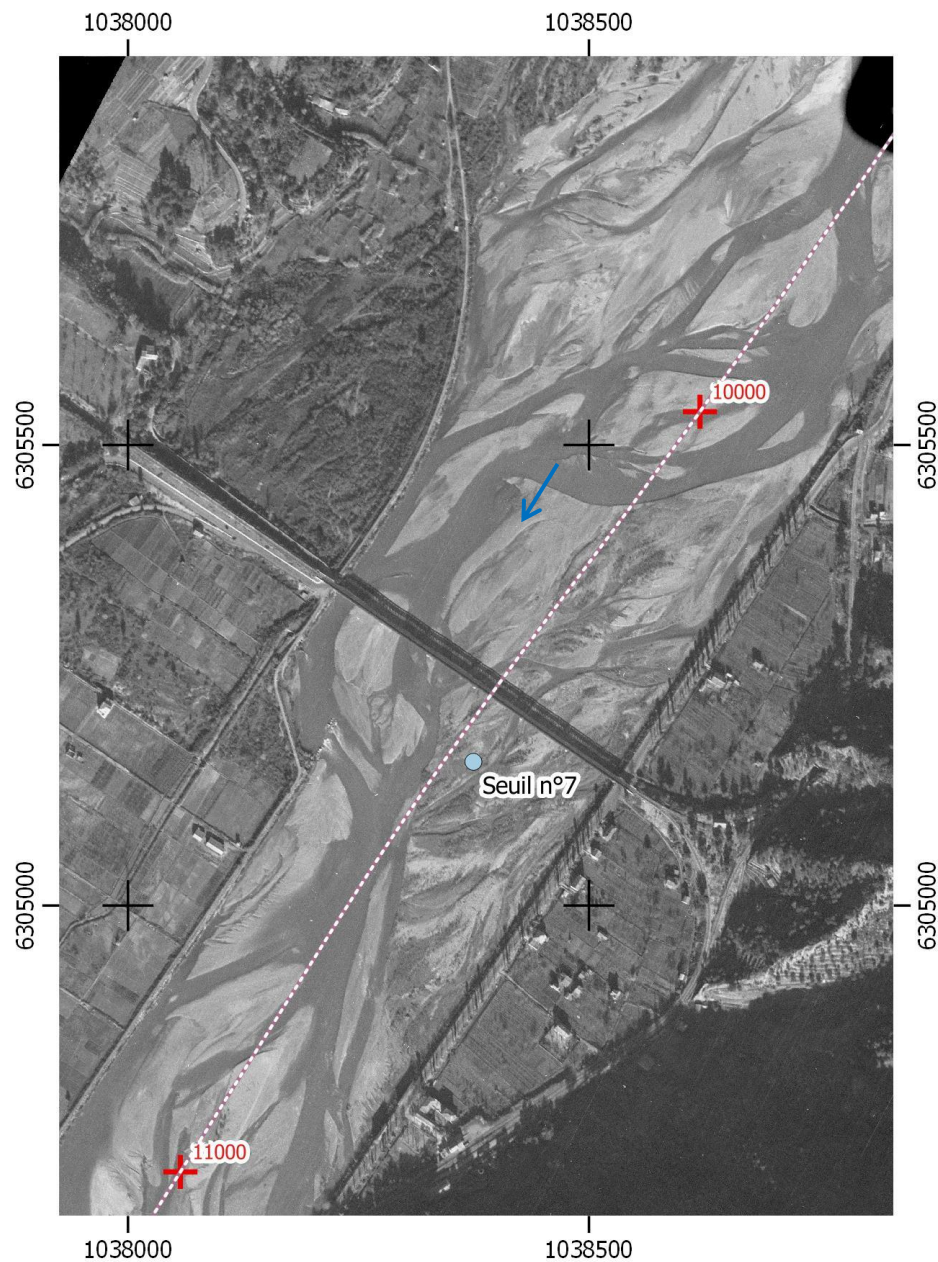
Les premiers tronçons construits datent de 1867 à 1894 (digues de la Toesca, de la Baronne et de la Tour), puis en 1911 (endiguement de Gattières) et les travaux se sont véritablement terminés en 1974 avec l'édification de la digue départementale de Carros-le-Broc.

En parallèle, en 1892, est mise en service le tronçon Grasse – Nice de la ligne ferroviaire reliant Nice à Meyrargues, avec un pont à deux étages de la Manda (un pour les véhicules routiers en partie inférieure, un pour le chemin de fer en partie supérieure).



**Figure 6 : Ancien pont routier/ferroviaire de la Manda (source site internet CPARAMA)**

En 1943, année de la première couverture aérienne complète, la rive gauche est donc totalement endiguée (de la confluence avec la Vésubie à la mer), alors que l'endiguement de la rive droite n'est que partiel, et commence au niveau du pont de la Manda.



**Figure 7 : Secteur du pont de la Manda en 1943 (source : IGN)**

Le pont de la Manda sera partiellement détruit par l'armée allemande pendant la deuxième guerre mondiale (a priori en 1944). Le pont sera réparé pour assurer seulement le passage routier.

La photo aérienne de 1964 montre à la fois la dernière travée rive gauche réparée, et les travaux récents sur la même rive créant un tracé direct de la ligne ferroviaire Nice Digne, et le renforcement de l'endiguement (sucre béton).



**Figure 8 : Rive gauche du pont de la Manda en 1964 (source : IGN)**

Le pont actuel de la Manda est construit en 1966, en aval immédiat de l'ancien pont. L'endiguement de la rive gauche est réalisé dans la même période, et cela coïncide également avec le début des extractions massives.

La photo aérienne de 1969, nouveau pont réalisé, montre les piles de l'ancien restées dans le lit.



**Figure 9 : Nouveau pont de la Manda en 1969 (source : IGN)**

En 1970, la piste des carriers est réalisée en pied de la rive gauche.

Le seuil 7 est construit en 1972. Et sa microcentrale en 1985.

Le seuil 7 est réparé et renforcé en 2008, dans le même temps que la réalisation de la trémie de la Manda (cf. § 3.3).

## 3 CARACTERISTIQUES ACTUELLES DES OUVRAGES

### 3.1 PONT DE LA MANDA

(source : /30/)

Comme nous l'avons vu précédemment, cet ouvrage a été réalisé en 1966. Il s'agit d'un ouvrage métallique d'une portée de 283.5 m en quatre travées (trois piles).

La figure page suivante montre l'élévation aval de l'ouvrage.

*Nota important : la numérotation des culées et piles (C0 – P1 – P2 – P3 – C4) est faite de la rive droite à la rive gauche, conformément aux plans d'origine. Le modèle réduit physique pour l'aménagement de la trémie de la Manda (références /11/ et /10/) utilisait une numérotation inverse.*

Le pont de La Manda est fondé :

- Pour chaque culée sur deux caissons havés. Ces caissons ont été descendus jusqu'à la cote 49,70 m, alors que l'arase haute des fondations était calée à 60,20 m.
- Pour les piles sur des appuis cylindriques havés descendus à la cote 49,70 m et arasés à la cote 60,20 m.

Les parties exondées des piles et des culées ont été réalisées en maçonnerie de moellons d'épaisseur  $e = 0,2$  m.

La Figure 11 présente un extrait du plan des piles.

Pour chacun des appuis, un chevêtre d'épaisseur 1,50 m assure la tenue des deux piles, alors que pour les culées les deux caissons havés sont reliés par une poutre BA sur laquelle s'appuie la structure maçonnée, elle-même ballastée.

La pile P2 est plus massive que les autres piles, les deux fûts ayant un diamètre de 4.3 m alors que les piles P1 et P3, identiques, ont des fûts de 3.3 m de diamètre.

La lecture de la note de calculs du pont, disponible, indique un élément intéressant : il a été pris, dans les calculs de stabilité de la pile P2, un affouillement potentiel des fonds de 5 m, en référence à la cote à l'étiage d'alors (60.7 m NGF indiqué sur les plans), soit un affouillement jusqu'à la cote 55.7 m NGF.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

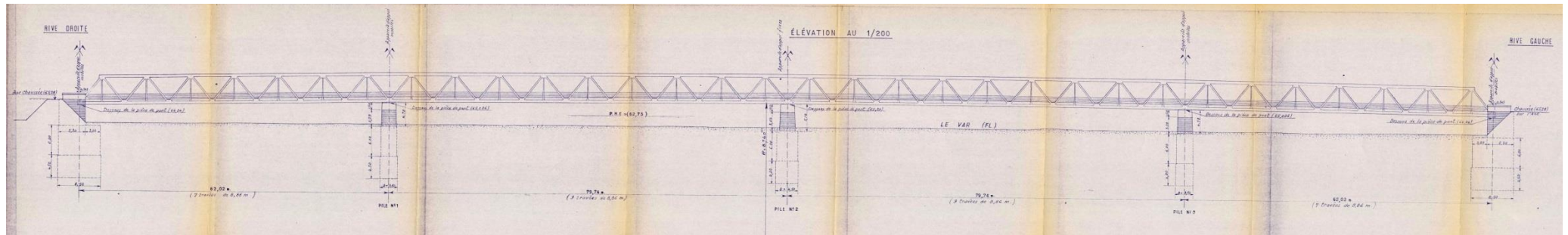


Figure 10 : Elévation aval du pont de la Manda (source : /30/)

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

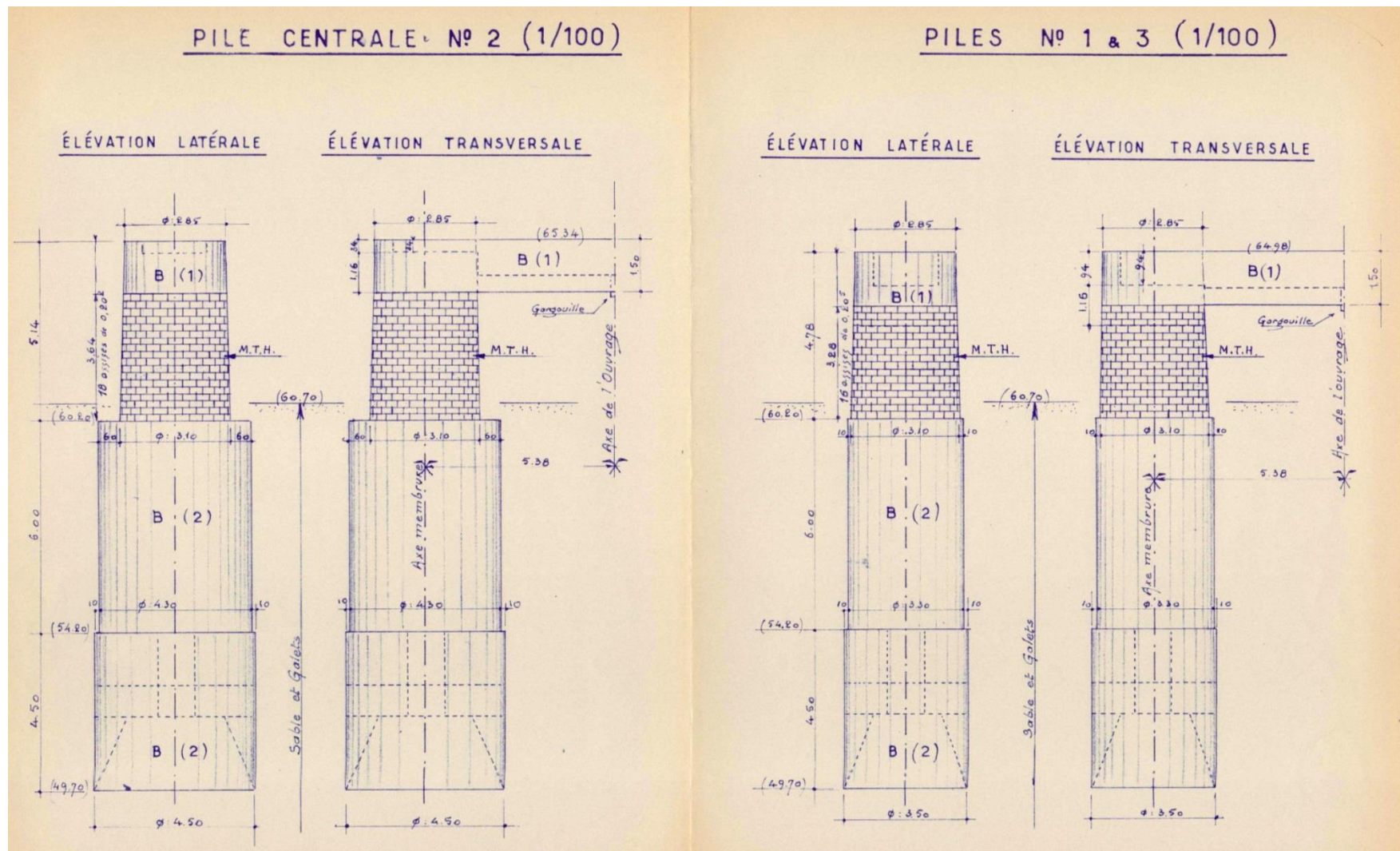


Figure 11 : Plans des piles du pont de la Manda (source : /30/)

## 3.2 REALISATION DU SEUIL 7

### 3.2.1 Réalisation initiale (1972)

Deux plans (sans que l'on sache s'il s'agit de plans d'avant-projet, de projet ou d'exécution) permettent de cerner les caractéristiques du seuil réalisé en 1972 : il s'agit d'une part de la coupe longitudinale (dans le sens du fleuve) type de réalisation des seuils 2 à 10, et d'autre part de la coupe particulière du seuil 7. Ces deux plans sont présentés sur les figures suivantes.

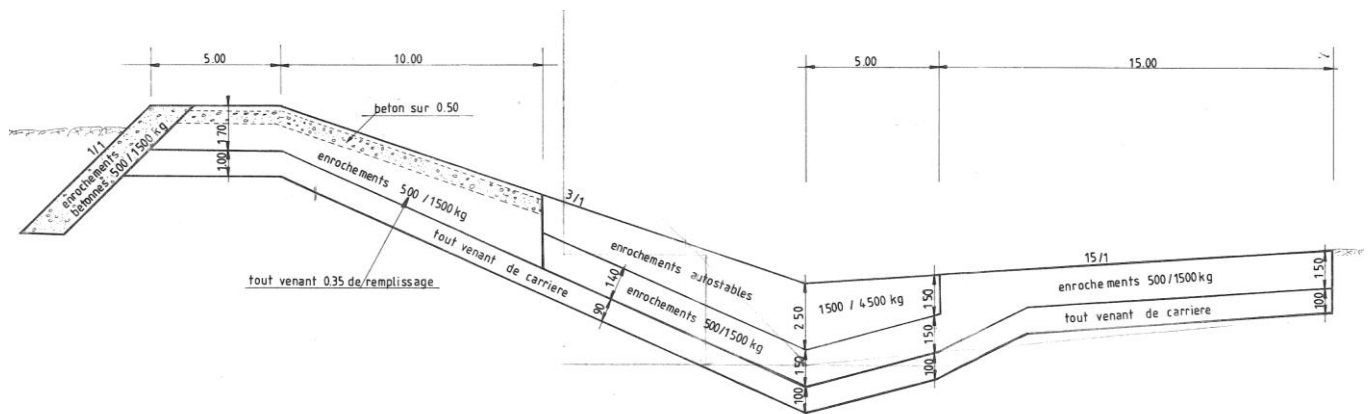


Figure 12 : Coupe-type longitudinale des seuils 2 à 10 (source : DDTM, 1982)

Cette coupe, datée de 1982, serait donc représentative de l'exécution (les seuils 2 à 10 étant achevés à cette date).

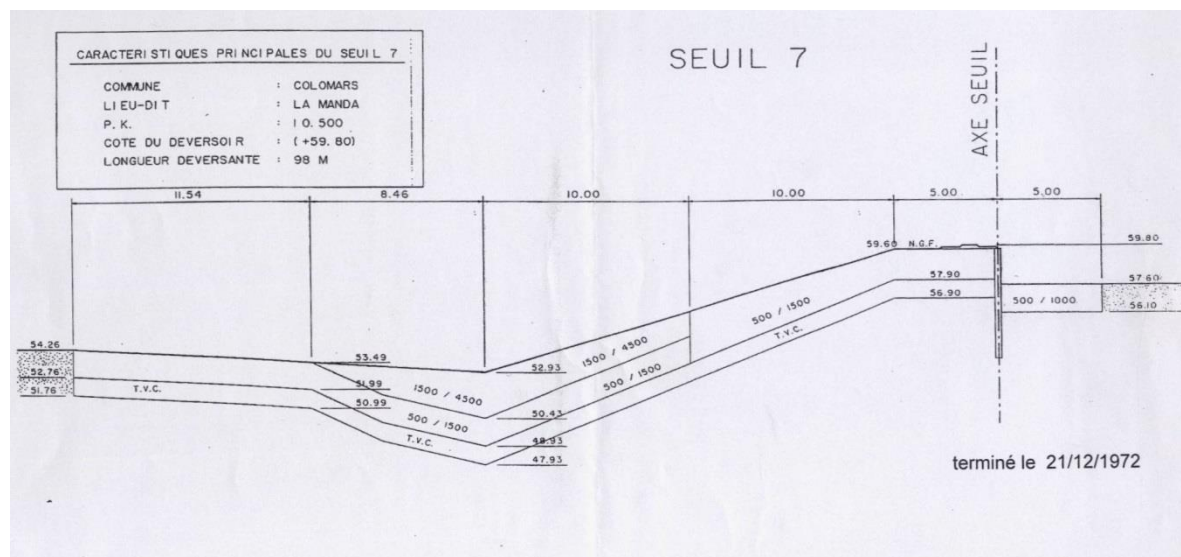


Figure 13 : Coupe longitudinale du seuil 7 (source DDTM, date ?)

Le seuil 7 présente donc la particularité de disposer d'un rideau de palplanches à son amont. Sa hauteur n'est pas précisée sur ce plan, elle est mentionnée dans d'autres sources (référence /12/) à 6 m. Il reste donc une incertitude sur cette donnée.

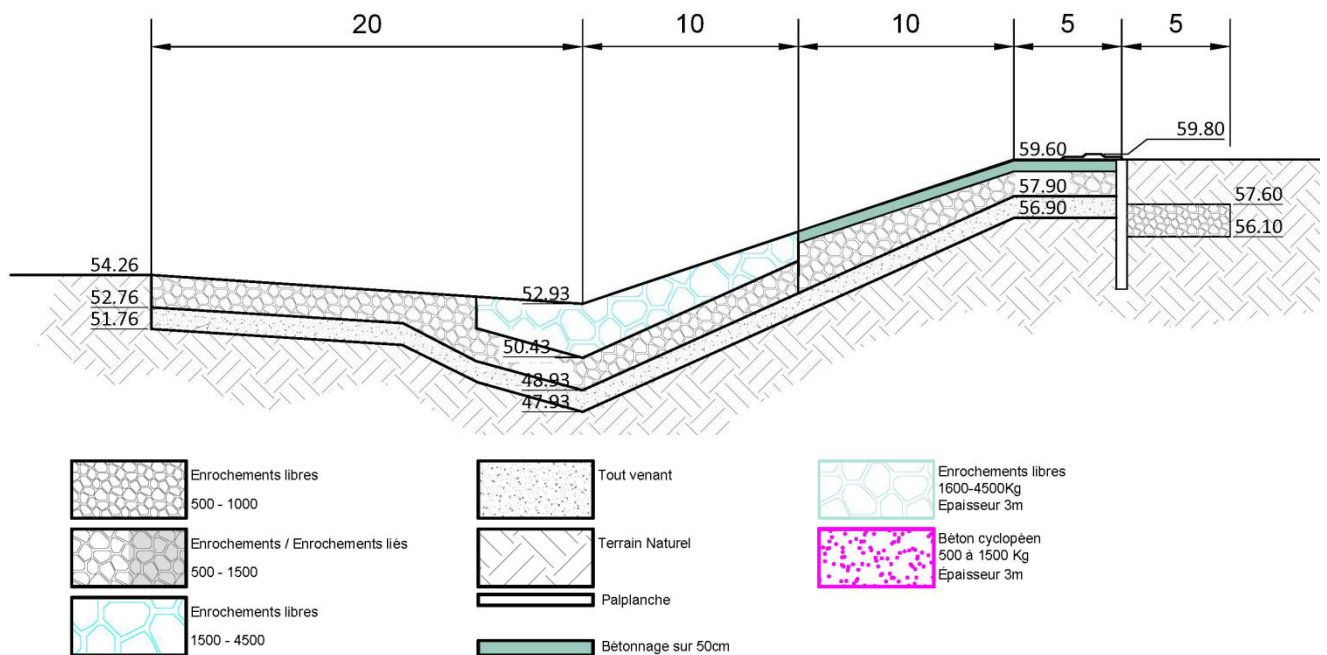
**Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var**

RAPPORT DEFINITIF

La notice d'incidence pour les travaux de réhabilitation du seuil n°7 sur le fleuve Var (référence /8/) mentionne que, lors des travaux de la trémie de la Manda, il a été constaté que les palplanches ne disposaient pas de poutre de couronnement et qu'elles étaient fichés à des « faibles profondeurs ».

Ces travaux de découverte ont également confirmé la faible épaisseur d'enrochements bétonnés au niveau du coursier.

Les informations de ces deux plans conduisent à élaborer la coupe suivante, représentative a priori de la structure du seuil à sa réalisation.



**Figure 14 : Coupe du seuil 7 à sa construction d'après archives**

La cote de 59.80 m NGF, assurée par une longrine béton, était a priori présente sur une large partie centrale du lit. Il est probable que cette crête remontait à l'approche de chaque rive.



**Figure 15 : Vue de la crête actuelle de l'ouvrage depuis la microcentrale (février 2016)**

La largeur entre pieds de digues de chaque rive était, à l'époque de la construction du seuil, d'environ 270 m (la digue rive droite présentant une implantation concave au droit du pont de la Manda).

### **3.2.2 Ajout d'une microcentrale (1985)**

Cette microcentrale se situe côté rive gauche, mais à seulement une cinquantaine de mètres de l'axe du seuil (au moment de sa réalisation, c'est-à-dire avant les travaux de la trémie de la Manda en rive droite), donc en position très avancée dans le lit.

La superstructure de la microcentrale a une emprise d'environ 15 m. Entre celle-ci et la rive gauche, une voie d'accès a été réalisée. Elle a une largeur de 5 m et est à la cote de 61.25 m NGF en moyenne.

Une passe à poissons à bassins successifs a été réalisée sur la gauche de la microcentrale, dans la structure du seuil.



**Figure 16 : Microcentrale du seuil 7 et sa voie d'accès vue de l'amont (février 2016)**

### **3.2.3 Réparation (2008)**

Chronologiquement, cette réparation a eu lieu après les travaux de la trémie de la Manda. Nous l'abordons ici, en continuité des autres travaux liés directement à la structure du seuil, avant de traiter des travaux de la trémie.

D'après la notice d'incidence pour les travaux de réhabilitation du seuil n°7 sur le fleuve Var (référence /8/), depuis sa réalisation, suite aux différentes crues et en particulier lors de celle de 1994, le seuil 7 s'est fortement dégradé. Des désordres importants ont été constatés sur le bas du coursier et sur le radier (disparition de celui-ci sur la partie centrale voisine de la microcentrale).

Entre 1994 et 2006, la situation n'a cessé de se dégrader, et pouvait conduire potentiellement à la ruine du seuil 7, et donc porter atteinte aux appuis du pont de la Manda.



**Figure 17 : Etat du seuil en 2005**

La réparation réalisée en 2008 consiste à refaire la partie basse du coursier et le radier en béton cyclopéen sur une épaisseur de 3 m, et à prolonger ce radier béton par 10 m d'enrochements libres de calibre 1,5 à 4,5 t, également sur 3 m d'épaisseur.

Ces éléments apparaissent dans les plans projets, et sont indiqués dans les plans conformes à l'exécution (référence /27/). La blocométrie du béton cyclopéen est indiquée 500 à 1500 kg en partie basse et 1500 à 4500 kg en partie supérieure, sans qu'il soit précisé si cette distinction se situe au sein de la carapace, ou sur le profil du coursier et du radier. La figure suivante synthétise la coupe-type des travaux, selon ces données.

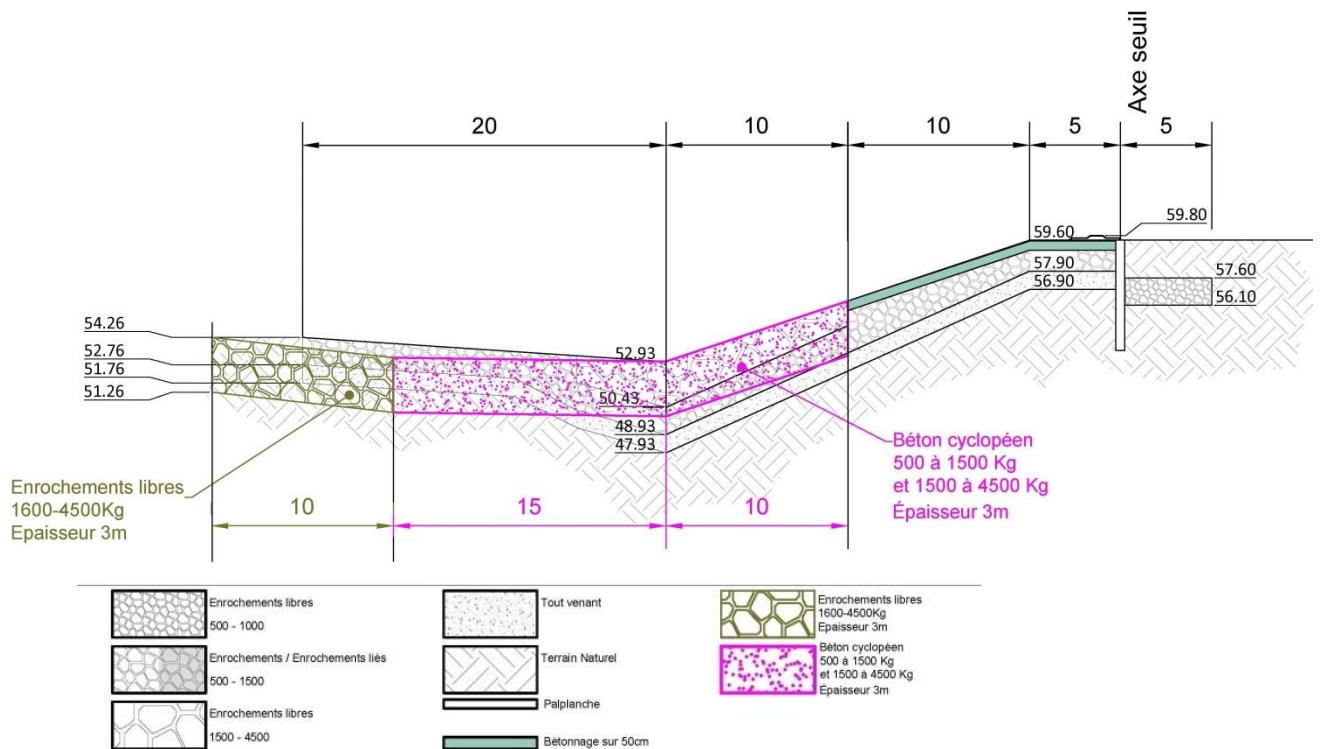


Figure 18 : Coupe-type des travaux de renforcement du seuil 7 en 2008, d'après documents disponibles

### 3.3 AMENAGEMENT DE LA TREMIE DE LA MANDA

#### 3.3.1 Contexte et principes de l'aménagement

Pour que la nouvelle route RN202bis (aujourd'hui RM6202bis) puisse franchir le « verrou » de la Manda, il a été projeté son passage, contre la rive droite, sous le pont de la Manda. Pour la protéger des inondations et des écoulements du Var, ce passage est réalisé en trémie. Ce projet de trémie comportait donc un point bas sous le pont avant de remonter de part et d'autre. Plusieurs problématiques devaient être abordées lors de la conception de l'ouvrage :

- L'inondabilité de la trémie, avant et après retour des graviers ;
- Le rétablissement de l'écoulement de l'OH9, recevant les eaux du vallon de la Tourre ;
- La prise en compte de la politique d'abaissement progressif, d'amont en aval des seuils de la basse vallée.

Le principe central de la solution a été d'anticiper sur une certaine largeur en rive droite l'abaissement du seuil 7, en transférant provisoirement en amont du pont de la Manda la chute entre la cote initial du seuil et la cote après abaissement. Cette action est mise en œuvre grâce à la réalisation d'un seuil provisoire. Cela permet l'écoulement gravitaire des eaux du vallon de la Tourre sous la trémie, en débouchant en aval du seuil provisoire, puis sur la partie abaissée du seuil 7. Lors du retour des graviers, la partie non abaissée du seuil 7 pourra être arasée, et le seuil provisoire supprimé.

---

La trémie est elle-même submersible dans l'état provisoire (seuil 7 non arasé complètement) pour des débits d'environ 1 500 (lors que le retour des graviers a atteint le seuil 7) à 1 800 - 2 000 m<sup>3</sup>/s (avant retour des graviers) [source : référence /10/]. Les eaux débordées dans la trémie retournent au Var par une échancrure dans le mur débutant en aval du seuil.

Ces aménagements ont fait l'objet de nombreux essais sur modèle réduit (références /11/ et /10/) pour aboutir à un Avant-projet sommaire (référence /9/).

Les ouvrages exécutés sont connus grâce au Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) fourni par MNCA, et notamment le plan général conforme à l'exécution (référence /27/). Il reste cependant des points d'interrogation sur la réalisation des enrochements notamment, le dessin de ceux-ci étant souvent identique aux plans de l'AVP.

### **3.3.2 Plan masse synthétique de l'ensemble des aménagements**

Les aménagements hydrauliques liés à la trémie de la Manda sont représentés de façon synthétique en plan sur la figure suivante.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

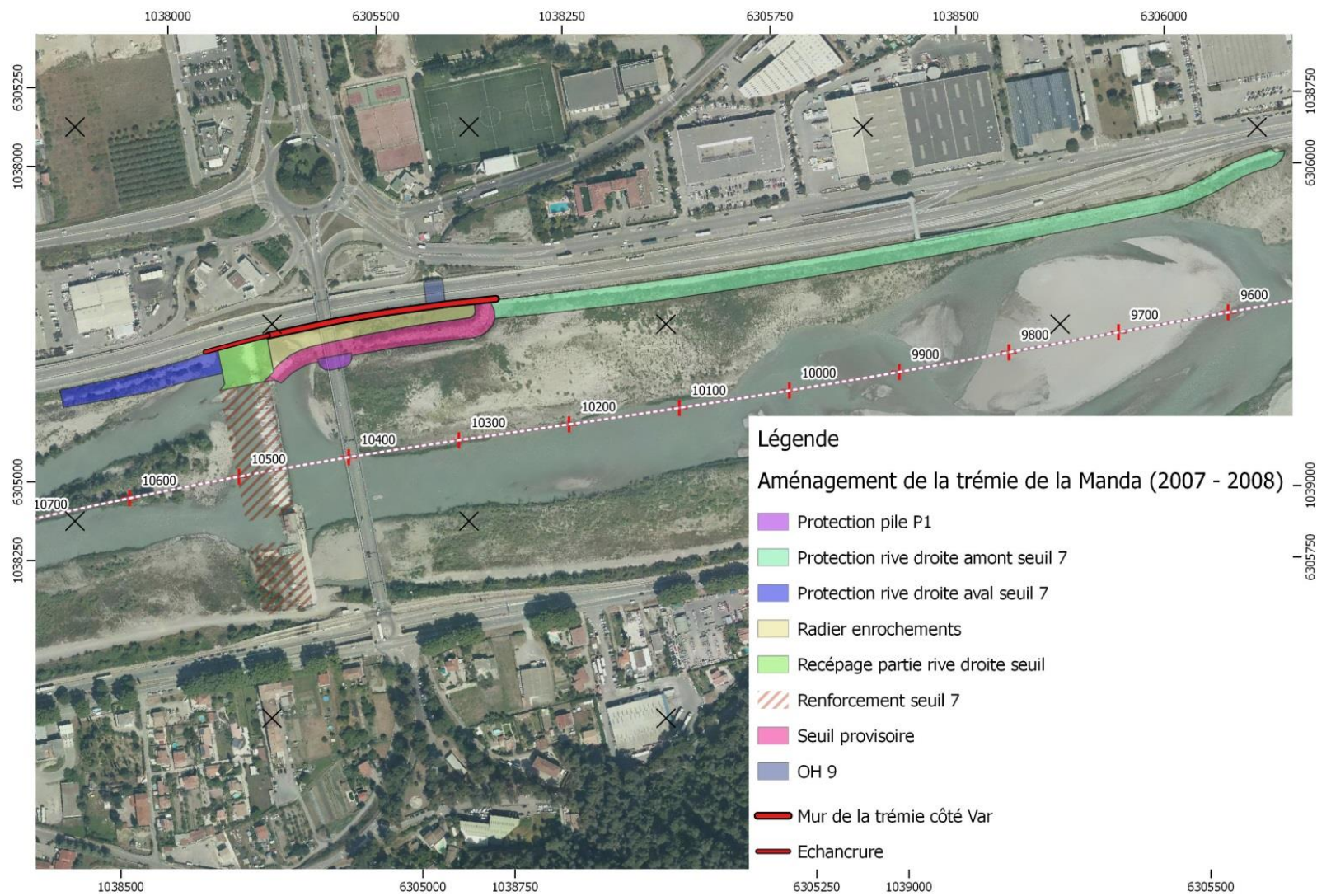


Figure 19 - Synthèse des travaux réalisés lors de l'aménagement de la trémie de la Manda

### 3.3.3 Recépage du seuil 7 et seuil provisoire

La partie droite du seuil 7 a été recépage sur 32 m à la cote 58,00 m NGF.

La lecture des documents recueillis (DOE) n'indique pas la mise en place d'un nouveau rideau de palplanches en amont de la crête. On suppose donc que le rideau d'origine du seuil est conservé. Pourtant, sa longueur réduite aurait probablement entraîné des problèmes de stabilité lors des terrassements préalables à la mise en place des enrochements en amont et en aval de ce rideau. Une incertitude subsiste donc sur les caractéristiques de ce rideau de palplanches.

A son sommet, une poutre en béton armé, de 1 m x 1 m, donc le dessus est calé à 58,00 m NGF, a été réalisé sur le linéaire du recépage (32 ml). Cette cote est celle proposée dans l'APS de 2005 (référence /9/).

La lecture du DOE n'indique pas si le coursier du seuil et le radier ont été démontés et reconstruits sur le linéaire recépage, ou si les parties existantes ont été conservées. Les cotes portées sur le plan général semblent favoriser la première option. Il n'y a pas d'indications sur la blocométrie des enrochements, leur liaisonnement ou non, ou encore la présence de sous-couches.

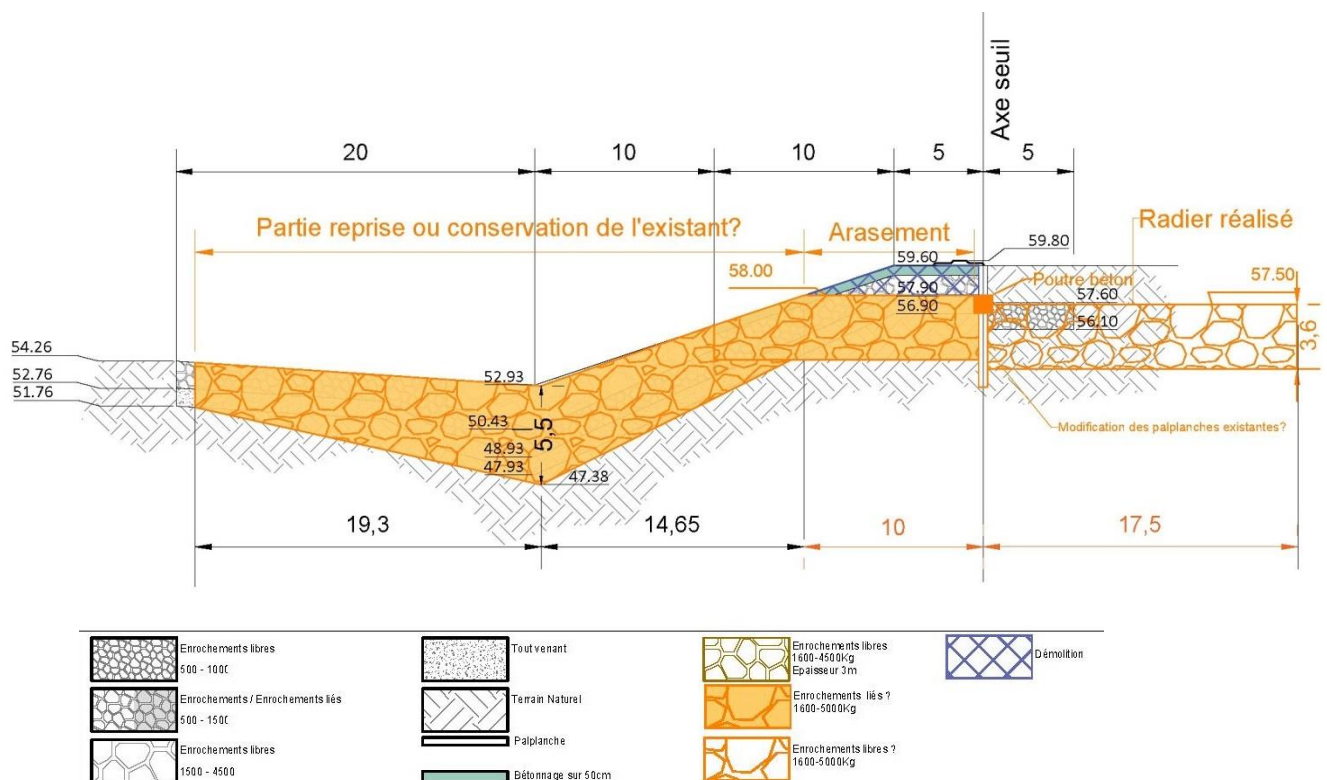


Figure 20 : Coupe-type du seuil recépage en 2007 en rive droite, d'après les données disponibles

Le seuil provisoire présente un linéaire de 220 m, parallèle à la rive droite, éloigné de 25 m environ. Il se referme en amont sur cette rive. La cote de sa crête descend linéairement de 61.5 en amont à 59.9 m NGF en aval, soit la cote de la crête du seuil non recépage.

Le profil type du seuil présente, de la rive gauche à la rive droite : un talus amont à 1H/1V, une crête de 2 m de largeur, puis un talus aval à 3H/1V, avec des enrochements (libres selon les observations) sur 3,6 m d'épaisseur. Un radier en enrochements libres sur 3,6 m d'épaisseur, dans

le dessus est à la cote 57.5 m NGF est mis en place dans l'espace entre le seuil provisoire et la rive droite. Le DOE ne mentionne pas la blocométrie utilisée, et ne montre pas de sous couches spécifiques. Il ne précise pas le raccordement avec la protection de la pile P1 du pont de la Manda.

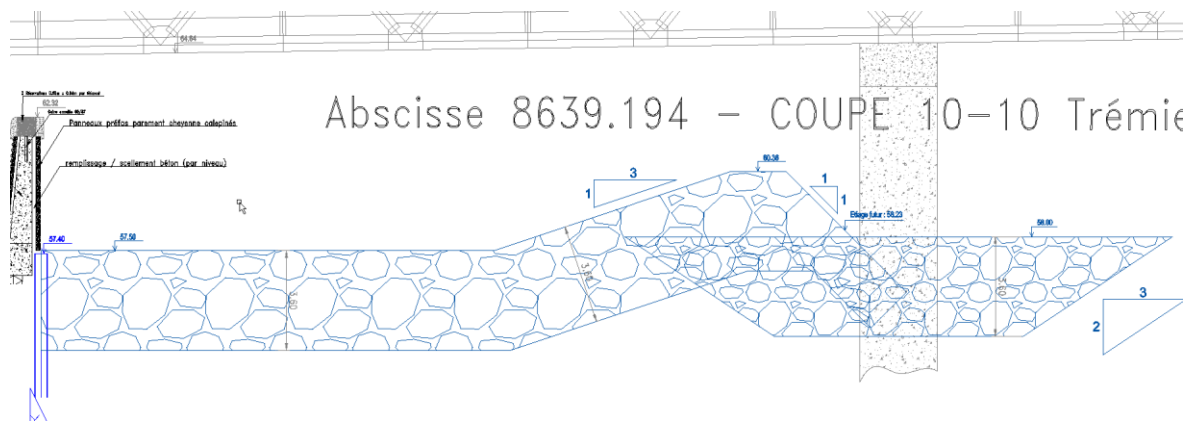


Figure 21 : Seuil provisoire, radier et protection de la pile P1 (extrait du DOE)

L'avant-projet sommaire des aménagements de la trémie de la Manda (référence /9/) présentait le profil suivant :

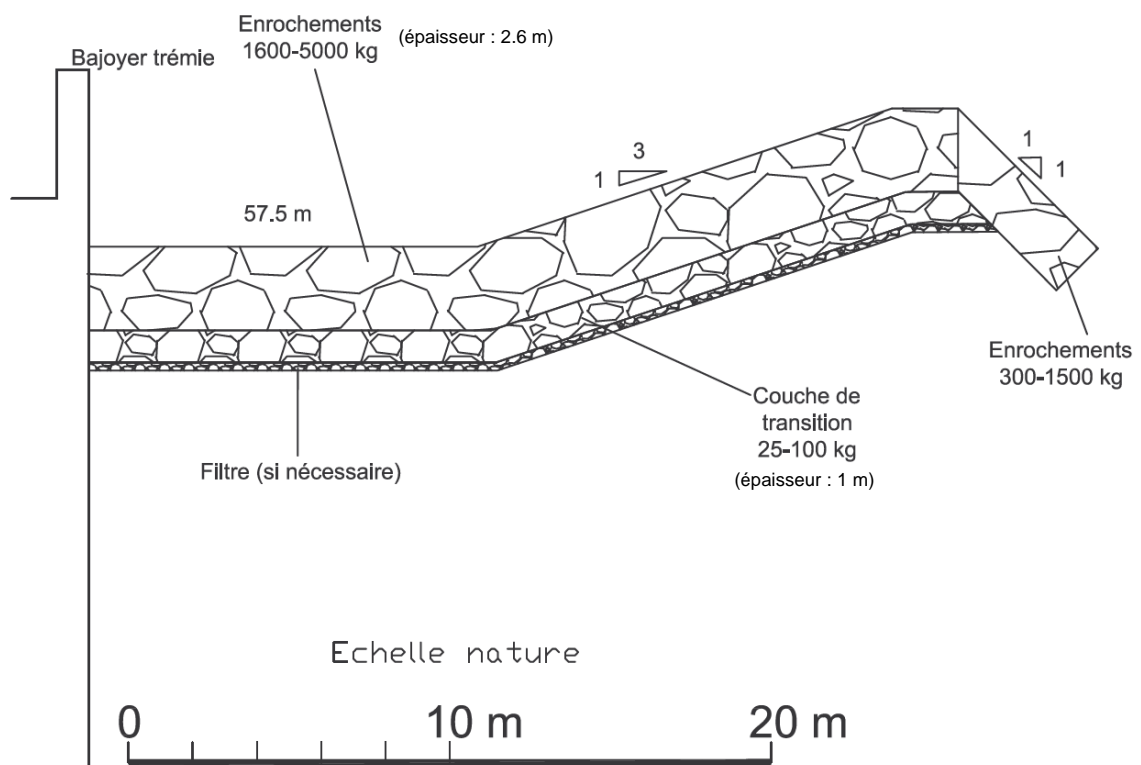


Figure 22 : Vue en coupe du seuil provisoire projeté en APS (source : /9/)

Le DOE indique les mêmes dimensions, mais en rassemblant – apparemment – enrochements et couche de transition.

### 3.3.4 Autres aménagements

#### 3.3.4.1 PROFIL EN LONG DU MUR COTE VAR DE LA TREMIE

Selon le DOE, le profil en long du mur côté Var de la trémie présente un tronçon linéaire démarrant (à la cote 62.83 m NGF) juste en aval de l'extrémité amont du seuil provisoire et s'arrêtant 1 m en amont de la crête du seuil 7 recépé (à la cote 62.12 m NGF). Ce tronçon est précédé d'un tronçon parallèle au profil en la voirie en amont, la crête du mur remontant à une cote de 63.93 m NGF en amont du seuil provisoire.

Ce tronçon linéaire est, comme expliqué plus haut dans les principes de l'aménagement, débordant. Les eaux de débordement, ayant rempli la trémie, doivent ensuite retourner au Var. C'est le rôle de l'échancrure qui succède en aval au tronçon linéaire. Cette échancrure est plate, sur 23 m, à la cote 61.5 m NGF. La crête du mur de la trémie remonte ensuite sur 36 m jusqu'à la cote 62.31. A la fin du mur de la trémie, la GBA de la voirie, plus basse, lui succède.

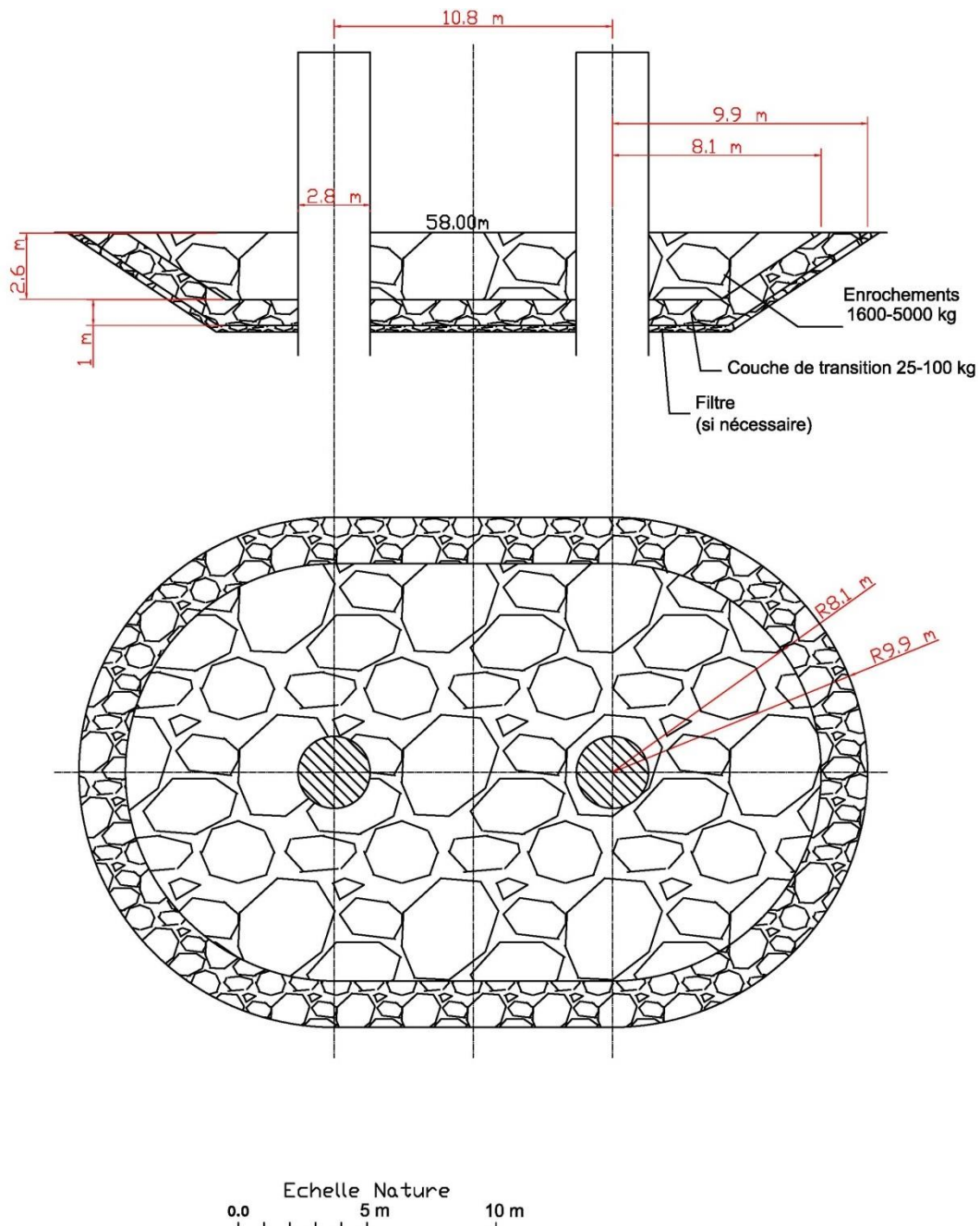
Ce profil du mur de la trémie côté Var diffère de l'APS de 2005 (référence /9/) au niveau de cette échancrure : l'échancrure de l'APS débutait 5 m plus en aval, et la partie plate présentait une longueur plus grande, de 52 m.

#### 3.3.4.2 PROTECTION DE LA PILE P1

La pile P1 du pont de la Manda est la plus proche de la rive droite. Elle se situe à proximité immédiate du seuil provisoire (sur son côté amont).

Le DOE des travaux d'aménagement de la trémie montre la réalisation d'un radier en enrochements (libres a priori), de 3,6 m d'épaisseur (le dessus étant à la cote 58.0 m NGF), entourant les deux fûts, sur une longueur de 30,6 m (19,8 m en base), et une largeur de 9,9 m (4,5 m en base) à gauche de l'axe des piles, la partie droite venant intersecter les enrochements du seuil provisoire, sans précision mentionnée sur le raccordement réalisé. Comme pour les autres enrochements réalisés, il n'y a pas d'indication sur la blocométrie utilisée, et aucune sous couche n'est mentionnée.

L'avant-projet sommaire des aménagements de la trémie de la Manda (référence /9/) présentait la conception suivante pour la protection des piles :



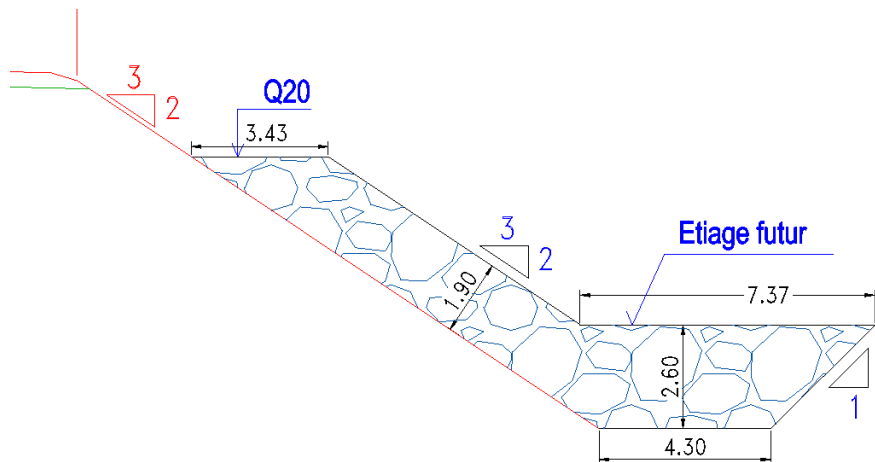
**Figure 23 : Protection projetée des piles du pont de la Manda (APS, source : /9/)**

Le DOE indique les mêmes dimensions, mais en rassemblant – apparemment – enrochements et couche de transition.

### 3.3.4.3 PROTECTION EN ENROCHEMENTS DE LA RIVE DROITE

En amont du seuil provisoire, la rive droite a été protégée sur un linéaire de 720 ml.

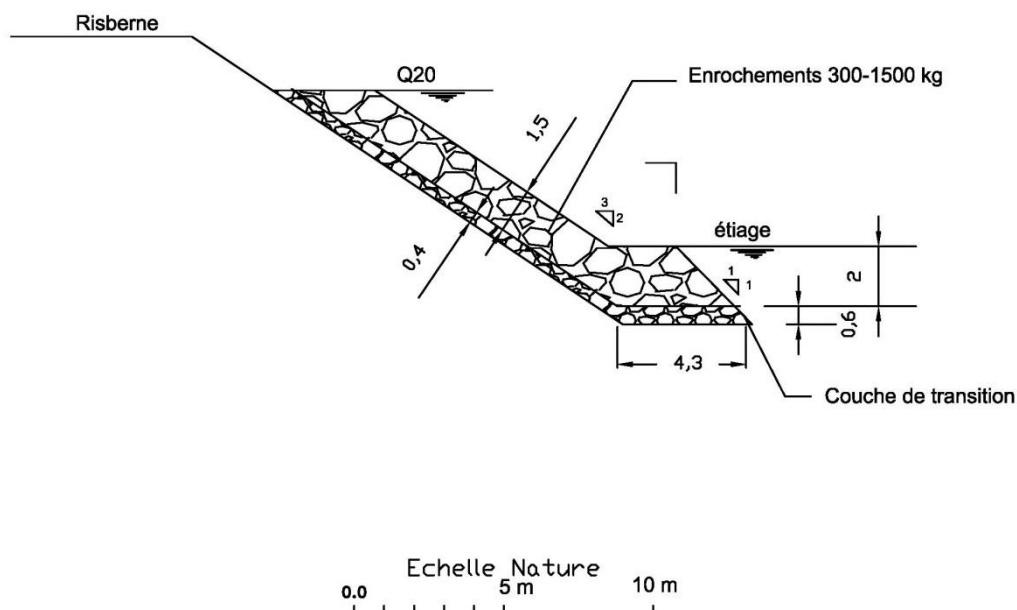
Le profil type indiqué dans le DOE est le suivant :



**Figure 24 : Profil type de la protection de la rive droite en amont du seuil provisoire (source : /27/)**

Comme pour les autres enrochements réalisés, il n'y a pas d'indication sur la blocométrie utilisée, et aucune sous couche n'est mentionnée.

L'avant-projet sommaire des aménagements de la trémie de la Manda (référence /9/) présentait la coupe type suivante pour cette protection :



**Figure 25 : Protection projetée de la rive droite en amont (APS, source : /9/)**

Le DOE indique les mêmes dimensions, mais en rassemblant – apparemment – enrochements et couche de transition, et en ayant un sabot de forme un peu différente, avec un volume plus important.

En aval du seuil 7, l'APS projetait une protection particulière en pied de trémie, consistant en un tapis d'enrochements libres (1600 – 5000 kg) de 2,6 m d'épaisseur, sur une couche de transition de 1 m d'épaisseur, et une largeur de 20 m, et dont le dessus est calé à la cote 53 m NGF. Cette

protection spécifique était nécessaire pour protéger le pied de la trémie du déversement par l'échancrure, des eaux ayant débordé plus en amont dans la trémie, et retournant au Var.

Le projet réalisé (cf. Figure 31 page 44) diffère par l'absence de cette protection spécifique, et comporte une protection « classique » en enrochements (talus enroché plus sabot), similaire à la protection amont. Cela peut s'expliquer par le fait que l'échancrure étant plus petite et légèrement plus en amont, la zone de déversement se fait au droit du coursier et du radier du seuil, donc avec un matelas large et épais en enrochements.

#### 3.3.4.4 OH 9

L'OH9 passe sous la RM6202bis par trois cadres totalisant une section de 31.5 m<sup>2</sup>, avec une cote de radier de 58.0 m NGF au débouché aval, une cote plafond variant de 60.24 à 59.69 m NGF, et une pente d'environ 1 % dans la traversée.

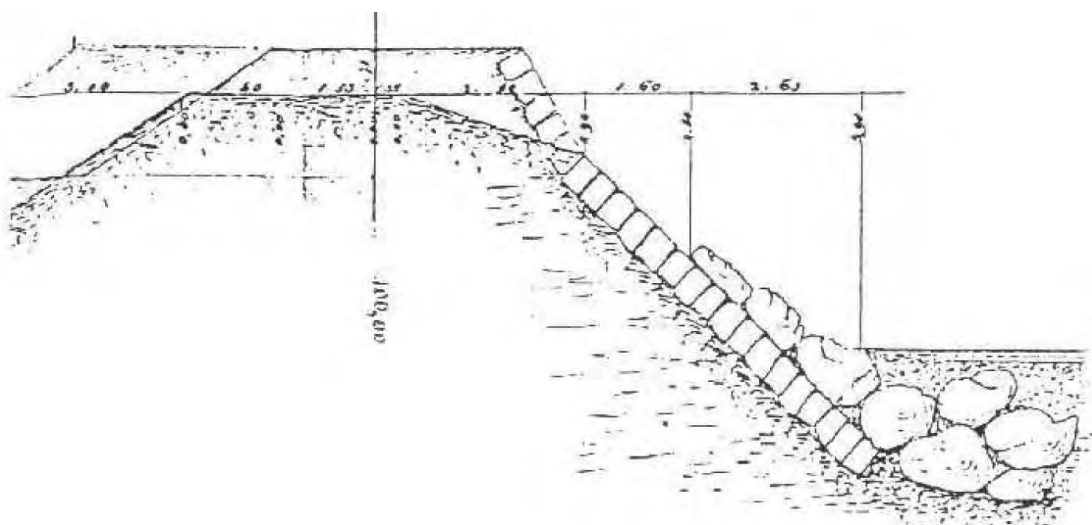
L'APS proposait des dalots calés plus haut (58.6 m NGF), avec des cotes plafond de 60.4 à 60.1 m NGF, mais avec une variante possible abaissant le radier à 58.1 m NGF, tout en conservant les mêmes cotes plafond (avec une section de 30 m<sup>2</sup>).

#### 3.3.4.5 STATION DE POMPAGE

Pour assurer l'évacuation des eaux pluviales recueillies dans la trémie, une station de pompage a été réalisée à son point bas, avec refoulement dans le réseau pluvial de la RM6202bis, en aval du seuil 7. Le rejet final au Var s'effectuant en aval du seuil 7, il n'est pas concerné par l'abaissement du seuil 7.

## 3.4 PROTECTION DE LA RIVE GAUCHE

Dans le secteur du seuil 7 (soit du seuil 8 au seuil 6), la digue rive gauche est très ancienne, construite par les Sardes de 1844 à 1851, la partie la plus en aval ayant été faite par l'Etat français entre 1861 et 1865.



**Figure 26 : Coupe-type des digues Sardes (source : /4/)**

Lors des études de l'abaissement des seuils 8, 9 et 10 du fleuve Var (référence /7/) des sondages à la pelle avaient été réalisés en rive gauche entre les seuils 7 et 8. Ces sondages montraient un

perré béton, surmontés de sucres à l'approche du pont de la Manda (suite probablement aux travaux visibles sur la photo aérienne de la Figure 8), et un sabot en enrochements de 3 m x 1 m environ.

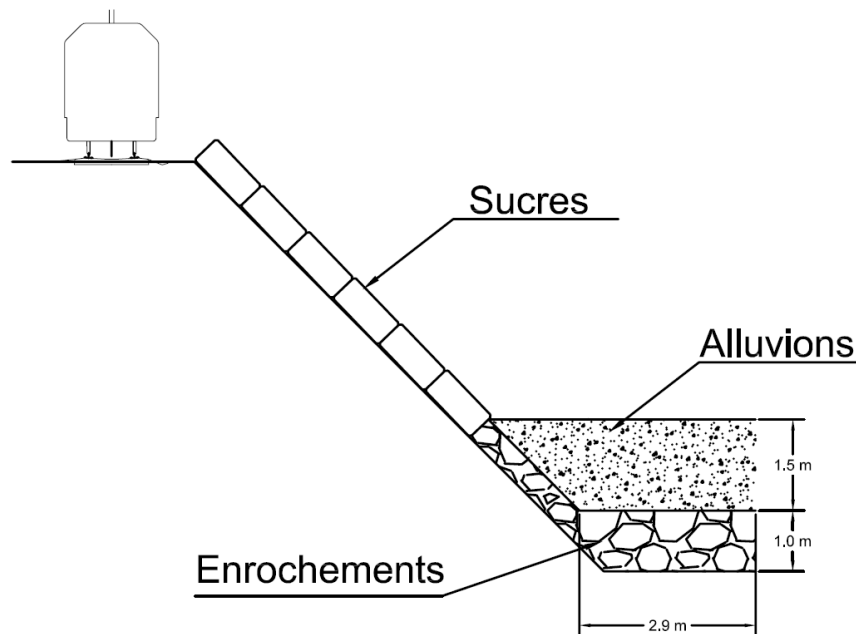


Figure 27 : Profil de la digue rive gauche 380 m environ en amont du seuil 7 (source : /7/)

### 3.5 RESEAUX

Les DT recueillies ne mentionnent pas de réseaux directement impactés par le projet d'abaissement, ces réseaux passant soit sous les voiries des deux rives, soit en encorbellement sur le pont de la Manda. A noter toutefois :

- Le réseau électrique reliant la microcentrale, et passant sous sa voie d'accès ;
- La station de pompage des eaux pluviales de la trémie rive gauche, sous le rond point de l'accès au pont de la Manda.

Pour cette dernière, la DT ne mentionne pas le réseau exutoire, mais il est probable que celui-ci se rejette au Var sous le pont de la Manda, avec, à la suite, un chenal dans le lit franchissant la voie d'accès au seuil par une buse.

La station de pompage des eaux pluviales de la trémie de la RM6202bis a été abordée plus haut.

### 3.6 STATION HYDROMETRIQUE

La station hydrométrique *Carros [Pont-de-la-Manda]* (Y644202001) est implantée en amont immédiat du seuil 7, avec actuellement deux mesures de niveaux (en face aval de la pile P2 [centrale] du pont de la Manda, et à l'amont immédiat du seuil, en rive gauche de la prise d'eau de la microcentrale).



**Figure 28 : Mesures de niveaux de la station hydrométrique de la Manda, vue depuis la microcentrale**

Cette station présente plusieurs inconvénients. En hautes eaux, les jaugeages ne sont pas actuellement possibles. En basses eaux, le fonctionnement de la microcentrale influence fortement les données de hauteurs récoltées. Globalement, il existe de fortes incertitudes sur la relation hauteur-débit.

## **3.7 SITUATION ACTUELLE DES OUVRAGES**

Ce paragraphe, outre qu'il présente quelques vues actuelles des ouvrages, se focalise sur certains constats intéressants à réaliser aujourd'hui, et sur la dégradation d'une partie du seuil provisoire. Auparavant, en synthèse, le profil actuel du seuil est présenté.

### **3.7.1 Profil actuel du seuil 7**

La figure page suivante présente le profil actuel du seuil 7.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

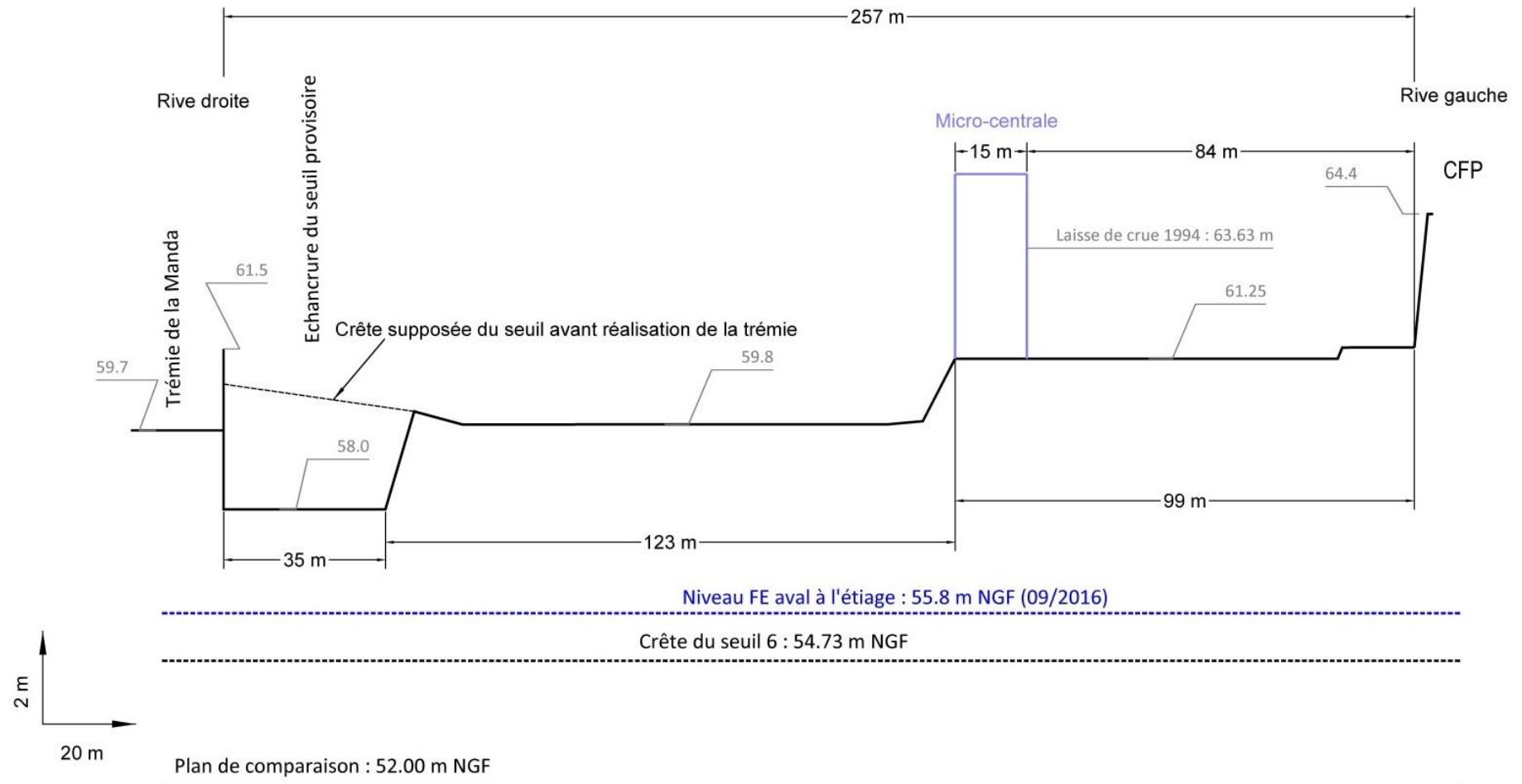


Figure 29 : Profil actuel du seuil 7 (vue de l'aval)

### 3.7.2 Mur de la trémie côté Var et protections en pied

La figure suivante montre une vue à l'étiage (février 2016) de la rive droite au niveau du seuil 7. On distingue l'échancrure, et la protection de la rive droite en aval (cf. § 3.3.4.3).



**Figure 30 : Echancrure de la trémie et protection de la rive droite du seuil 7**

La crue du 25 novembre 2016 (1 500 m<sup>3</sup>/s en pointe à la station de Nice Pont Napoléon III selon la banque hydro) a montré les inconvénients de l'implantation actuelle de l'échancrure du mur de la trémie côté Var. La photo ci-dessous, prise lorsque le débit est d'environ 800 m<sup>3</sup>/s (à la décrue), montre une limite d'entrée d'eau au droit de la chute du seuil.



**Figure 31 : Mur de la trémie côté Var lors de la crue du 26/11/2016 (vers 15 h, soit Q~800 m<sup>3</sup>/s)**

Lors de cette crue, la circulation dans la trémie avait été coupée, il est vraisemblable qu'il y ait eu des entrées d'eau par surverse ponctuelle par-dessus le mur de la trémie en amont de l'échancrure, et/ou alors par ce point limite au tout début de l'échancrure.

Nous n'avons pas connaissance des raisons qui ont conduit à décaler vers l'amont, par rapport à l'APS, le début de l'échancrure.

### 3.7.3 Seuil provisoire

#### 3.7.3.1 EVOLUTIONS RECENTES ET RECHERCHE DES CAUSES

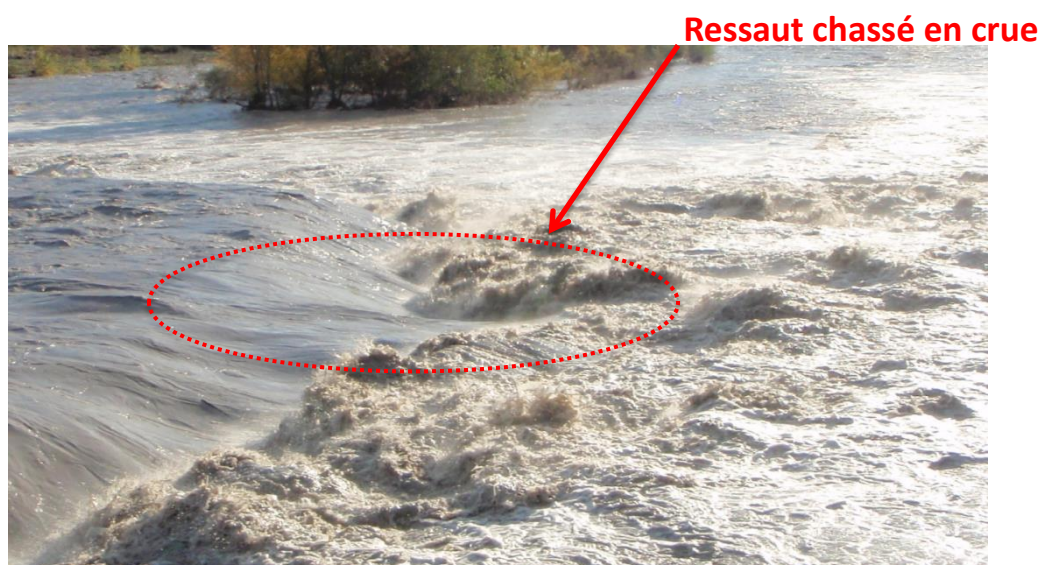
Le seuil provisoire montre aujourd'hui une dégradation localisée à proximité du seuil 7. Cette dégradation, qui se traduit par le déplacement d'un certain nombre de blocs du coursier, s'aggrave à chaque crue importante, comme en témoigne l'évolution au cours de la crue de novembre 2016, avec les photos avant / après de la figure ci-après.



**Figure 32 : Partie aval du seuil provisoire en septembre 2015 (à gauche) et en septembre 2017 (à droite)**

On constate ainsi la poursuite du déplacement des blocs dans la zone la plus sollicitée (cercle rouge), et le début de déplacement de certains blocs plus en amont (flèches rouges).

La figure suivante montre la nature des écoulements sur l'aval du seuil provisoire à la décrue de la crue de novembre 2016 (à un débit d'environ 800 m<sup>3</sup>/s d'après les mesures de la station hydrométrique du pont Napoléon III).



**Figure 33 : Partie aval du seuil provisoire lors de la crue du 26/11/2016 (vers 15 h, soit  $Q \sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$ )**

Du fait du début de la dégradation du coursier, le ressaut n'est plus bloqué en pied de seuil, et est « chassé » vers l'aval, ce qui entraîne des contraintes beaucoup plus fortes et accélèrent le déplacement des blocs. Cette évolution va donc se poursuivre et s'intensifier aux prochaines crues, conduisant à une brèche et à une baisse des niveaux en amont.

Les raisons de cette dégradation du seuil provisoire seraient les suivantes, en référence aux études sur modèle réduit et à l'APS :

- Blocométrie trop petite (700 kg – 2500 kg d'après la taille moyenne des blocs mesurée sur photo aérienne de 2017, au lieu de 1600 – 5000 kg préconisé dans l'APS) ;
- Une absence de couche de transition, si cela est effectivement le cas. La couche de transition a pour fonction d'éviter que les turbulences engendrées par l'impact des jets sur les enrochements ne mettent en mouvement l'assise naturelle en alluvions du Var. Les essais réalisés sans couche de transition, pour d'autres projets de seuils (sur la Durance) ont montré que les blocs s'affaissaient, entraînant l'apparition d'un ressaut « chassé » et la poursuite de la dégradation.

Mentionnons en outre que, avec les caractéristiques requises par l'APS, ce dernier document indiquait toutefois « *que des enrochements libres étant utilisés pour la réalisation du seuil [provisoire], il sera nécessaire de vérifier régulièrement (et en particulier aux épisodes de crue) la bonne tenue de la carapace en enrochements, [au besoin] un rechargement régulier de ces blocs sera à prévoir* ».

### 3.7.3.2 EVALUATION DU RISQUE POUR LES PILES DU PONT DE LA MANDA

#### 3.7.3.2.1 Introduction

Compte-tenu du diagnostic précédent et de la poursuite prévisible de la dégradation du seuil provisoire, il est nécessaire d'évaluer quel peut-être le risque, en cas d'ouverture d'une brèche dans le seuil provisoire, pour la tenue des piles du pont de la Manda immédiatement en amont.

La pile P1 est déjà protégée. Même s'il reste des incertitudes sur les caractéristiques exactes de la protection réalisée (présence de sous couche, taille des blocs notamment), le volume d'enrochement mis en place (selon le DOE) assure une protection suffisante à court terme.

Les piles P2 et P3 ne sont pas protégées par un tapis d'enrochement. Elles sont dans une situation à risque si le chenal se développant à partir de la brèche sur le seuil provisoire peut remonter et inciser le lit en direction de la pile P2 ou de la pile P3. Dans ce cas, les fonds seront proches de 58 m NGF et à cette incision s'ajoutera l'affouillement localisé autour de la pile.

### 3.7.3.2.2 Probabilité d'un chenal touchant la pile P2 ou la pile P3 remontant depuis une brèche sur le seuil provisoire

L'outil idéal permettant d'évaluer cette probabilité est un modèle réduit physique. Celui mise en œuvre en 2005 pour le projet d'aménagement de la trémie de la Manda n'avait pas simulé la configuration d'une brèche dans le seuil provisoire. Par contre, l'exploitation de certaines configurations testées peut permettre d'apporter des éléments de réponse. En particulier, l'essai 3 simulait, à partir de la configuration actuelle des ouvrages, une suppression du seuil provisoire, sans modification de la partie non arasé du seuil 7.

Cet essai montrait la possibilité de développement d'un chenal (en crue centennale) affouillant suffisamment la pile P2 pour découvrir largement les enrochements mis en place lors de l'essai. La pile P3 était beaucoup moins sollicitée.

Les photos suivantes sont tirées des archives de SOGREAH.



Figure 34 : Essai 3 du modèle physique à fonds mobiles de la trémie de la Manda (enlèvement du seuil provisoire) : chenaux à la fin de la crue centennale (source : /11/)



**Figure 35 : Essai 3 du modèle physique à fonds mobiles de la trémie de la Manda (enlèvement du seuil provisoire) : attaque de la pile P2 en fin de crue centennale (source : /11/)**

### 3.7.3.2.3 Risque pour les piles P2 et P3

En tenant compte de la possibilité d'un chenal se développant au voisinage de la pile P2, et partant d'une brèche dans le seuil provisoire, les fonds peuvent s'abaisser à 57.5 – 58.0 m NGF. L'affouillement autour de la pile peut-être évalué de façon approchée à deux fois son diamètre, soit  $2 \times 4.3$  m, soit 8.6 m, soit des fonds descendant à 49.0 – 49.5 m NGF pour une base de fondation à 49.7 m NGF. **Le risque de déstabilisation de la pile avec ces hypothèses est donc certain.**

A noter que le risque de déstabilisation des piles dans la configuration actuelle (avec tenue du seuil provisoire) est loin d'être nul : le modèle réduit physique n'a pas fait de tests avec les piles sans banquettes en enrochements, nous ne connaissons donc pas l'affouillement autour des piles. Avec l'approche réalisée ci-dessus (8.6 m d'affouillement potentiel), le fond de la fosse pourrait se trouver à seulement 1 m au-dessus de la base de la fondation.

---

## 4 FONCTIONNEMENT MORPHODYNAMIQUE DU VAR

### 4.1 OBJECTIFS

Le fonctionnement morphodynamique du fleuve Var a fait l'objet de nombreuses analyses antérieures. Les objectifs justifiant d'aborder à nouveau ici cette thématique sont les suivants :

- Réaliser une analyse des évolutions morphologiques récentes ;
- Comparer ces évolutions récentes à celles projetées dans les études précédentes ;
- Confirmer la cote d'abaissement du seuil 7 ;
- Proposer l'année optimale des réalisations des travaux d'abaissement du seuil.

A ce moment du rapport, les paragraphes suivants abordent les deux premiers points. Les deux derniers points sont abordés dans le chapitre 8 - Modélisation hydro-sédimentaire page 108.

### 4.2 ANALYSE DES EVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES RECENTES

#### 4.2.1 Synthèse de l'évolution passée

Une synthèse de l'évolution historique du lit du Var a été faite en début de rapport (§ 1.3).

La figure page suivante représente cette évolution, dans le secteur du seuil 7, qui est par ailleurs le secteur de retour des graviers depuis le début des années 2000. Le profil en long qui suit présente, sur l'ensemble de la basse vallée (de la confluence Vésubie à la mer) l'évolution du fil d'eau depuis 1912 (levé des Grandes Forces Hydrauliques), à aujourd'hui (Lidar de 2011), en passant par la situation avant la crue de 1994 (photogrammétrie de 1993 citée dans /18/).

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

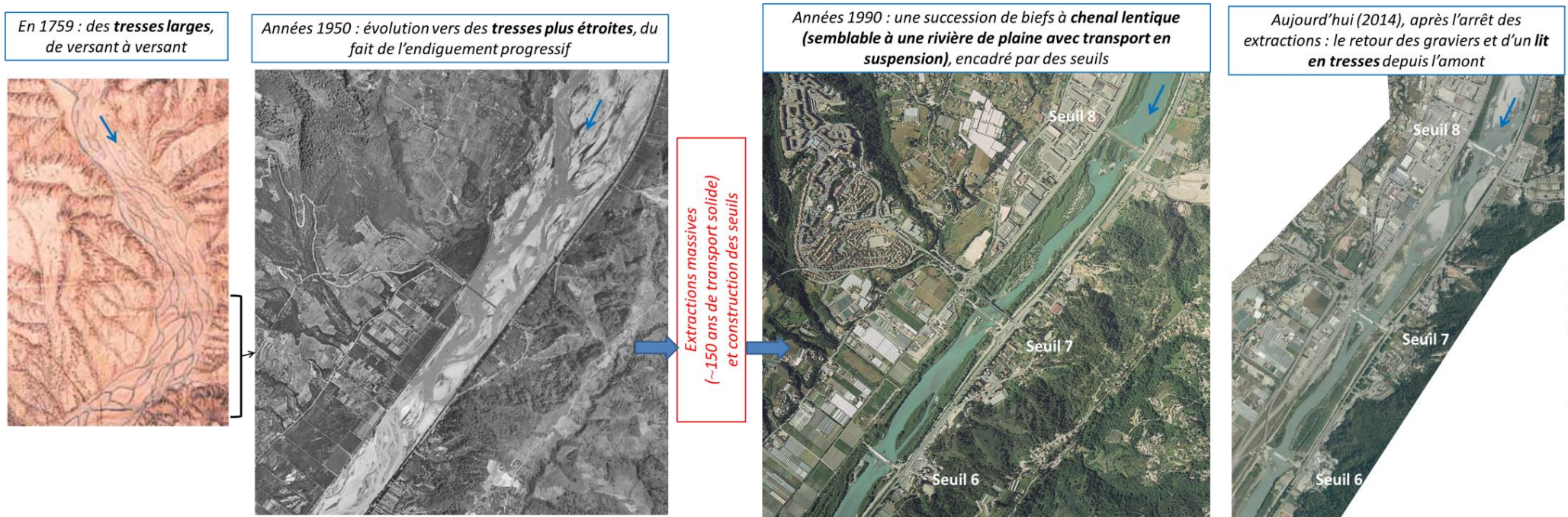


Figure 36 : Synthèse de l'évolution du lit du Var en plan dans le secteur du seuil 7

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

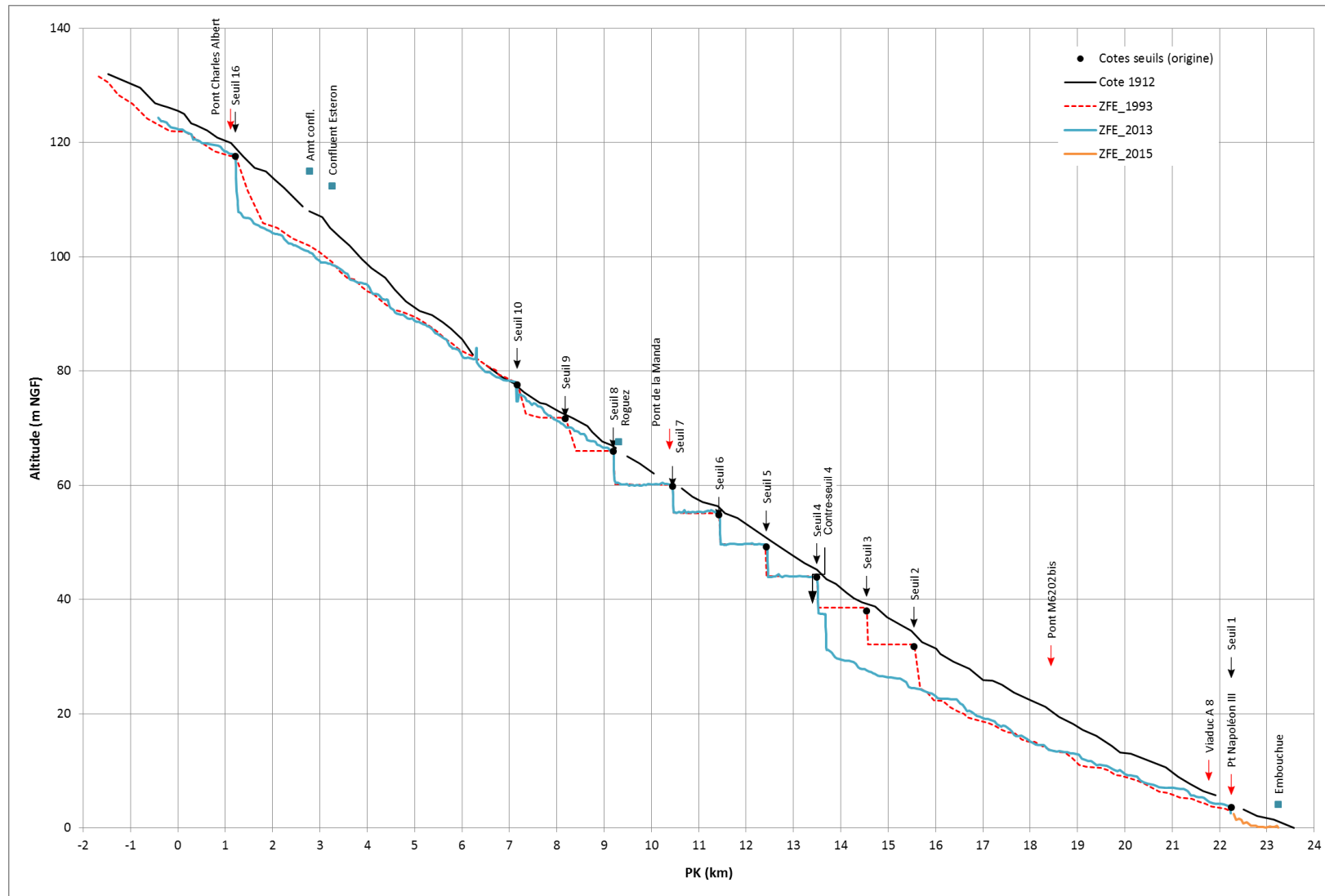


Figure 37 : Evolution globale du profil en long du Var dans sa basse vallée

#### **4.2.2 Evolution récente du lit du Var entre la confluence de l'Estéron et le seuil 6**

L'étude la plus récente et globale portant sur l'évolution morphologique du lit du Var dans sa basse vallée (référence /14/) se basait sur les données topographiques, pour les plus récentes, de 1998.

Depuis, plusieurs levés (notamment les levés Lidar de 2011 et 2013, et plus récemment, un levé photogrammétrique par drone de 2017) permettent une analyse du retour des graviers et de l'incidence de l'abaissement des seuils 9 et 10. Cette analyse est faite, pour la présente étude, entre la confluence Var – Estéron et le seuil 6.

Les figures pages suivantes présentent par période l'évolution du profil en long du fil d'eau à l'étiage. La dernière figure synthèse l'évolution en plan entre 1999 et 2014.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

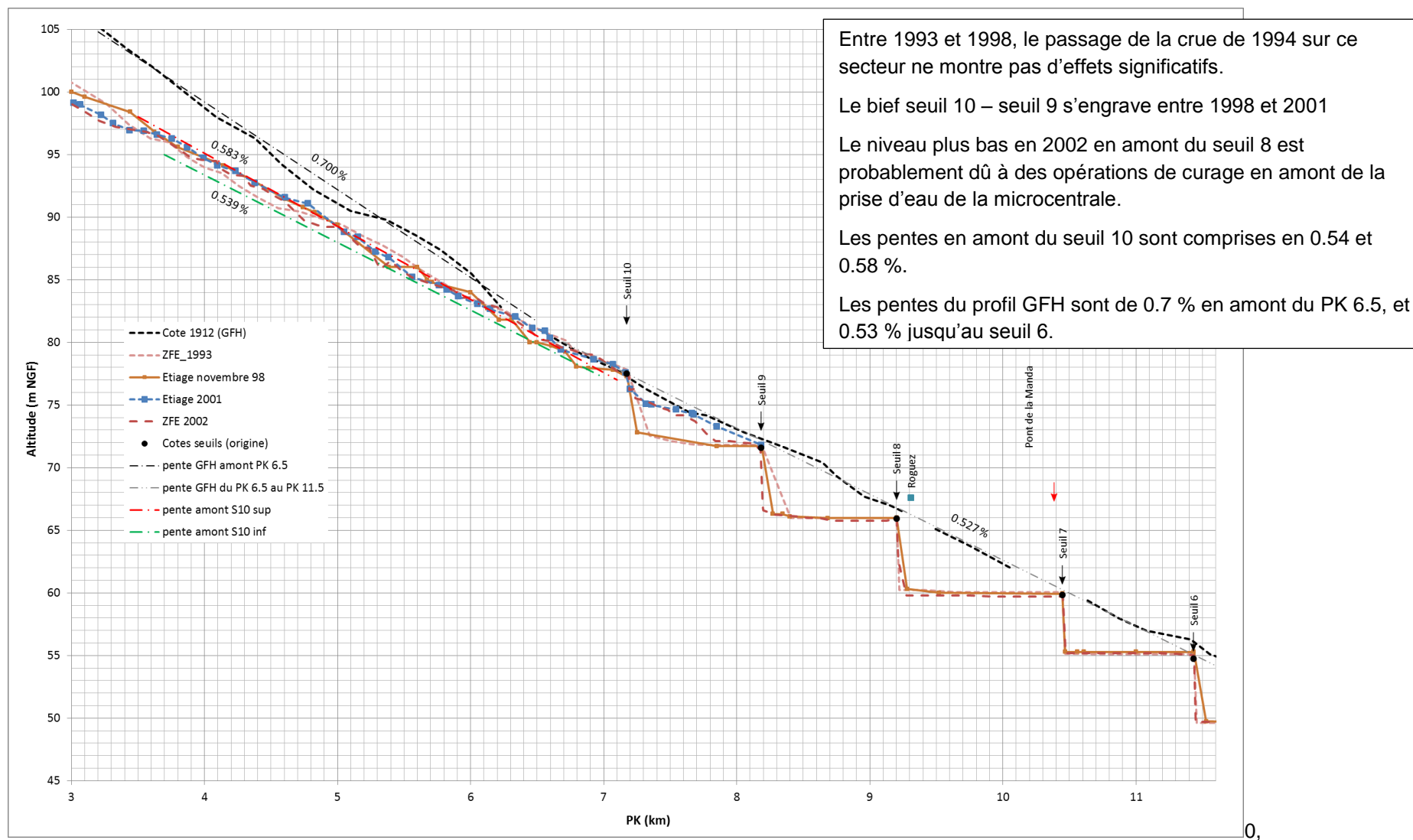


Figure 38 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 1993 – 2002

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

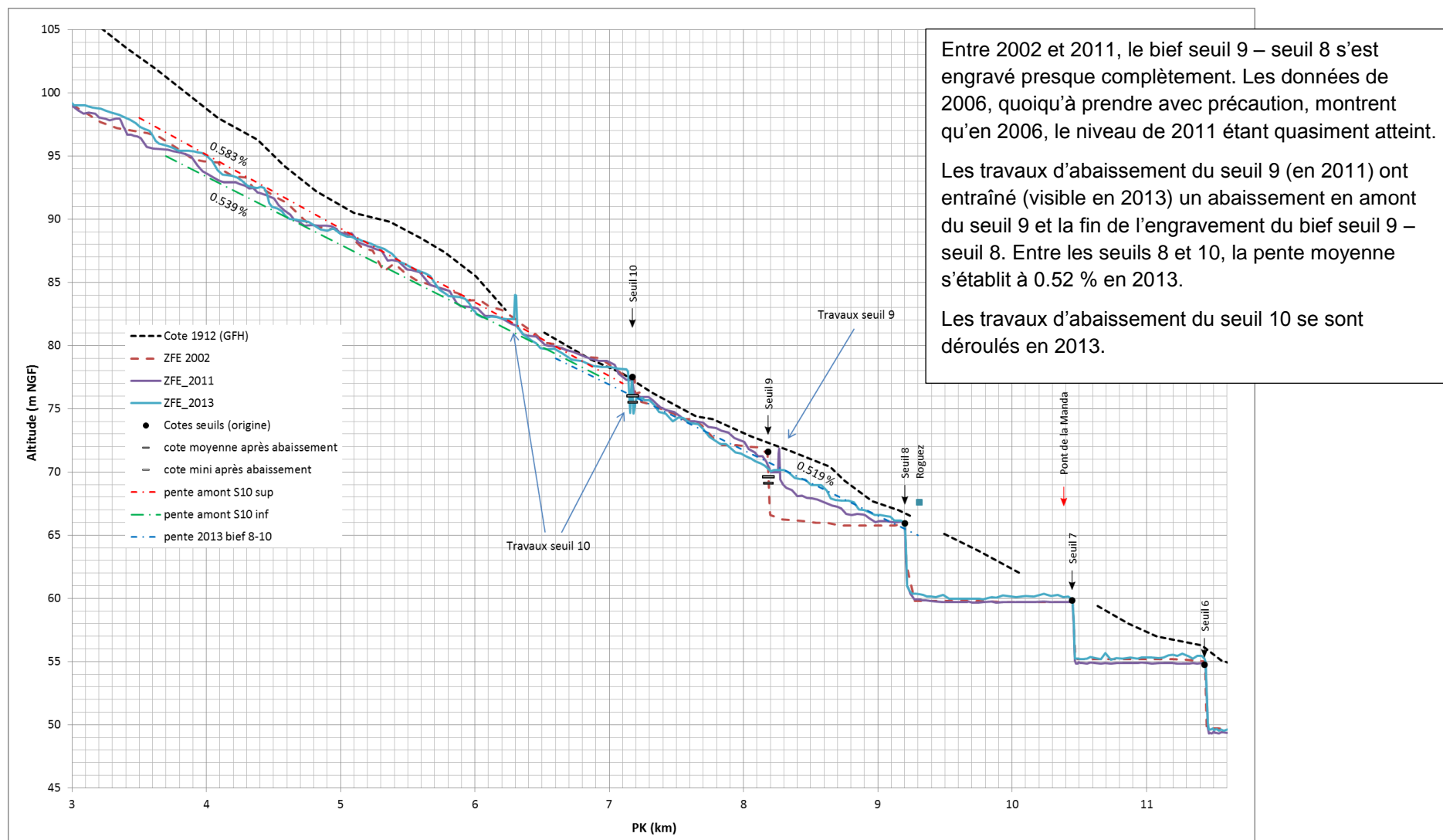


Figure 39 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 2002 - 2013

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

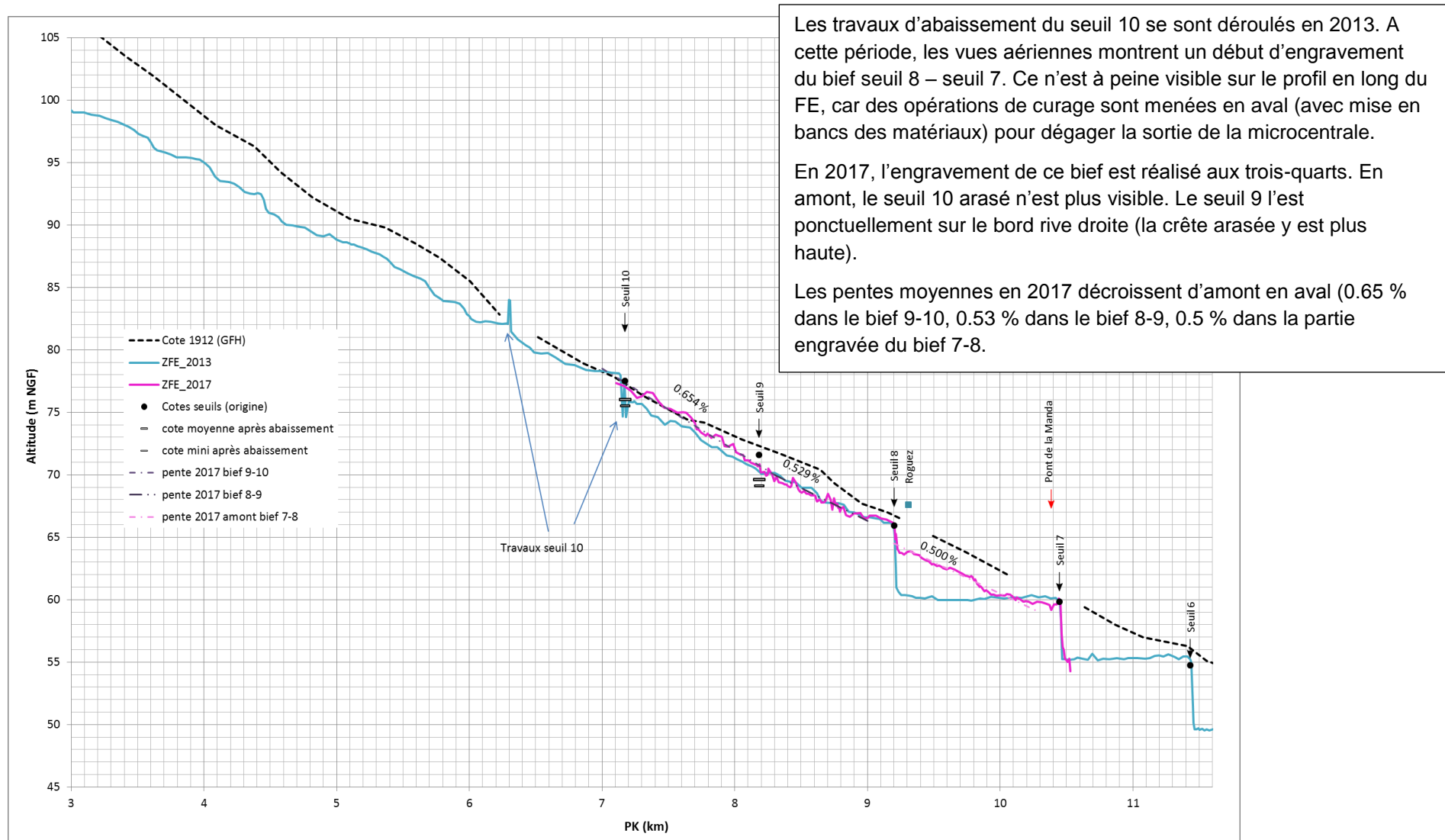


Figure 40 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 2013 – 2017

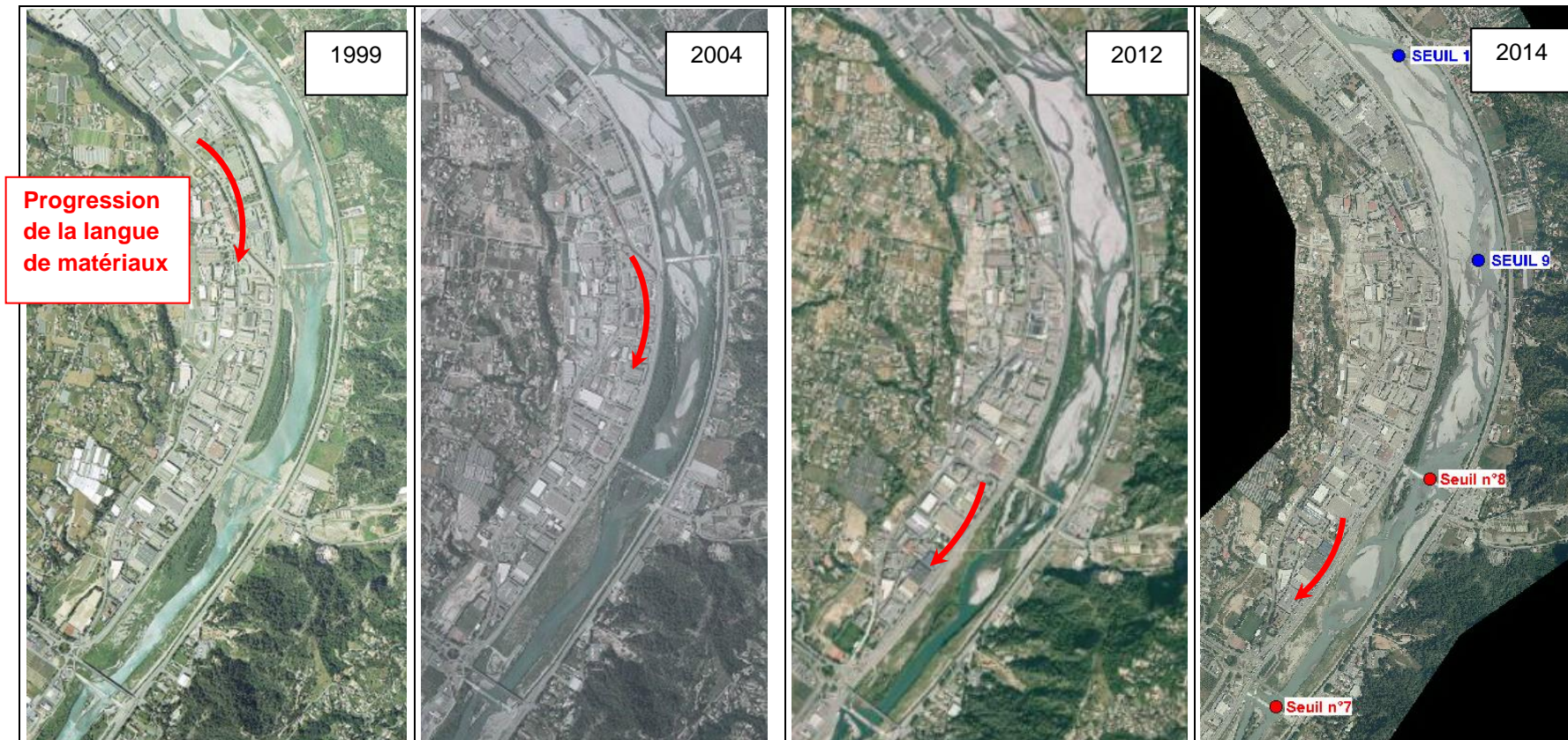


Figure 41 : Evolution en plan entre les seuils 7 et 10 entre 1999 et 2014

### 4.2.3 Morphologie du lit attendue dans le cadre du SAGE

Le SAGE prévoit :

- Un abaissement progressif des seuils 10 à 4 d'amont en aval pour limiter les risques hydrauliques ;
- Entre les seuils abaissés, l'établissement d'un profil d'équilibre ;
- La restauration d'un faciès en tresses sur l'ensemble du linéaire, au fur et à mesure de l'avancée des graviers.

#### 4.2.3.1 COTE D'ABAISSEMENT DES SEUILS ET PROFIL D'EQUILIBRE

L'étude de 2003 (référence /14/) prévoyait les valeurs d'abaissement, et donc les cotes abaissées suivantes. L'abaissement projeté de chaque seuil concernait l'ensemble de l'ouvrage (dont microcentrale et sa voie d'accès).

La cote d'abaissement était principalement définie par la contrainte hydraulique : le principe étant d'obtenir à terme une ligne d'eau pour la crue de référence du PPRi (3800 m<sup>3</sup>/s) inférieure au niveau du terrain naturel en arrière des digues.

**Tableau 2 : Cote moyenne d'abaissement des seuils de l'étude 2003**

| Seuil    | Cote de la crête avant abaissement (m NGF) | Hauteur approximative d'abaissement (étude 2003) (m) | Cote moyenne projetée après abaissement (m NGF) |
|----------|--|--|---|
| Seuil 10 | 77.48                                      | 1.50   | 75.98   |
| Seuil 9  | 71.59                                      | 2.00   | 69.59   |
| Seuil 8  | 65.91                                      | 1.50   | 64.41   |
| Seuil 7  | 59.80                                      | 2.00   | 57.80   |
| Seuil 6  | 54.73                                      | 3.00   | 51.73   |
| Seuil 5  | 49.20                                      | 3.00   | 46.20   |
| Seuil 4  | 43.83                                      | 3.30   | 40.53   |

L'abaissement réalisé sur les seuils 10 et 9 respecte les cotes indiquées dans le tableau. L'abaissement du seuil 8 a été réalisé courant 2018 selon ces cotes également.

La pente d'équilibre s'établissant entre les seuils était prévue à 0.5 % lors de l'étude de 2003.

Dans la recherche d'une esquisse à long terme du profil en long du Var dans sa basse vallée, Philippe LEFORT (référence /15/) retenait une pente décroissante : 0.47 % en amont du seuil 10, 0.46 % entre les seuils 9 et 10, 0.45 % entre les seuils 8 et 9, 0.44 % entre les seuils 6 et 8, 0.43 % entre les seuils 5 et 6 et enfin 0.39 % entre les seuils 4 et 5.

**Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var**

RAPPORT DEFINITIF

Les profils futurs de 2003 et de Philippe Lefort sont représentés sur le profil en long page suivante dans notre secteur d'étude.

Le tableau suivant synthèse les commentaires qui peuvent être fait de ce profil en long et des analyses précédentes.

**Tableau 3 : Analyse de l'engravement des biefs et des projections antérieures**

| Bief                               | Pente projetée | Pente observée en 2017                    | Commentaires  |
|------------------------------------|----------------|---|---|
| Seuil 6 à seuil 7                  | 0.44 à 0.50 %  | Sans objet –<br>engravement non<br>amorcé | -   |
| Seuil 7 à seuil 8                  | 0.44 à 0.50 %  | 0.50 % dans la partie<br>déjà engravée    | Pour l'instant conforme   |
| Seuil 8 à seuil 9                  | 0.45 à 0.50 %  | 0.53 %                                    | Niveau d'engravement<br>observé supérieur au<br>niveau projeté du au retard<br>de l'abaissement du seuil 8<br>Pente actuelle légèrement<br>supérieure |
| Seuil 9 à seuil 10                 | 0.46 à 0.50 %  | 0.65 %                                    | Pente actuelle<br>significativement supérieure  |
| Amont seuil 10 (jusqu'à<br>PK 6.2) | 0.47 à 0.50 %  | Non connue en 2017                        | -   |

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

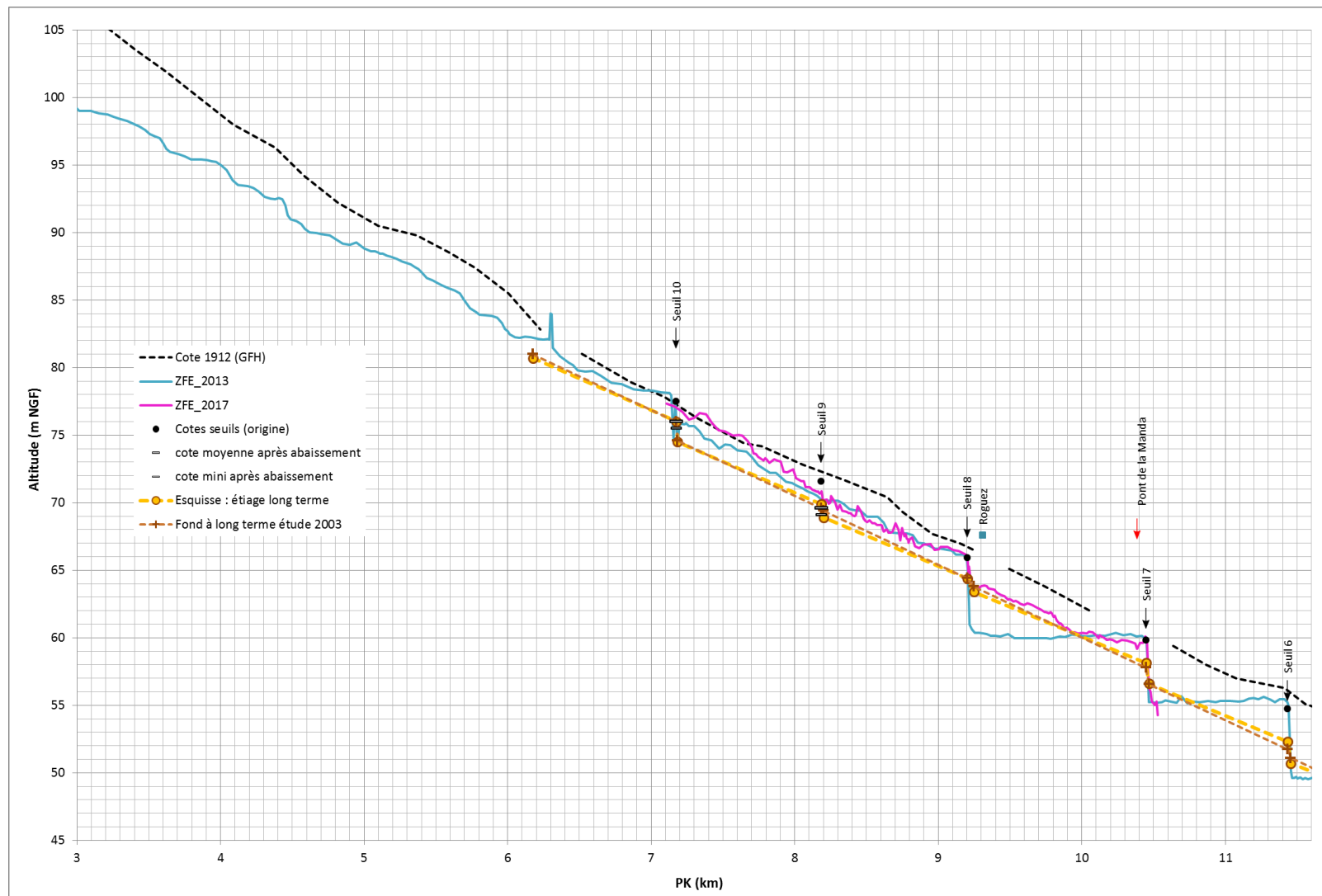


Figure 42 : Evolution du profil en long du Var entre l'Estéron et le seuil 6 : période 2013 – 2017, et profils en long projetés

## 5 FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA BASSE VALLEE

### 5.1 GEOLOGIE

#### 5.1.1 Contexte général

Une carte géologique, issue de l'interprétation des derniers sondages géologiques profonds réalisés sur le secteur, est présentée sur la figure page suivante (travaux H2EA, référence /5/).

La plaine alluviale du Var est comblée par des matériaux récents d'âge holocène. Ce remplissage alluvial est hétérogène, composé de sables, graviers et galets.

Le creusement de la vallée est marqué par un profil en « V » très dissymétrique avec une épaisseur maximale de 470 m en rive gauche du Var sur le secteur étudié (cf. Figure 44).

Les poudingues plio-quaternaires forment le substratum des alluvions fluviales. Ils sont relativement grossiers avec une cimentation variable et sont composés de 40 à 60% de galets calcaires et de 20 à 30% de galets siliceux (source : /19/).

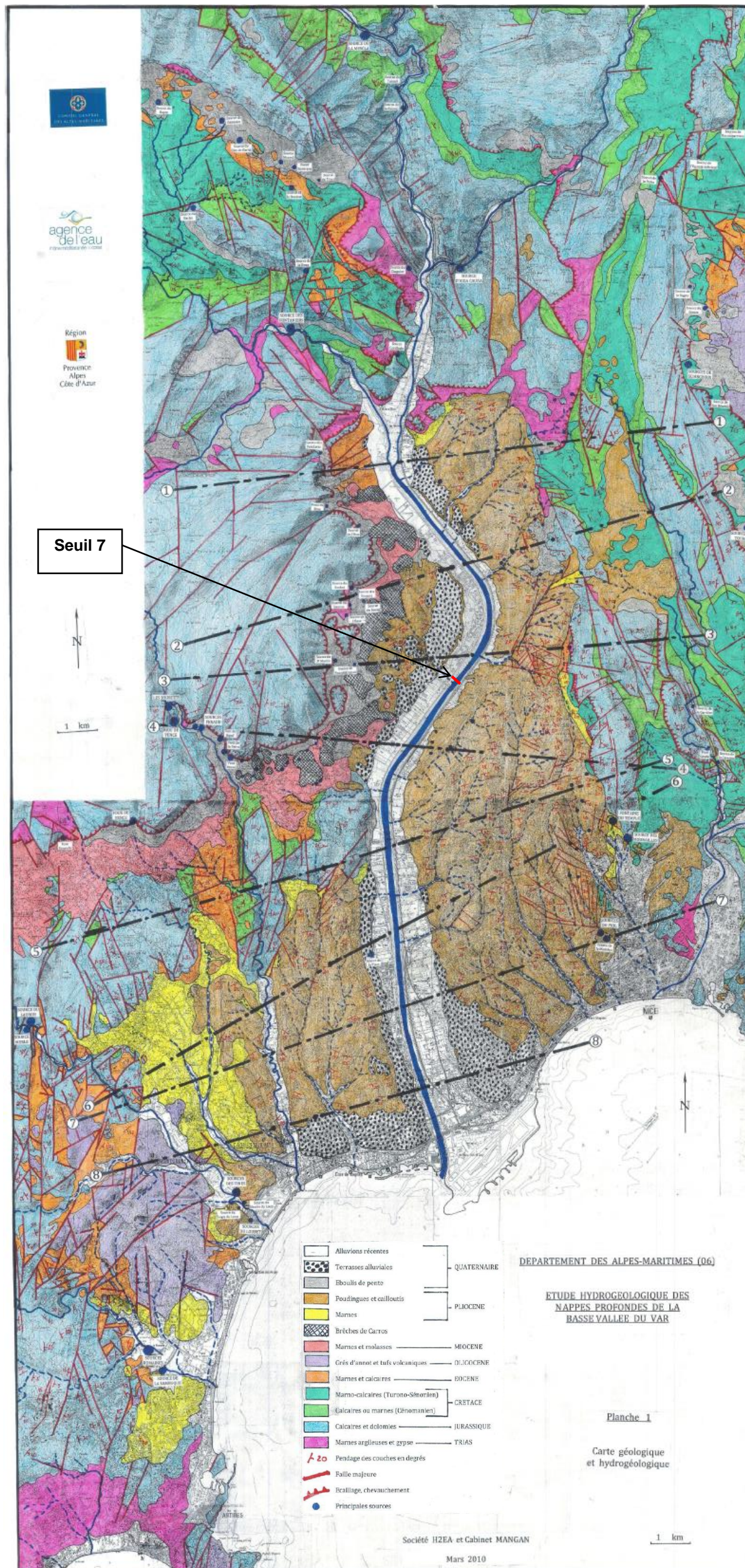


Figure 43 : Carte géologique et hydrogéologique (source : /5/)

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

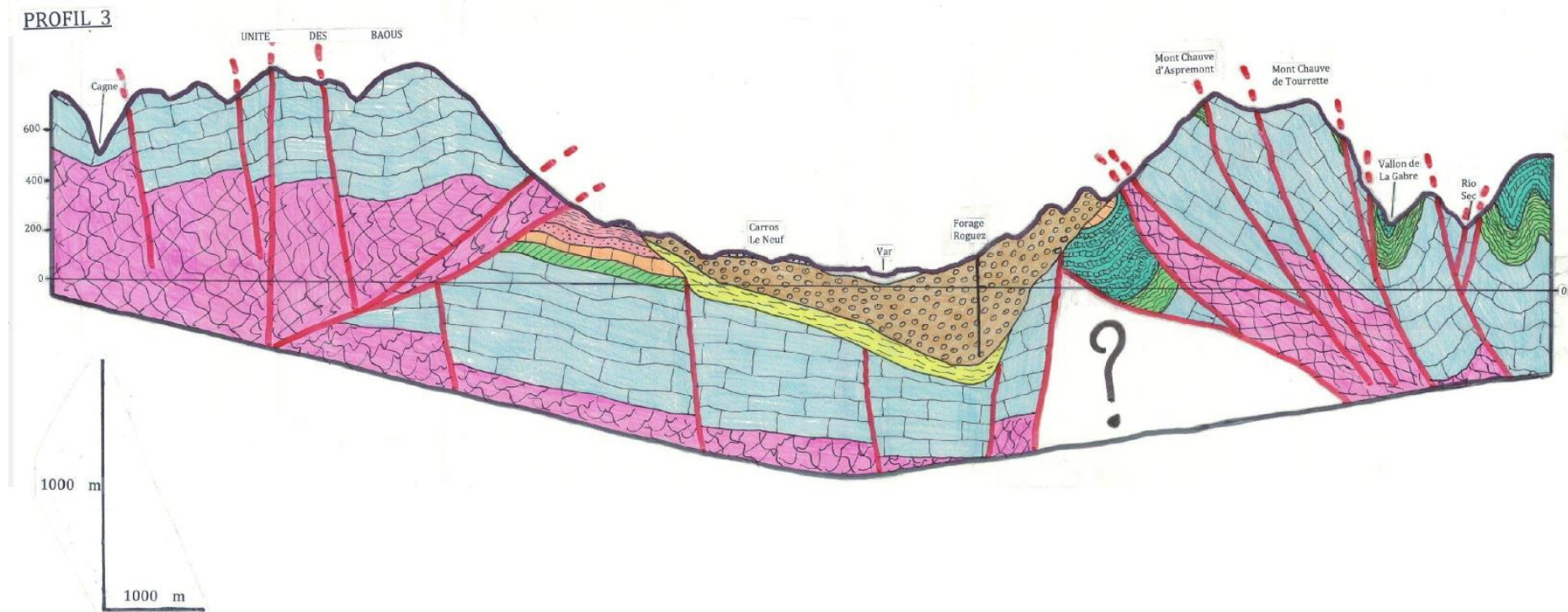


Figure 44 : Coupe géologique n°3 (cf. carte précédente) (source : /5/)

### 5.1.2 Contexte local au droit du seuil 7

Le contexte géologique local est basé sur les informations fournies par la Base de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM (figure ci-dessous). 14 forages avec des informations sur la géologie ont été recensés. Les profondeurs varient entre 8 m et 61 m.

La coupe géologique du forage BSS002FFQX situé à proximité du seuil est présentée en Figure 46.



Figure 45 : Localisation des sondages BSS par rapport au seuil 7

La description lithologique confirme l'hétérogénéité des alluvions composées de sables très fins à grossiers, de graviers et galets atteignant parfois la taille de 150 mm de diamètre.

Au droit de la Manda, des dépôts plus fins sableux sont reconnus au-delà de 20 m de profondeur sur une épaisseur comprise entre 10 et 25 m (source : /19/).

En rive droite, un seul sondage à proximité du seuil 7 atteint le substratum des alluvions, la formation des poudingues, à 29.5 m de profondeur.

D'après les données de la bibliographie, la perméabilité de cette formation est élevée avec une valeur  $10^{-2}$  m/s (source : /19/).



## 5.2 HYDROLOGIE DU VAR

### 5.2.1 Données hydrologiques

Le Var présente un régime hydrologique pluvial avec des crues importantes en période automnale. Au droit du pont de la Manda, le débit moyen interannuel est estimé à 52.2 m<sup>3</sup>/s tandis qu'en étiage son débit mensuel est de l'ordre de 27 m<sup>3</sup>/s.

Les données disponibles sont répertoriées sur le site Banque Hydro depuis 1975 pour les débits et depuis 1980 pour les hauteurs d'eau pour la station du Pont de la Manda (Y6442020).

Le graphique ci-après présente les débits journaliers disponibles du Var depuis 1975 et met en évidence l'absence de données sur une longue période entre 1985 et 2005.

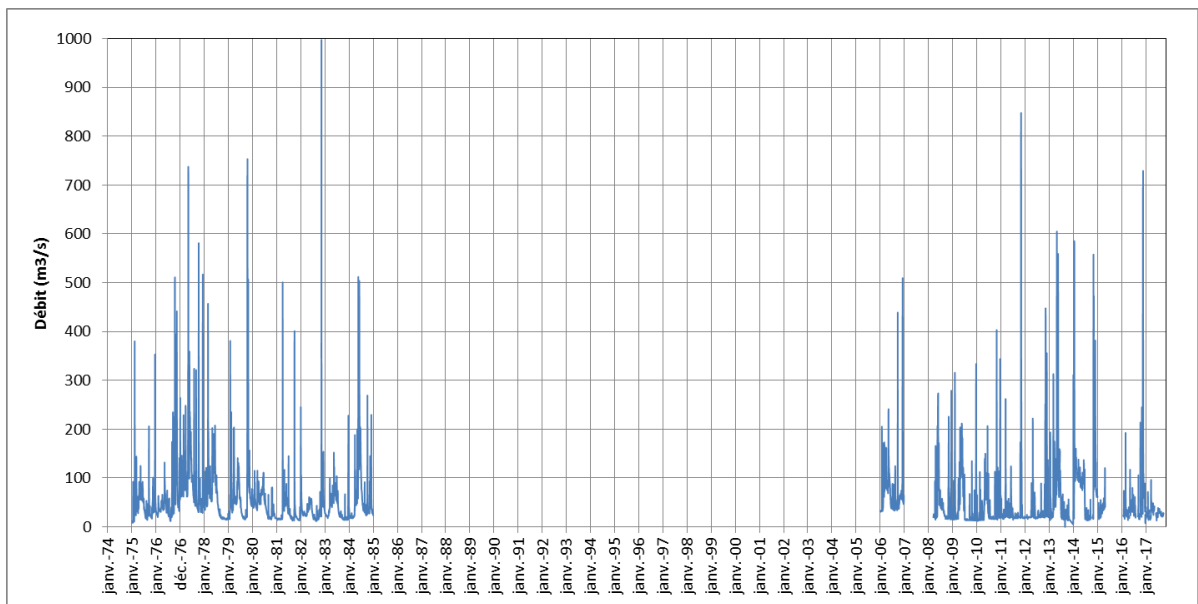


Figure 47 : Débits journaliers du Var au pont de la Manda (Banque Hydro)

### 5.2.2 Analyse du profil en long

L'historique des évolutions du Var, et en particulier l'évolution de son profil en long ont été présentés dans les chapitres précédents.

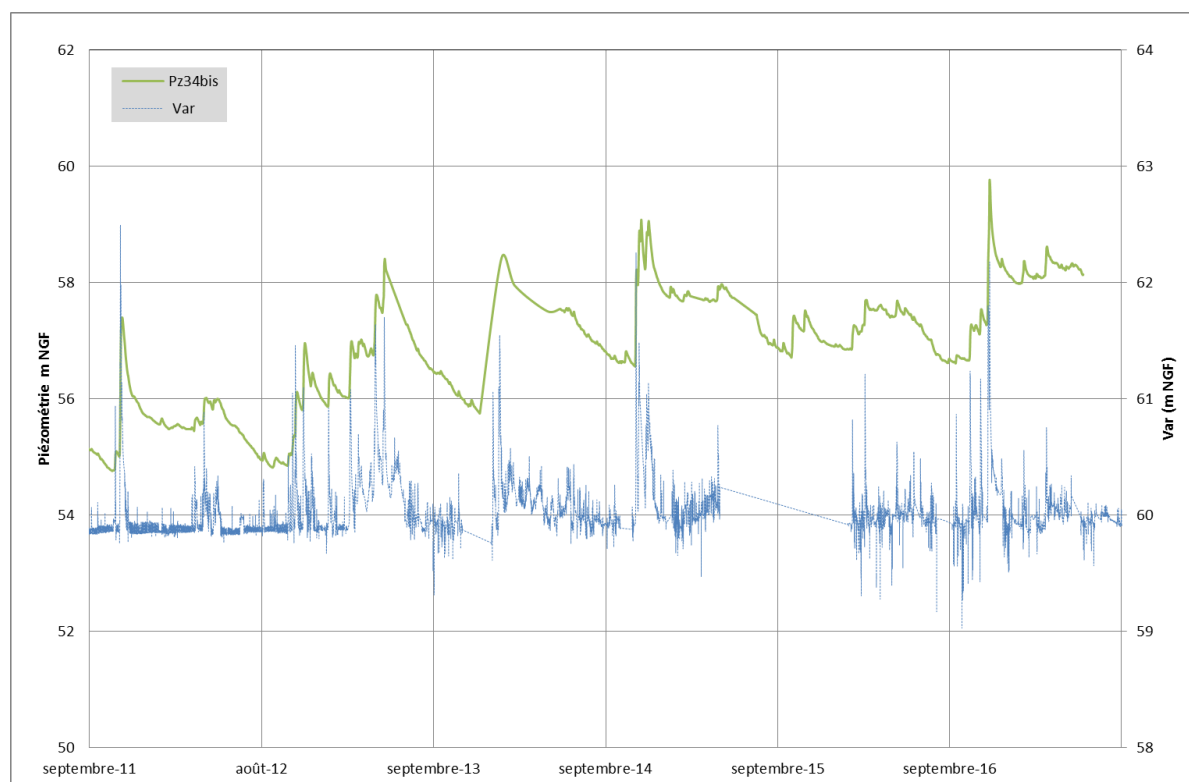
## 5.3 HYDROGEOLOGIE

### 5.3.1 Carte piézométrique

La nappe d'accompagnement du Var est directement corrélée au niveau d'eau du fleuve. Au droit du seuil 7, l'analyse de la chronique piézométrique Pz34bis (ou P34bis, voir situation sur la Figure 52) met clairement en évidence la forte réactivité de la nappe face aux variations du niveau d'eau du Var (figure ci-après).

D'autre part, les données piézométriques au droit du seuil indiquent que la nappe est toujours en position basse par rapport au niveau d'eau du fleuve. Le Var se trouve donc toujours en position d'alimenter l'aquifère.

Les travaux de Guglielmi (source : /19/) ont aussi montré que la nappe alluviale était alimentée par les aquifères voisins. Le secteur de la Manda est particulièrement marqué par ces arrivées d'eau depuis les Poudingues voisins affleurant.



**Figure 48 : Corrélation entre la piézométrie et la cote du Var**

Pour mieux comprendre les échanges nappe – rivière, plusieurs cartes piézométriques ont été établies sur la zone d'étude (source : /6/) :

- Mars 1973,
- Avril 1975,
- Octobre 1975,
- Octobre 1980,
- Octobre 1999,
- Novembre 2003 / février 2004 / novembre 2004,
- Septembre 2007.

Nous présentons ci-après la carte piézométrique de septembre 2007 qui correspond aux conditions hydrogéologiques les plus récentes reconnues au droit du seuil 7. Par contre, cette

carte ne permet pas de visualiser l'incidence de l'abaissement des seuils 9 et 10 sur l'écoulement souterrain. Cette analyse sera réalisée à partir des chroniques piézométriques disponibles<sup>1</sup>.

Le gradient de la nappe est variable et localement perturbé (1) par les seuils et (2) par les captages en eau potable recensés en rive droite du fleuve.

Au droit du seuil 7, les cotes piézométriques sont comprises entre 64 et 56 m NGF. Cette forte amplitude piézométrique est due à l'impact important du champ captant de la Manda situé près de Pz34bis.

On remarque aussi l'incidence sur la forme des isopièzes des plans d'eau créés en amont des seuils.

D'après les conclusions de Hydratec (source : /6/), le Var alimente la nappe alluviale sur le bief seuil 9 - seuil 10. En revanche, l'alimentation de la nappe alluviale par le fleuve n'a pas été démontrée à partir des mesures piézométriques de septembre 2007.

---

<sup>1</sup> Sur cette carte piézométrique, on remarquera que le piézomètre Pz34bis est mal placé (en amont du seuil 8 et non du seuil 7). L'interprétation faite ici est donc à prendre avec prudence.

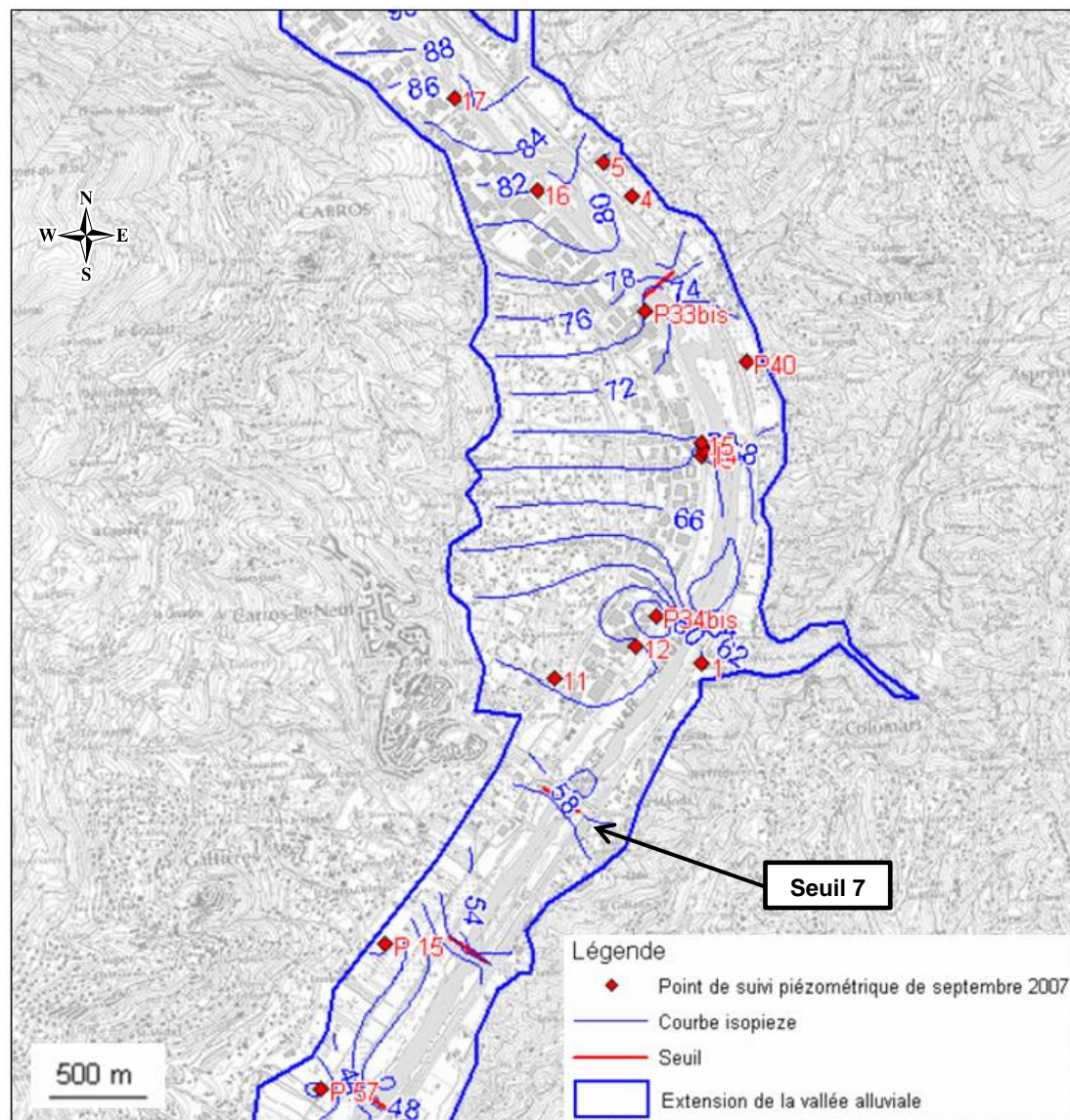


Figure 49 : Carte piézométrique de septembre 2007 (source : /6/)

### 5.3.2 Chronique longue à proximité du seuil 7 : Pz34bis

Le piézomètre Pz34bis est le plus proche du seuil 7. Il est localisé en rive droite à 65 m des berges du fleuve et en amont du seuil.

Le suivi piézométrique est disponible entre 1977 et 2004 (0) et entre 2008 et 2017 (0).

Nous ne disposons pas de mesure du niveau de la nappe lors de la création du seuil en 1972.

La chronique ancienne a été corrigée en raison d'une brusque baisse du niveau mesuré en 1982 qui a été attribuée à une erreur d'acquisition de mesure (source : /13/).

Les fluctuations saisonnières sont de l'ordre de 1 à 2 m, avec des crues exceptionnelles de l'ordre de plus de 3 m en automne 1993 et 2000.

Sur le long terme, l'évolution piézométrique met en évidence une baisse d'environ 4 m entre 1977 et 1989. Ensuite, le niveau se stabilise jusqu'en 2004. La baisse piézométrique est attribuée au

colmatage progressif du lit du fleuve par les limons en amont du seuil qui a diminué les échanges entre le Var et l'aquifère.

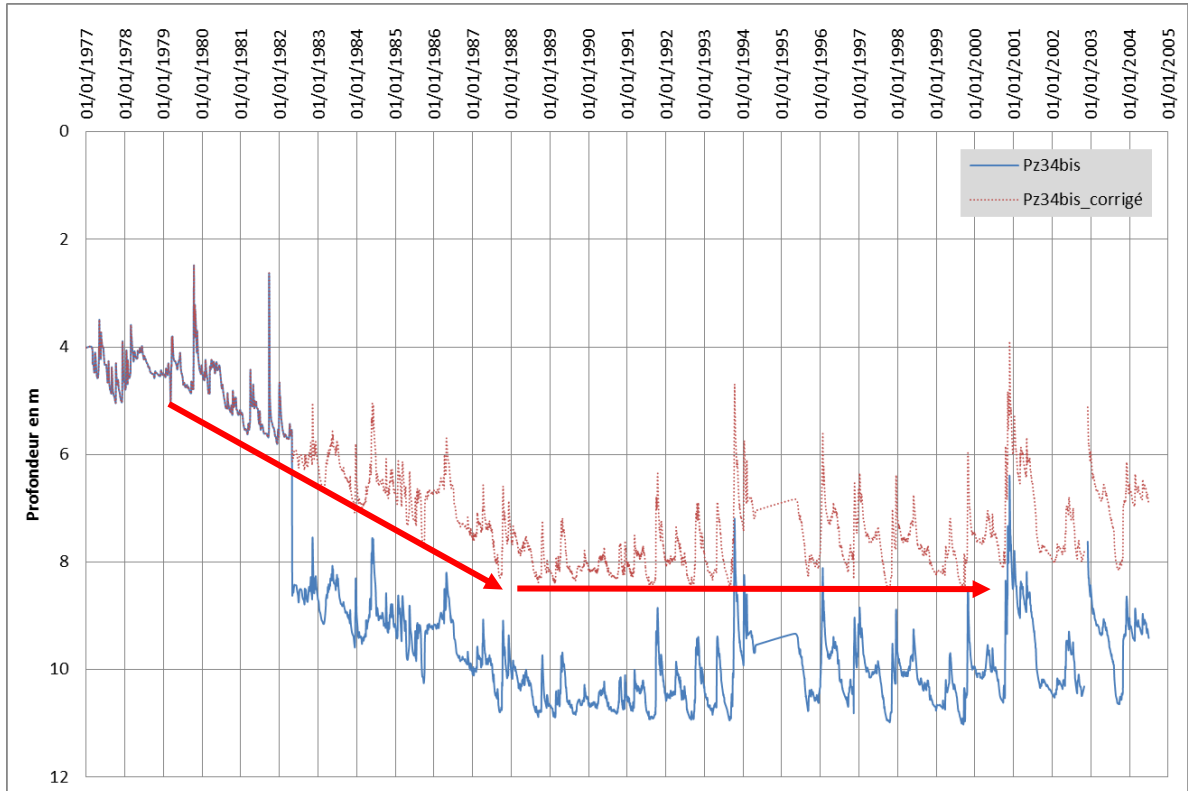


Figure 50 : Suivi piézométrique Pz34bis de 1977 à 2004 (BRGM)

Les données piézométriques depuis 2008 montrent une augmentation d'environ 2 m à partir de la fin 2012 avec un début de stabilisation depuis 2016.

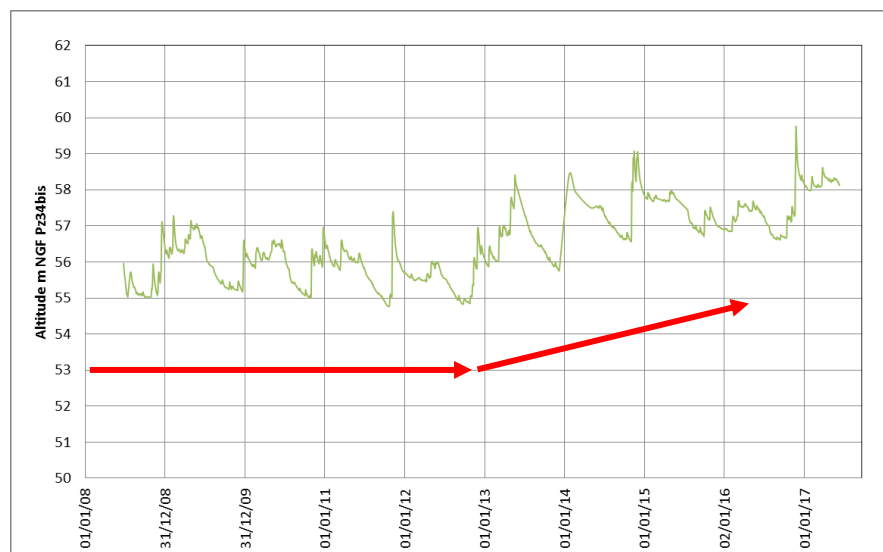


Figure 51 : Chronique piézométrique Pz34bis de 2008 à 2017 (ADES)

Cette hausse n'est pas provoquée par l'abaissement des seuils 9 et 10. Comme le montre les profils en long disponibles, les cotes de l'eau du Var ne sont pas impactées (ou peu) par les travaux sur ce secteur.

Cette remontée est intervenue suite à une opération de restauration du milieu aquatique menée par le Département en amont immédiat du pont de la Manda en 2013 et 2014 avec des opérations de dévégétalisation et désagrégation de bancs de limons (source : /1/).

### **5.3.3 Prélèvements au sein de l'aquifère alluvial**

La nappe alluviale de la basse vallée du Var est une ressource facilement accessible qui est exploitée pour de nombreuses activités : domestiques, agricoles, industrielles et pour l'alimentation en eau potable (AEP).

#### **5.3.3.1 PRELEVEMENTS POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE**

Le champ captant de la Manda est situé à 450 m en amont du seuil 7. Il est aujourd'hui géré par la Société du Canal de la Rive Droite du Var (voir figure suivante).

Le champ captant de la Manda est en service depuis 1924. Le volume maximal de prélèvement autorisé est de l'ordre de 700 m<sup>3</sup>/h soit 6,1 Mm<sup>3</sup>/an. Le volume moyen prélevé est de 4,8 Mm<sup>3</sup>/an et d'après le rapport du SMIAGE (source : /1/), le volume prélevé en 2016 a été estimé à 5.5 Mm<sup>3</sup>.

Il est constitué de 4 puits dont les profondeurs sont comprises entre 12.5 et 18.2 m. Ces ouvrages captent donc la nappe alluviale.

Chaque puits est équipé d'une pompe immergée sous 8 à 10 m de colonne d'eau et d'une capacité de pompage de 300 m<sup>3</sup>/h (source : /6/).

Le captage du Roguez est situé sur la rive gauche du Var en amont immédiat du seuil 8, soit 1,3 km en amont du seuil 7. Ce captage est une prise d'eau de surface de secours. En 2016 seulement 300 m<sup>3</sup> ont été prélevés (source : /1/).



Figure 52 : Prélèvements AEP à proximité du seuil 7

Tableau 4 : Informations sur le champ captant de la Manda (situé à Carros) (source : /6/)

| NOTATION | X (L3S) | Y (L3S) | Z EN M | TYPE D'OUVRAGE | PROFONDEUR DE L'OUVRAGE EN M | COTE ALTIMETRIQUE DE LA CREPINE DE LA POMPE EN M              | DATE DE REALISATION | VOLUME ANNUEL MOYEN                               | VOLUME AUTORISE                                  | DATE DE L'AUTORISATION | CARACTERISTIQUES DE L'AQUIFERE CAPTE                       |
|----------|---------|---------|--------|----------------|------------------------------|---|---------------------|---|--|------------------------|--|
| Ma-F1    | 991583  | 174827  | 66.7   | Puits          | 14.6                         | Pompe immergée (300 m <sup>3</sup> /h) à 13.5 m de profondeur | 1924                | 4 800 000 m <sup>3</sup> (moyenne de 2003 à 2006) | 700 m <sup>3</sup> /h<br>6.1 Mm <sup>3</sup> /an | 28/02/1990             | Nappe libre unique<br>T=0.2 m <sup>2</sup> /s<br>S=2 à 6 % |
| Ma-F2    | 991602  | 174885  | 67     | Puits          | 12.5                         |   | 1926                |   |  |                        |  |
| Ma-F3    | 991629  | 174851  | 66     | Puits          | 16.5                         |   | 1953                |   |  |                        |  |
| Ma-F4    | 991448  | 174587  | 64.7   | Puits          | 18.2                         |   | 1965                |   |  |                        |  |

### 5.3.3.2 PRELEVEMENTS INDUSTRIELS ET AGRICOLES

D'après les données de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (RMC), quelques forages industriels pompent aussi dans l'aquifère superficiel pour les besoins de leurs process industriels. Tous les forages sont déclarés sur la commune de Carros. Le volume total de 27 900 m<sup>3</sup> (en 2015) est nettement inférieur aux prélèvements AEP.

Au droit du champ captant de la Manda, une partie de l'eau pompée est aussi utilisé pour l'irrigation : en 2015 les volumes prélevés ont été de 2.4 Mm<sup>3</sup> pour l'AEP et 1.63 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation (voir tableau suivant).

**Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var**

RAPPORT DEFINITIF

Aucun prélèvement n'est déclaré au sein des alluvions quaternaires sur les communes de Gattières et de Colomars.

**Tableau 5 : Prélèvements déclarés auprès de l'Agence de l'Eau RMC en 2015**

| Code_Point_Prélèveme | Nom_ouvrage_prélèvement                                 | Volume_Ca | libelle_mode_determination_volun | libelle_Type_usa    | Nom_Commune | libellé_masse_eau            |
|----------------------|---|-----------|----------------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|
| 106033003            | 4 FORAGES EN NAPPE ALLUVIALE DU VAR-CARROS LE NEUF      | 1630.6    | Fictif - Mesure                  | Irr. non gravitaire | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033117            | FORAGE EN NAPPE ACC PUIITS N°3 - VIRBAC 3               | 0.4       | Volumétrique - Mesure            | Autre usage éco.    | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033136            | FORAGE  | 11.1      | Volumétrique - Mesure            | Autre usage éco.    | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033116            | FORAGE EN NAPPE ACC PUIITS N°2 - DIRECTION & BIO 1      | 3.3       | Volumétrique - Mesure            | Autre usage éco.    | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033115            | FORAGE EN NAPPE ACC PUIITS N°1 - DIRECTION & BIO 1      | 13.1      | Volumétrique - Mesure            | Autre usage éco.    | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033003            | 4 FORAGES EN NAPPE ALLUVIALE DU VAR-CARROS LE NEUF      | 2407.5    | Volumétrique - Mesure            | Eau potable         | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033051            | CHAMP CAPTANT DES PLANS A CARROS/NAPPE ALLUVIALE DU VAR | 229.6     | Volumétrique - Mesure            | Eau potable         | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |
| 106033051            | CHAMP CAPTANT DES PLANS A CARROS/NAPPE ALLUVIALE DU VAR | 98.9      | Horaire - Mesure                 | Eau potable         | CARROS      | Alluvions du Var et Paillons |

**5.3.3.3 PRELEVEMENTS DOMESTIQUES**

De nombreuses habitations de la basse vallée du Var sont équipées de forage et utilisent les eaux souterraines pour l'irrigation des jardins, d'après le SMIAGE (source : /1/). Le positionnement de ces forages et les volumes prélevés ne sont pas connus avec précision mais l'estimation est 630 000 m<sup>3</sup>/an pour l'ensemble de la basse vallée du Var.

**5.4 RETOUR D'EXPERIENCE SUR L'ABAISSSEMENT DES SEUILS 9 ET 10****5.4.1 Nature des travaux**

Dans le but de permettre une remontée du niveau piézométrique de la nappe d'accompagnement du Var, le Comité technique de la plaine du Var a mis en place des seuils. Le seuil 7 en décembre 1972, le seuil 10 en mars 1979 et le seuil 9 en mars 1980.

Plus récemment, afin d'accélérer le processus de transport solide vers l'aval du fleuve, des travaux d'abaissement des seuils 9 et 10 ont été réalisés (cf. chapitre 4) :

- Pour le seuil 9 en octobre 2011 avec un abaissement de 2 m,
- Pour le seuil 10 entre juillet et octobre 2013 avec un abaissement de 1.5 m.

**Tableau 6 : Cotes des seuils avant et après abaissement**

| Seuils   | Cote seuil (origine)<br>(m NGF) | Cote moyenne après abaissement<br>(m NGF) | Cote minimum après abaissement<br>(m NGF) |
|----------|---------------------------------|---|---|
| Seuil 9  | 71.59                           | 69.59                                     | 69.09                                     |
| Seuil 10 | 77.48                           | 75.98                                     | 75.48                                     |

## **5.4.2 Incidence sur la nappe**

### **5.4.2.1 INCIDENCE THEORIQUE DE L'ABAISSMENT D'UN SEUIL**

L'abaissement d'un seuil va créer, avec le retour des graviers, une augmentation de la pente hydraulique et donc la capacité de transport du fleuve. Cela va permettre le décapage des limons qui avaient colmatés le lit du fleuve en amont du seuil (par effet de « plan d'eau ») et un apport de sédiments plus grossiers.

Ces travaux devraient induire un abaissement de la ligne d'eau du Var ainsi qu'une augmentation des échanges fleuve-nappe, due à l'apport de sédiments plus grossiers que les limons (source : /13/).

En théorie, la suppression d'un seuil entraîne une diminution rapide du niveau piézométrique en amont du seuil, puis au bout de 1 à 3 ans le niveau de la nappe va se stabiliser à un niveau piézométrique inférieur au niveau initial. En amont du bief, le niveau piézométrique va augmenter rapidement et ensuite se stabiliser à une élévation supérieure au niveau initial.

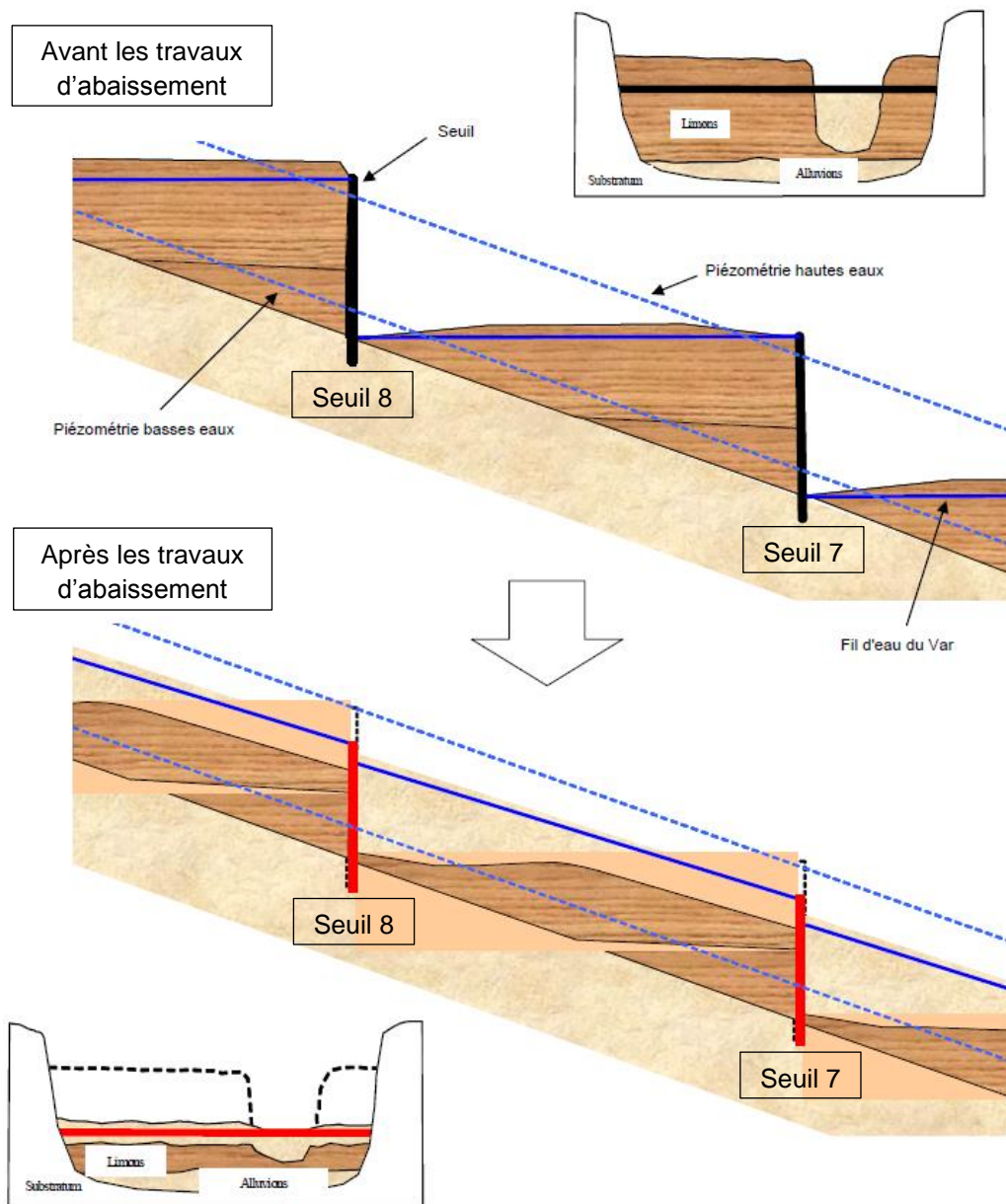


Figure 53 : Schématisation de l'évolution du lit du Var avant et après abaissement des seuils, cas des seuils 8 et 7 (source : /13/)

#### 5.4.2.2 ANALYSE DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES

##### 5.4.2.2.1 Données disponibles

L'incidence des travaux d'abaissement des seuils sur la nappe alluviale est évaluée à partir de l'analyse des chroniques piézométriques.

Les données existantes sont issues du réseau ADES. 8 piézomètres ont été répertoriés autour du seuil 7.

Tableau 7 : Piézomètres de la nappe alluviale du Var (données ADES)

| Commune     | Désignation           | X<br>(WGS84) | Y<br>(WGS84) | Z<br>(m NGF) |
|-------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Carros      | Pz10 amont            | 7.209803     | 43.790372    | 79           |
| Carros      | Pz10 aval             | 7.211283     | 43.788914    | 79           |
| Carros      | P33 bis               | 7.208782     | 43.786788    | 76.17        |
| Castagniers | Pz40                  | 7.217690     | 43.786135    | 75           |
| Carros      | Pz9 amont             | 7.214048     | 43.783028    | 72           |
| Carros      | Pz9 aval              | 7.214259     | 43.781506    | 75           |
| Carros      | Pz34 bis AEP la Manda | 7.202659     | 43.766673    | 64.9         |
| Gattières   | Pz15                  | 7.190119     | 43.757832    | 53.66        |
| Gattières   | P57                   | 7.186063     | 43.750792    | 51.7         |

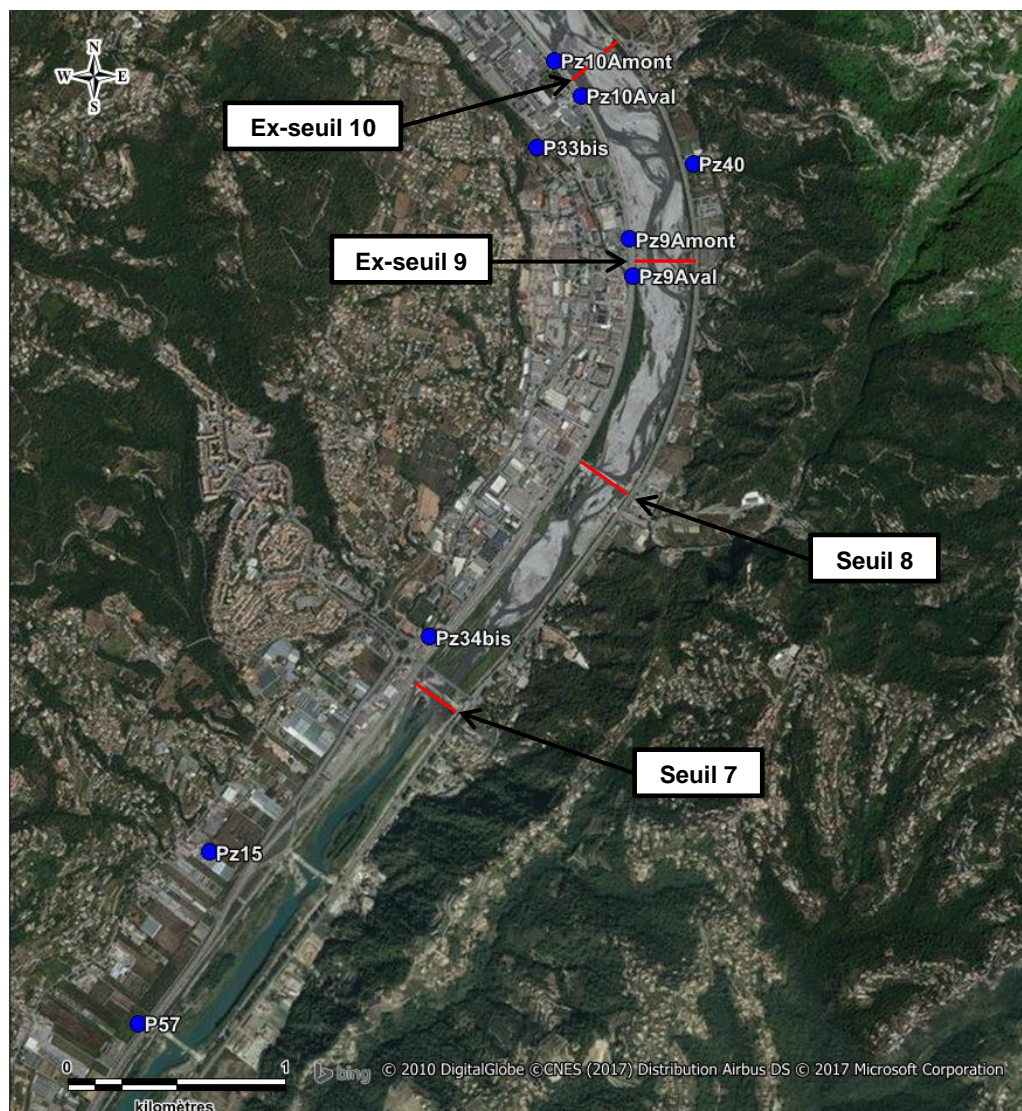
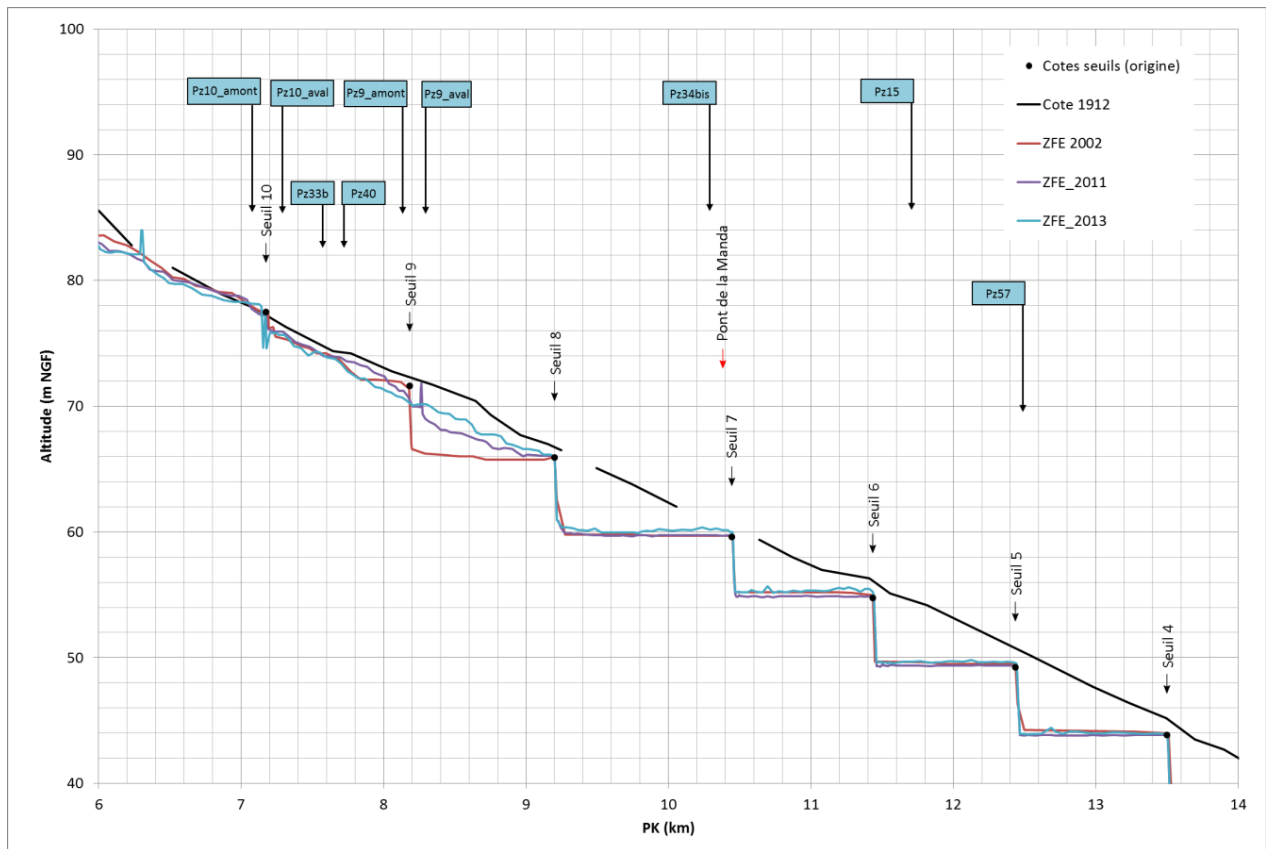


Figure 54 : Localisation des piézomètres et des seuils



**Figure 55 : Position des piézomètres sur le profil en long du Var**

Les Figure 56 à Figure 64 représentent le suivi piézométrique sur la période 2008-2017 depuis l'amont hydraulique vers l'aval.

#### 5.4.2.2.2 Analyse des données

Le **piézomètre Pz10 Amont** est implanté à l'amont de l'ex-seuil 10. Ce piézomètre n'a pas été impacté par l'abaissement du seuil 9 en 2011. L'abaissement du seuil 10 en 2013 semble entrainer une diminution d'environ 1 m de la cote piézométrique jusqu'en novembre 2015, puis le niveau semble se stabiliser à un niveau inférieur au niveau d'eau avant l'abaissement (environ 60 cm de perdu).

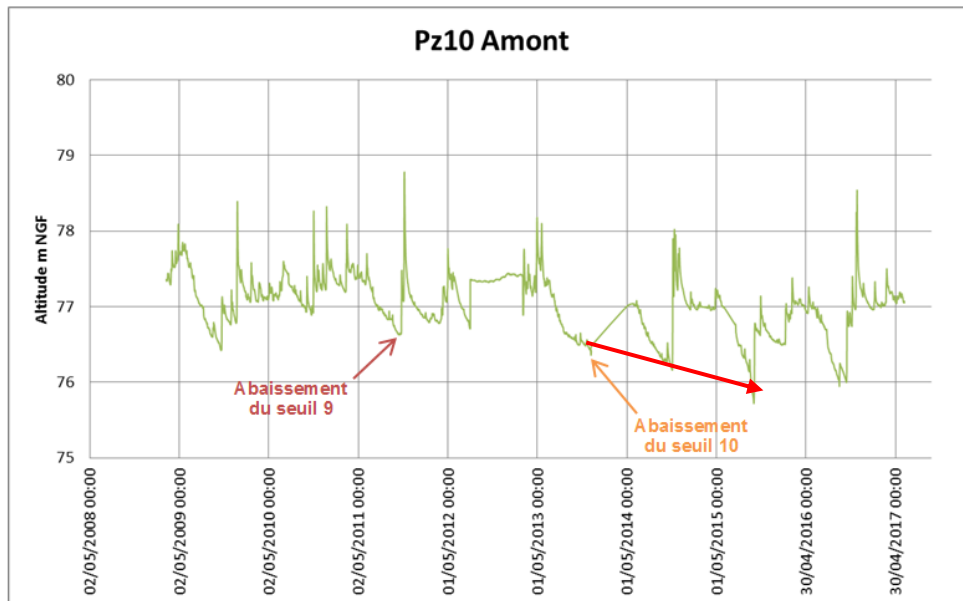


Figure 56 : Suivi piézométrique de Pz10 Amont

Le **piézomètre Pz10 Aval** est implanté à l'aval de l'ex-seuil 10. Sa chronique piézométrique est partielle. Les données disponibles ne mettent pas en évidence un impact de l'abaissement des seuils sur la nappe.

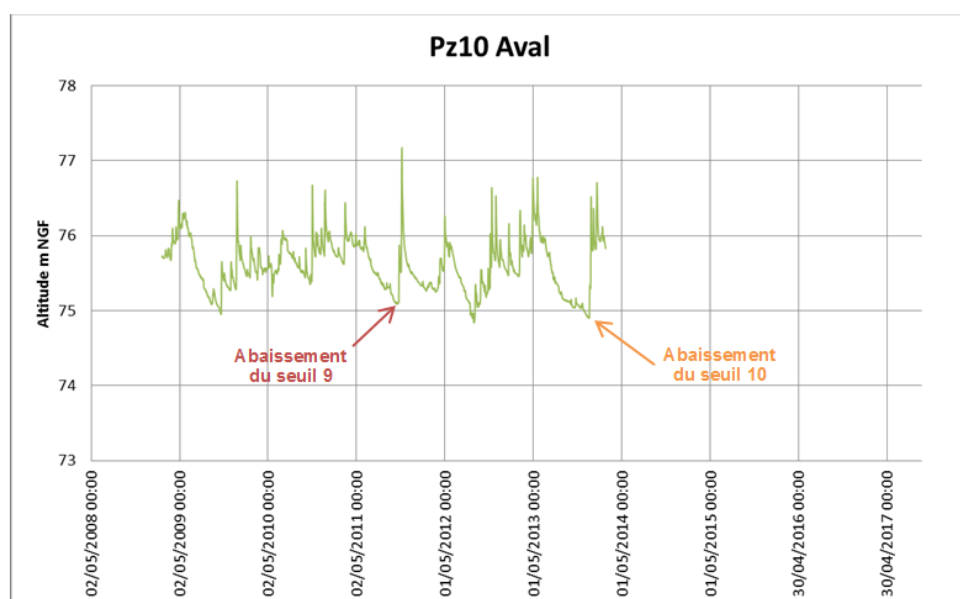


Figure 57 : Suivi piézométrique de Pz10 Aval

Le **piézomètre Pz33bis** est implanté en aval de l'ex-seuil 10 et en amont de l'ex-seuil 9. L'abaissement du seuil 9 ne semble pas avoir impacté le niveau piézométrique. Une légère baisse du niveau d'étiage est observée après les travaux d'abaissement sur le seuil 10. Etant plus éloigné du fleuve, ce piézomètre est moins sensible aux modifications de la ligne d'eau du Var.

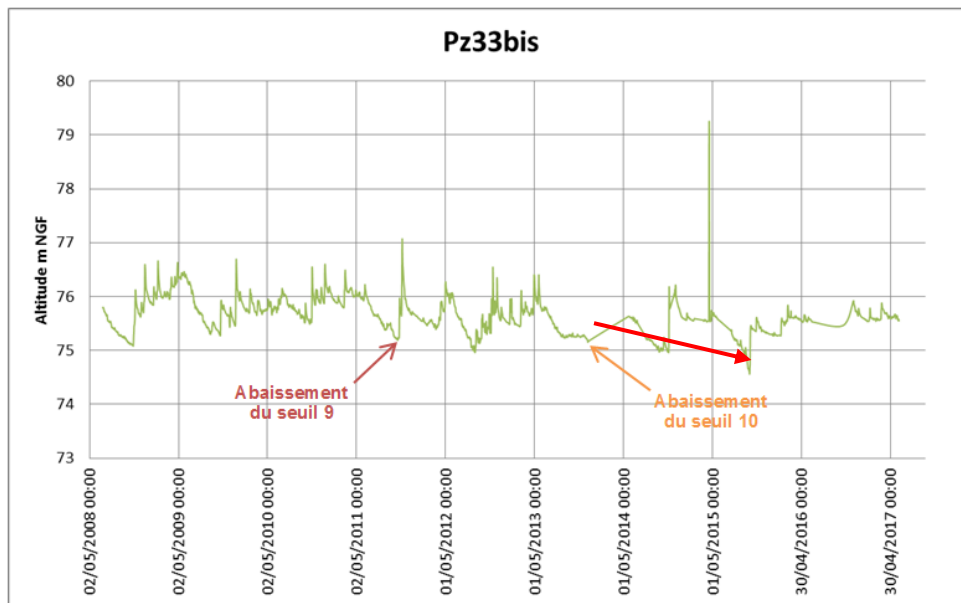


Figure 58 : Suivi piézométrique de Pz33bis

Le **piézomètre Pz40** est aussi implanté en aval de l'ex-seuil 10 et en amont de l'ex-seuil 9. D'après la chronique, ce piézomètre n'a pas été impacté par les travaux d'abaissement des seuils 9 et 10.

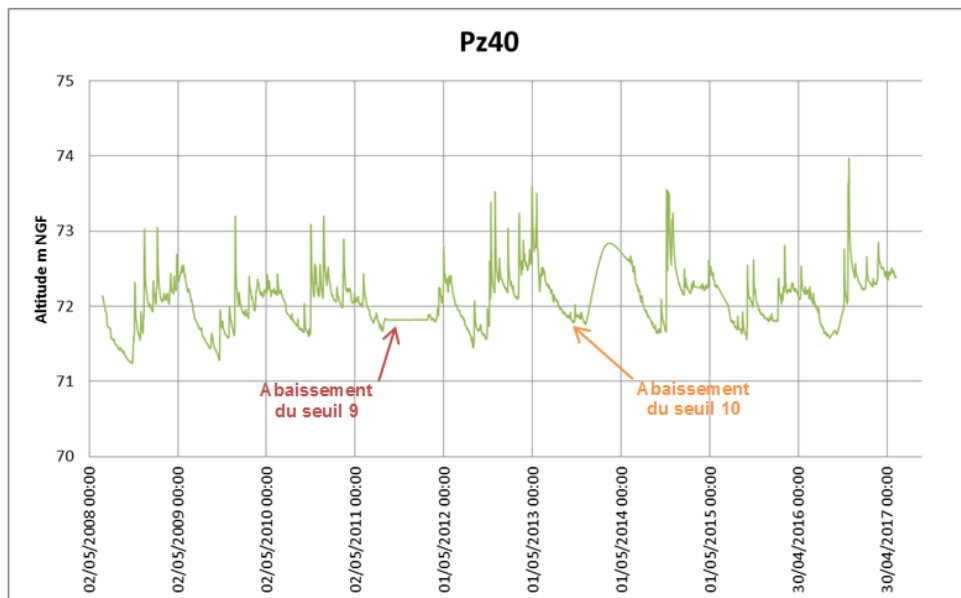


Figure 59 : Suivi piézométrique de Pz40

Le piézomètre Pz9 Amont est implanté juste en amont de l'ex-seuil 9. Aucun impact de l'abaissement des seuils 9 et 10 n'est visible sur la chronique piézométrique.

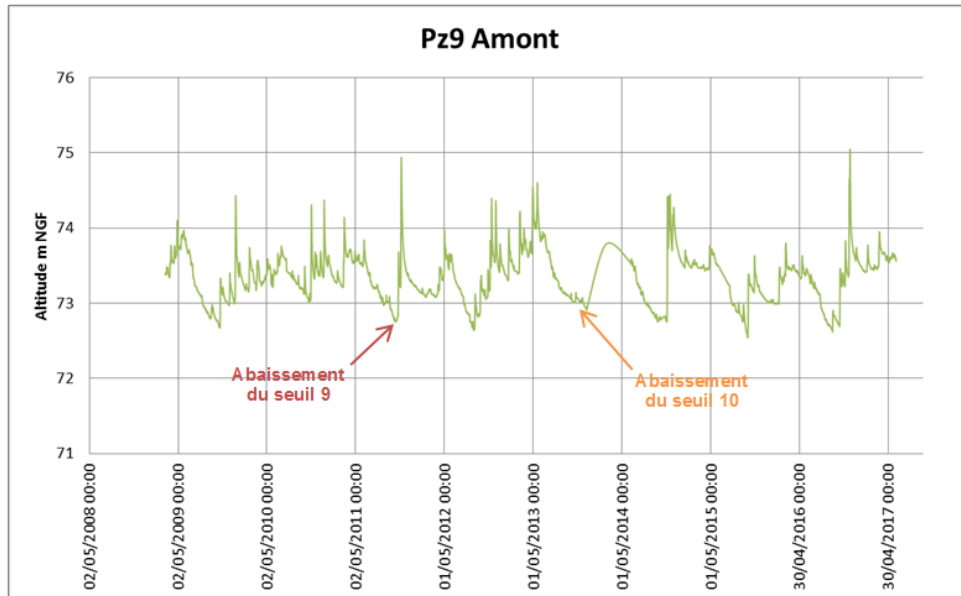


Figure 60 : Suivi piézométrique de Pz9 Amont

Le piézomètre Pz9 Aval est implanté juste en aval de l'ex-seuil 9. L'abaissement du seuil 9 a engendré une élévation de presque 1 m de la nappe. Le niveau de la nappe est stabilisé depuis octobre 2014.

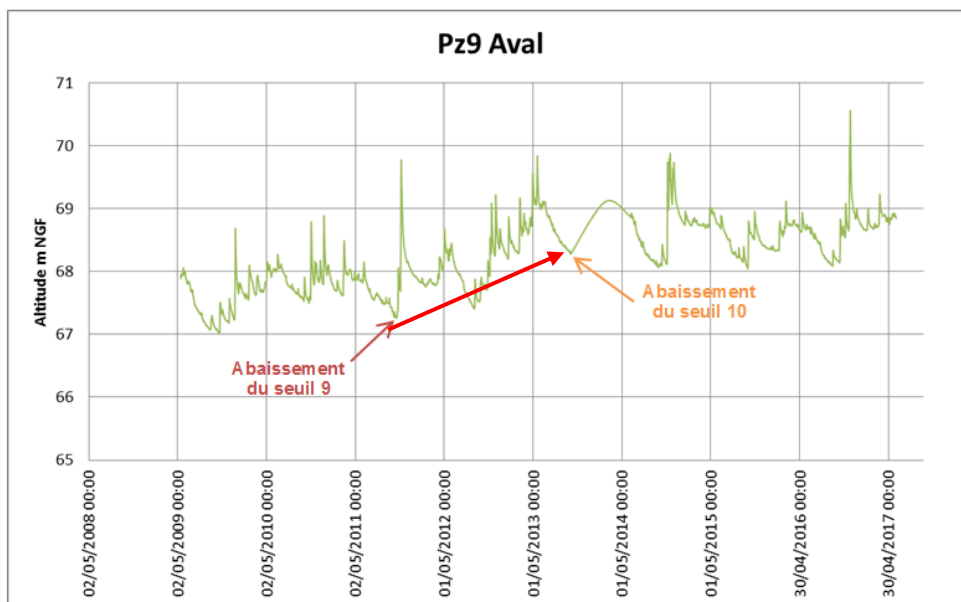


Figure 61 : Suivi piézométrique de Pz9 Aval

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

Le **piézomètre Pz34bis** est implanté juste en amont du seuil 7. Une nette augmentation piézométrique d'environ 2 m est observée entre 2013 et 2014 puis le niveau se stabilise jusqu'à aujourd'hui.

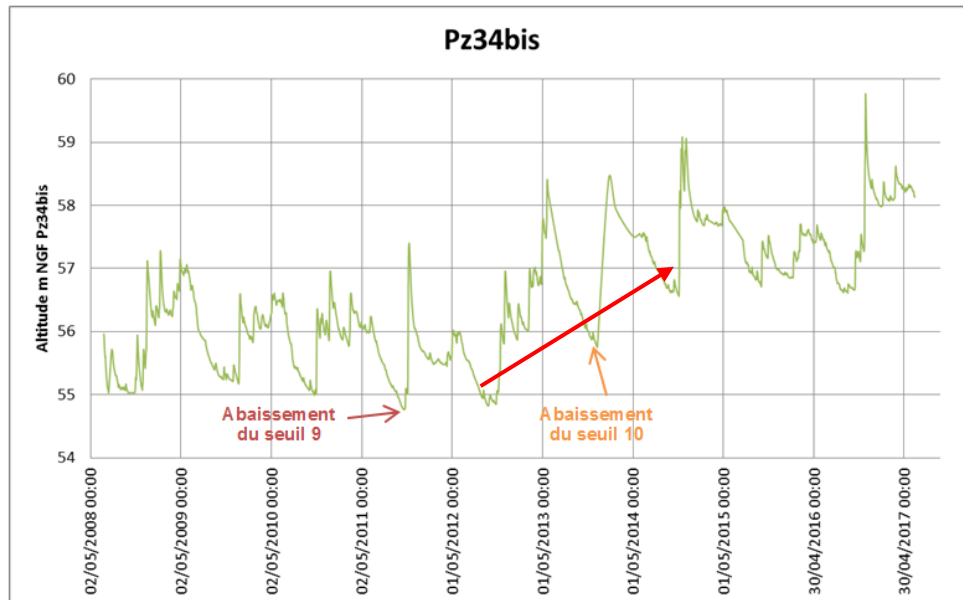


Figure 62 : Suivi piézométrique de Pz34bis

Le **piézomètre Pz15** est implanté en aval du seuil 6. D'après la chronique, ce piézomètre n'a pas été impacté par les travaux d'abaissement des seuils 9 et 10.

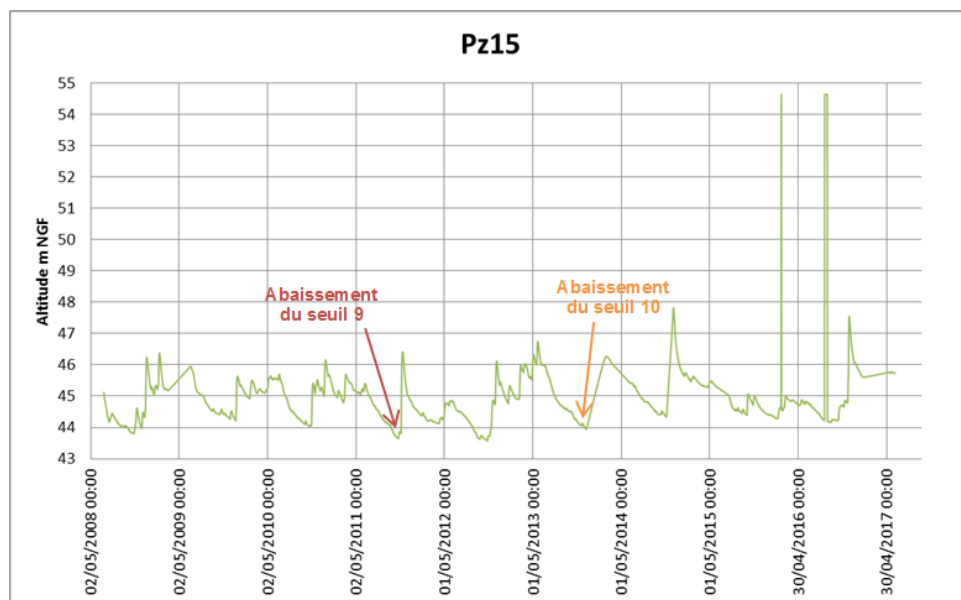
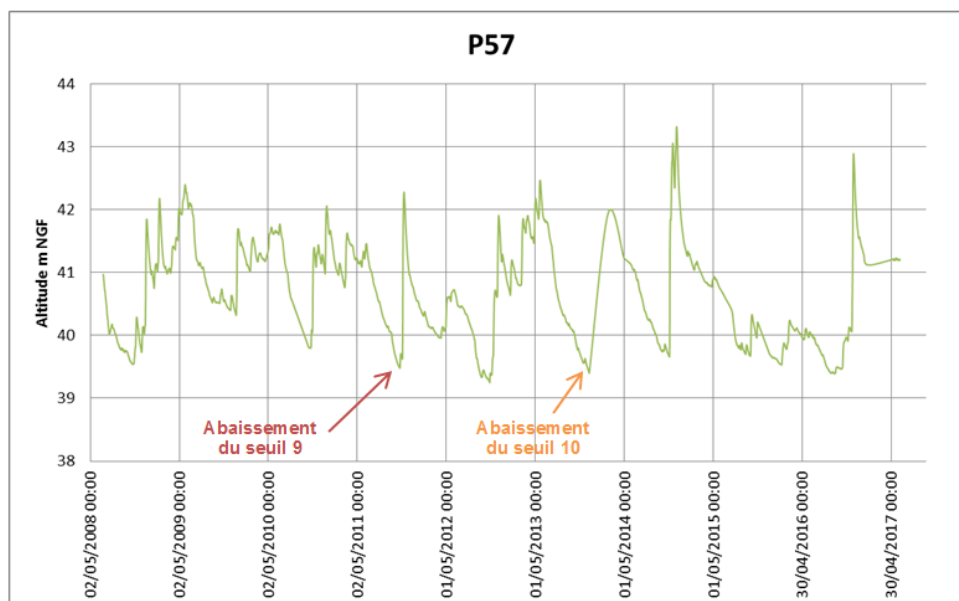


Figure 63 : Suivi piézométrique de Pz15

Le **piézomètre P57** est implanté au droit du seuil 5. Aucun impact des travaux d'abaissement des seuils 9 et 10 ne sont visibles sur la chronique piézométrique de P57.



**Figure 64 : Suivi piézométrique de P57**

Le tableau ci-dessous synthétise l'impact observé sur la nappe alluviale des travaux d'abaissement des seuils 9 et 10. Cet impact est très similaire à l'évolution du profil en long du fil d'étiage du fleuve sur la même période.

**Tableau 8 : Synthèse des évolutions piézométriques entre l'amont du seuil 10 et le seuil 5 depuis l'abaissement des seuils 9 et 10**

| <i>Désignation</i> | <i>Variation piézométrique</i> | <i>remarques</i>  |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Pz10 amont         | -1 m                           | Incidence des travaux abaissement S9 & S10                      |
| Pz10 aval          | stable                         |   |
| P33 bis            | stable                         |   |
| Pz40               | stable                         |   |
| Pz9 amont          | stable                         |   |
| Pz9 aval           | + 1 m                          | Incidence des abaissements S9 & S10                             |
| Pz34 bis           | +2 m                           | Renaturation des rives<br>Pas d'incidence abaissements S9 & S10 |
| Pz15               | stable                         |   |
| P57                | stable                         |   |

## 5.5 CAS DU SEUIL 7

Lors de l'étude des incidences de l'abaissement des seuils 10 à 7 en 2005 (référence /13/), SOGREAH a réalisé un modèle hydrogéologique pour évaluer l'impact des travaux sur la nappe alluviale. Les hypothèses simulées d'abaissement du profil en long du Var étaient les suivantes :

**Tableau 9 : hypothèses d'abaissement des seuils dans le modèle hydrogéologique de 2005**

| Seuil | Abaissement |
|-------|-------------|
| S10   | 1.5 m       |
| S9    | 2.11 m      |
| S8    | 1.5 m       |
| S7    | 1.93 m      |

Ces hypothèses sont toujours en accord avec les travaux déjà réalisés (S9 : abaissement moyen de 2.0 m ; et S10 : abaissement moyen d'1.5 m) et ceux envisagés (S8 et S7).

En outre, l'hypothèse de la pente d'engravement du lit était fixée à 0.52 %, valeur intermédiaire entre la pente projetée entre seuil par l'étude de 2003 (0.5 %, référence /14/) et les pentes aujourd'hui observées (0.50 à 0.53 % du seuil 9 à la partie engravée du seuil 7).

L'exploitation des résultats des scénarios simulés en 2005 est donc toujours possible.

Ainsi, il a été montré avec le modèle que l'abaissement cumulé des seuils 10 à 7 associé au retour des graviers devrait entraîner en amont du seuil 7 :

- Une remontée de la nappe de l'ordre de +1.5 à +2 m, en conditions de basses eaux (0),
- Un exhaussement de la nappe de +1.5 à +2 m, en conditions de piézométrie moyenne (0),
- Une remontée de +2 m de la nappe, en conditions de hautes eaux (0).

Ces ordres de grandeurs ont été confirmés lors l'étude de vulnérabilité de la nappe alluviale du Var (Hydratec, 2009) où seul l'impact de l'abaissement des seuils 10 à 8 a été simulé grâce à un modèle hydrogéologique. Au droit du champ captant de la Manda, ils estiment alors la remontée piézométrique à environ +2.7 m.

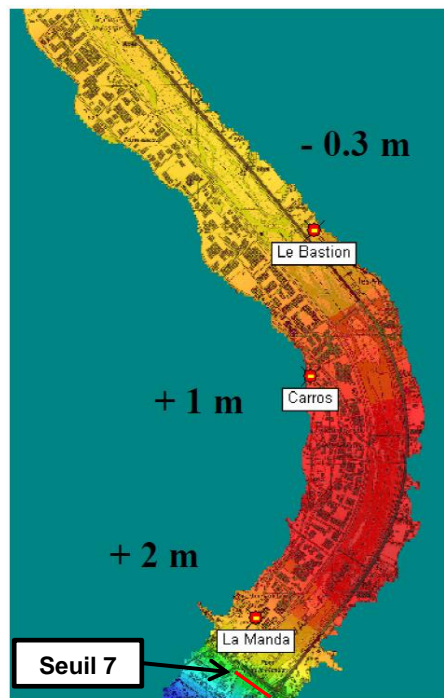


Figure 65 : Estimation quantitative de l'impact des travaux sur la piézométrie en période de basses eaux (source : /13/)

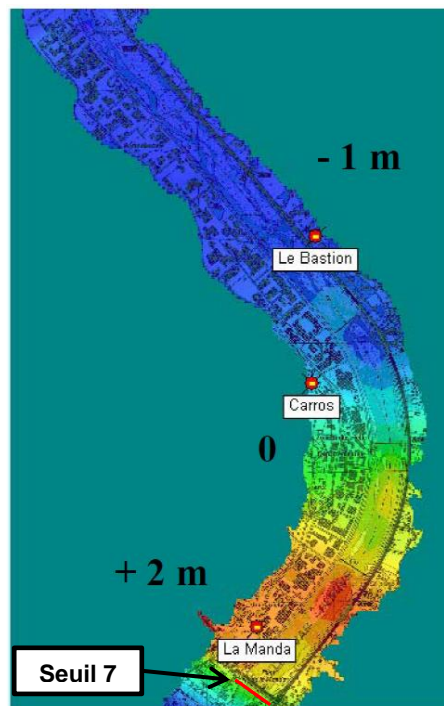
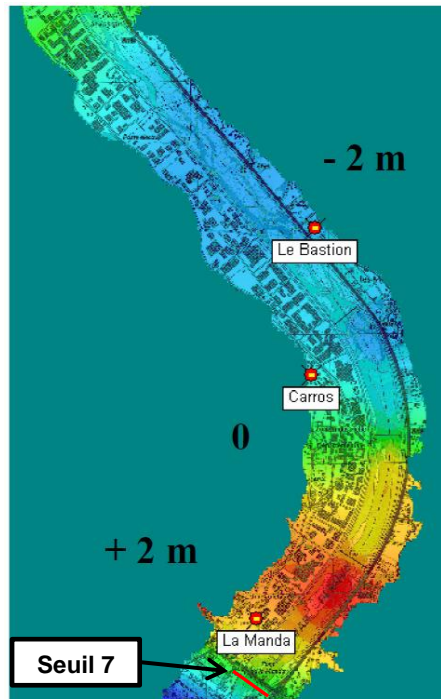


Figure 66 : Estimation quantitative de l'impact des travaux sur la piézométrie moyenne (source : /13/)

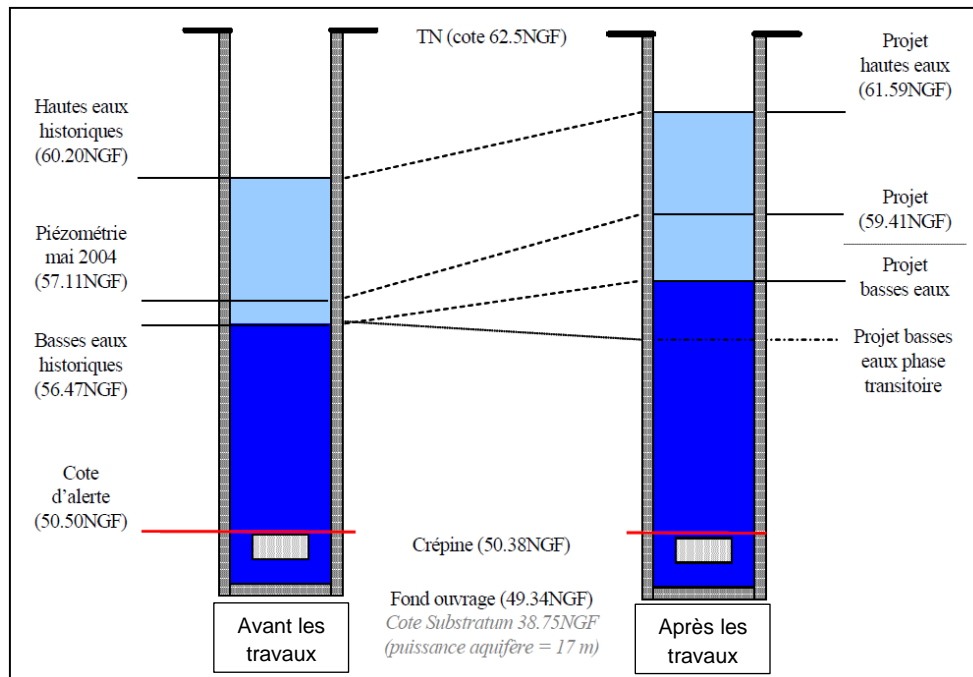


**Figure 67 : Estimation quantitative de l'impact des travaux sur la piézométrie en période de hautes eaux (source : /13/)**

Au droit du seuil 7, depuis les travaux de restauration du lit du Var en 2013 – 2014 (dévégétalisation et désagrégation de bancs de limons), la nappe alluviale se trouve entre 5 et 8.5 m de profondeur sous le sol. La remontée piézométrique induite par l'abaissement du seuil et le retour des graviers, d'environ 2 m, ne devrait donc pas provoquer un risque d'affleurement de la nappe (situation piézométrie moyenne).

Concernant l'incidence théorique des travaux sur les puits de la Manda, l'abaissement du seuil ne devrait pas réduire les possibilités d'exploitation des puits. En effet, le risque de dénoyage des crépines ou des pompes immergées ne sera pas accentué par les travaux. La remontée piézométrique devrait au contraire favoriser la réalimentation de la nappe et le ré-engravement du lit devrait aussi augmenter les surfaces d'échanges entre eaux de surface / eaux souterraines (0).

Les niveaux piézométriques autour du seuil 7 devront être surveillés afin de prévenir le risque d'affleurement de la nappe au droit de structures enterrées lors de crues significatives du Var (caves, sous-sols...).



**Figure 68 : Captages de la Manda : estimation de l'impact des travaux sur la piézométrie (source : /13/)**

Certains parkings, en rive droite du Var, sont déjà sensibles au risque de remontée de nappe. Un renforcement (ou une création) de dispositifs adaptés (pompages) pourra s'avérer nécessaire. Il est difficile d'être plus précis sur ce thème, ne disposant pas d'informations sur les ouvrages concernés.

## 6 CONCEPTION ANTERIEURE DU PROJET D'ABAISSEMENT

### 6.1 ETUDES D'AMENAGEMENT DE LA TREMIE DE LA MANDA

L'aménagement de la trémie de la Manda, ses principes et les travaux réalisés, ont été décrits au paragraphe § 3.3.

Les études menées (références /12/ à /9/) abordaient également la phase définitive de la configuration du lit, c'est-à-dire avec retour des graviers et abaissement du seuil 7.

L'objet du présent paragraphe est donc d'exposer les principes de ces aménagements, à quelle configuration ils étaient associées et de présenter leurs caractéristiques et leur phasage de réalisation.

#### 6.1.1 Présentation synthétiques des aménagements prévus et de leur principe

##### 6.1.1.1 RECEPAGE DU SEUIL 7

Il était prévu être réalisé sur l'ensemble de la partie non recépé en 2007, à une cote de 57.95 m NGF. **Cet abaissement implique donc la suppression de la microcentrale et de sa voie d'accès.**

##### 6.1.1.2 PROTECTIONS CONTRE LES AFFOUILLEMENTS DU PONT DE LA MANDA

Pour les piles P2 et P3, l'APS prévoyait une protection en enrochements autour des appuis. Ces protections étaient identiques pour chacune des piles (y compris la P1 déjà protégée), selon le dessin de la Figure 23 page 38.

##### 6.1.1.3 SUPPRESSION DE L'ANCIENNE PILE

Les essais sur fonds mobiles ont permis d'observer que l'ancienne pile située dans le chenal en amont du pont de la Manda provoquait un affouillement significatif lors des crues moyennes avec la formation d'un sillage entre l'ancienne pile et le seuil 7, ainsi qu'un affouillement sensible en tête de seuil.

Il sera donc nécessaire de supprimer cette pile, afin qu'elle n'ait plus d'influence sur les écoulements une fois le seuil abaissé et le transport solide arrivé dans le bief seuil 7 – seuil 8.

##### 6.1.1.4 PROTECTIONS EN RIVE GAUCHE

Les essais réalisés sur fonds mobiles ont montré que le lit du Var est susceptible de passer au pied de la rive gauche, venant solliciter le pied de talus. Il était donc nécessaire de prévoir une protection adaptée sur l'ensemble du linéaire afin que la rive gauche ne soit pas mise en danger dans l'état définitif.

L'état de cette berge étant mal connu à la date des études, il était convenu d'étudier des protections adaptées à mettre en place, notamment vis à vis de l'abaissement du seuil 7.

### 6.1.1.5 FERMETURE DE L'ECHANCRURE DE LA TREMIE

Après abaissement du seuil 7 et suppression du seuil provisoire, la fréquence de submersion de la trémie est nettement abaissée, les premiers débordements ayant lieu à 3 500 m<sup>3</sup>/s. On note toutefois un débordement dans la trémie qui s'effectue par l'échancrure en aval du seuil 7 légèrement avant le débordement à l'amont. Afin de limiter ce débordement dans la trémie, il est possible d'envisager à terme de fermer cette échancrure par la mise en place d'un voile.

Il est à noter toutefois, qu'après abaissement du seuil 6, que les lignes d'eau baisseront dans le bief seuil 6 – seuil 7, de telle sorte que le risque d'inondation de la trémie par l'échancrure aval sera diminué.

### 6.1.2 Phasage préconisée

L'optimisation du phasage réalisée sur le modèle physique a conduit à prévoir la chronologie suivante :

- Mise en place de la trémie et du seuil provisoire dans l'état actuel, soit avant le retour du transport solide dans le bief seuil 7 – seuil 8 (*fait en 2007 – 2008*);
- Une fois arrivé dans le bief seuil 7 – seuil 8, le transport solide sera suivi avec attention pour observer **le moment où la langue de matériau atteint le pont de la Manda**, c'est-à-dire en amont immédiat des seuils. L'arrivée de la langue à ce niveau déclenchera l'arasement du seuil 7 à la cote 57,95 m sur l'ensemble de son linéaire (30 m étant déjà arasés en rive droite dans le délaissé créé par le seuil provisoire),
- Une fois l'arasement du seuil 7 effectué, le seuil provisoire sera supprimé rapidement, afin d'éviter qu'une crue majeure n'engrave ce seuil et ne rende difficile cette suppression.
- Une fois le seuil 7 arasé et le seuil provisoire supprimé, l'avancée du transport solide pourra continuer sans intervention dans le bief seuil 6 – seuil 7 jusqu'à son arrivée en amont immédiat du seuil 6 ; celle-ci entraînera alors l'arasement du seuil 6 de 2 m, conformément à la gestion globale de la basse vallée du Var.

## 6.2 ETUDE DES INCIDENCES DE L'ABAISSMENT DES SEUILS SUR LA NAPPE DU VAR

L'étude de 2005 proposait une méthodologie d'abaissement des seuils, pour prendre en compte l'incidence temporaire sur la nappe.

En effet, en situation transitoire, pendant la phase de progression des graviers, un abaissement des seuils dès que les graviers atteignent ces derniers, et donc avant que les biefs aval aient amorcé leur réengrèvement (stratégie préconisée par l'étude du transport solide), pourrait se traduire par un abaissement temporaire de la nappe y compris en basses eaux.

Il était estimé souhaitable, du point de vue de l'incidence sur la nappe, de revoir cette stratégie, et d'attendre un certain réengrèvement du bief aval avant de procéder à l'abaissement d'un seuil. Toutefois, l'épaisseur de l'aquifère ainsi que les caractéristiques des puits AEP devraient leur permettre de supporter cet abaissement temporaire sans perturbations majeures.

L'étude proposait d'attendre, avant de procéder à l'abaissement, que le réengrèvement du lit en pied de seuil atteigne presque (mais pas tout à fait) le niveau de la crête de ce même seuil à l'état projet (après abaissement).

La période d'abaissement préconisée, toujours vis-à-vis des enjeux hydrogéologiques, était la fin de la période estivale, en nappe basse.

---

## 7 CONCEPTION DU PROJET D'ABAISSEMENT

### 7.1 CONTRAINTES ACTUELLES MODIFIANT LA CONCEPTION ANTERIEURE

#### 7.1.1 Démantèlement de la microcentrale hydroélectrique

Il n'existe aujourd'hui aucune certitude que le démantèlement de la microcentrale hydroélectrique puisse être réalisé conjointement aux travaux d'abaissement du seuil. Il est donc nécessaire d'étudier deux scénarios :

- Scénario optimal : les travaux d'abaissement du seuil et de démantèlement de la microcentrale sont conjoints ;
- Scénario décalé : une première phase des travaux d'abaissement du seuil est réalisé, en conservant la microcentrale et sa voie d'accès. Une deuxième phase suit x années plus tard, avec le démantèlement de la microcentrale et de sa voie d'accès.

Cette contrainte est importante, car le maintien de la microcentrale et de sa voie d'accès aura un impact hydraulique et morphodynamique. De plus, dans le cas du seuil 7, la position de la microcentrale est très avancée dans le lit (environ 100 m depuis le pied de digue rive gauche, contre 60 à 65 m pour les seuils 8, 9 ou 10).

Lors des essais sur modèle réduit physique (références /11/ et /10/), il n'avait pas été testé une configuration avec seuil 7 abaissé et microcentrale et sa voie d'accès conservées.

### 7.2 CARACTERISTIQUES DU PROJET D'ABAISSEMENT

#### 7.2.1 Abaissement du seuil 7

##### 7.2.1.1 PROFIL TYPE DE LA CRETE DU SEUIL

Afin d'améliorer la franchissabilité piscicole de l'ouvrage abaissé, le profil type d'abaissement des seuils 8, 9 et 10 (dont les travaux d'abaissement ont été autorisés au titre du code de l'environnement par l'arrêté préfectoral du 6 septembre 2011) présente un profil en V (avec un plat central). L'exemple du profil adopté pour le seuil 9 est présenté sur la figure suivante.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

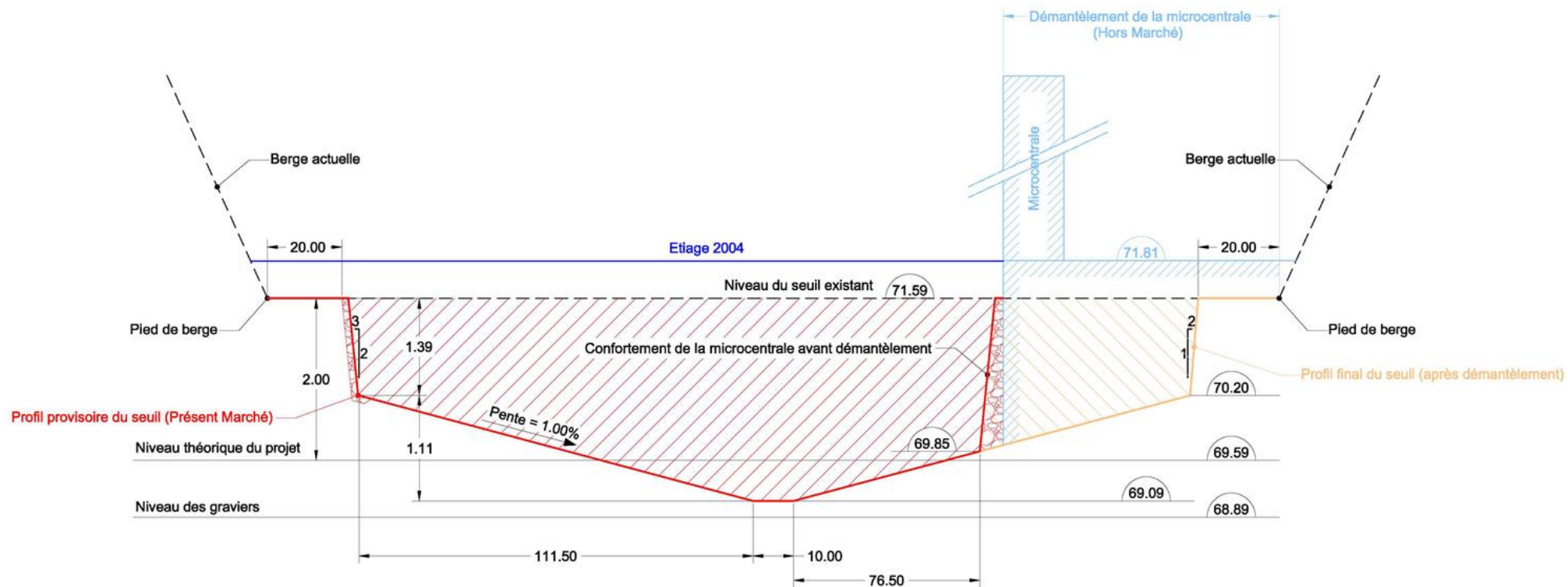


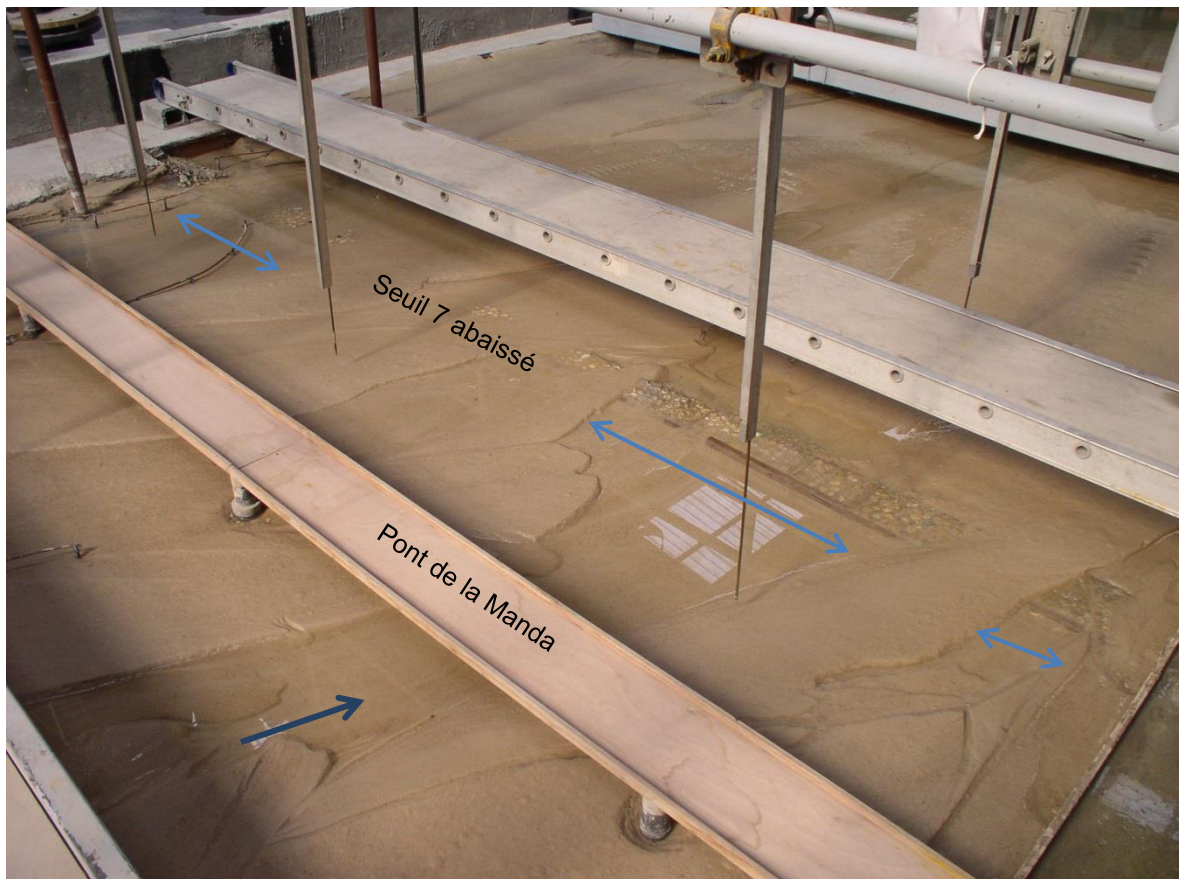
Figure 69 : Profil type de l'arasement du seuil 9 (vue de l'aval)

Dans le cas du seuil 7, l'arasement est déjà effectif, sur une largeur de 35 m en rive droite, à la cote 58.0 m NGF, soit la cote moyenne de l'ensemble du seuil arasé. Un profil en V est possible, mais doit tenir compte de l'arasement déjà réalisé en rive droite, doit être conçu pour aboutir à une cote moyenne d'abaissement de 58.0 m NGF, et évitera un positionnement du centre du V décalé par rapport à l'axe du Var.

Le profil répondant à ces contraintes est présentée page suivante.

En alternative, un profil plat (cote d'arase à 58.0 m NGF) est également présenté à suivre. Les avantages d'un profil en V par rapport à un profil plat pour la franchissabilité piscicole sont en effet à relativiser en tenant compte de la réalité du positionnement des chenaux au franchissement du seuil abaissé. En réalité, le lit d'étiage au passage du seuil ne s'étale pas sur toute la largeur du seuil, mais conserve sa largeur morphologique qu'il a en amont et en aval (soit 70 à 80 m après retour des graviers), le reste du seuil étant engravé. L'effet d'étalement est donc très limité.

La photo suivante illustre ce phénomène sur le seuil 7 complètement arasé à une cote constante de 58.0 m NGF. Les flèches bleues délimitent les parties avec le seuil découvert à l'étiage.



**Figure 70 : Fonds finaux après crue de 600 m<sup>3</sup>/s, configuration finale seuil complètement arasé avec un profil plat à 58.0 m NGF (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)**

Par la suite, c'est cette deuxième solution qui est retenue.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

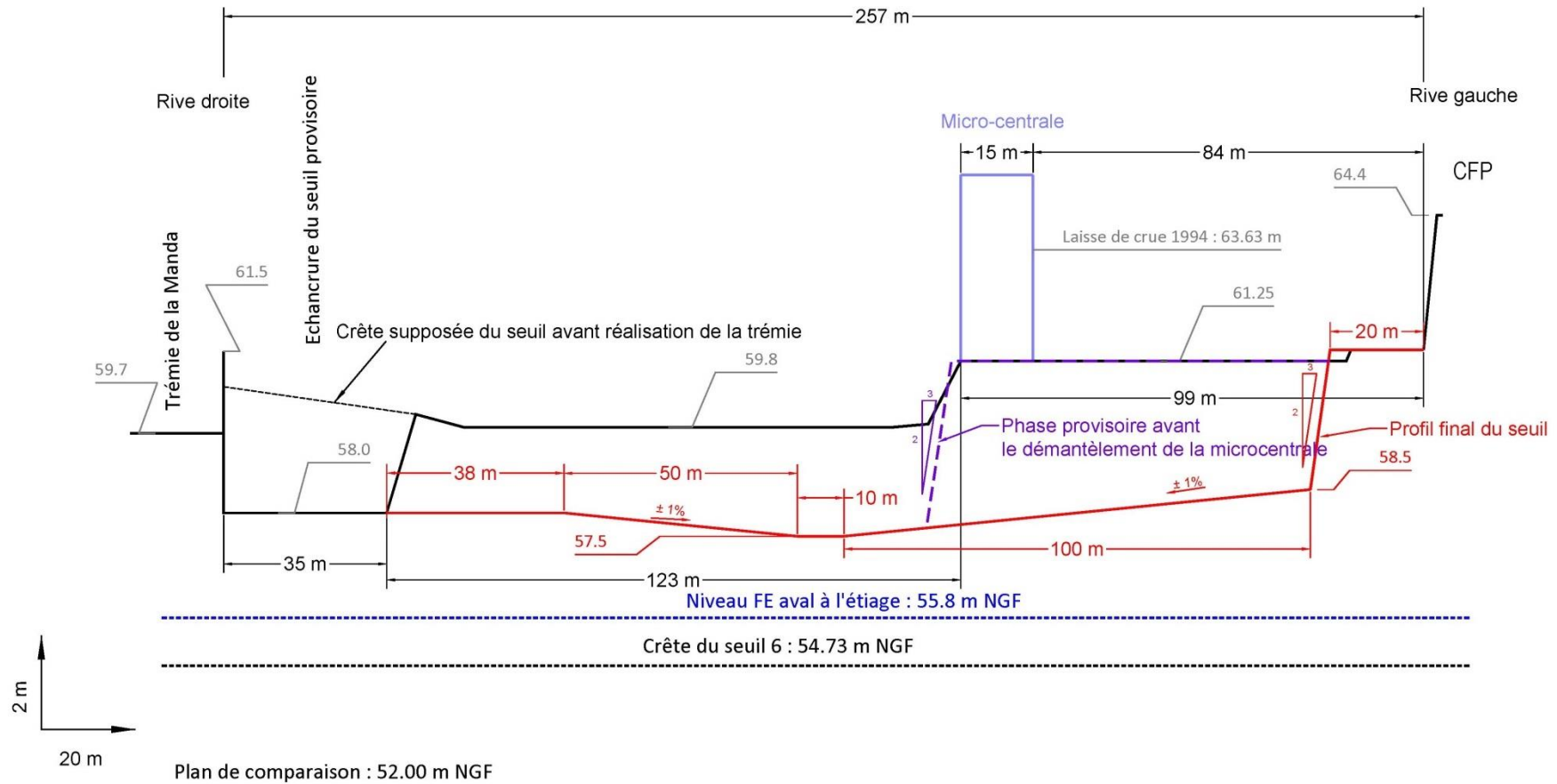


Figure 71 : Profil type du seuil 7 abaissé, solution en V (vue de l'aval)

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

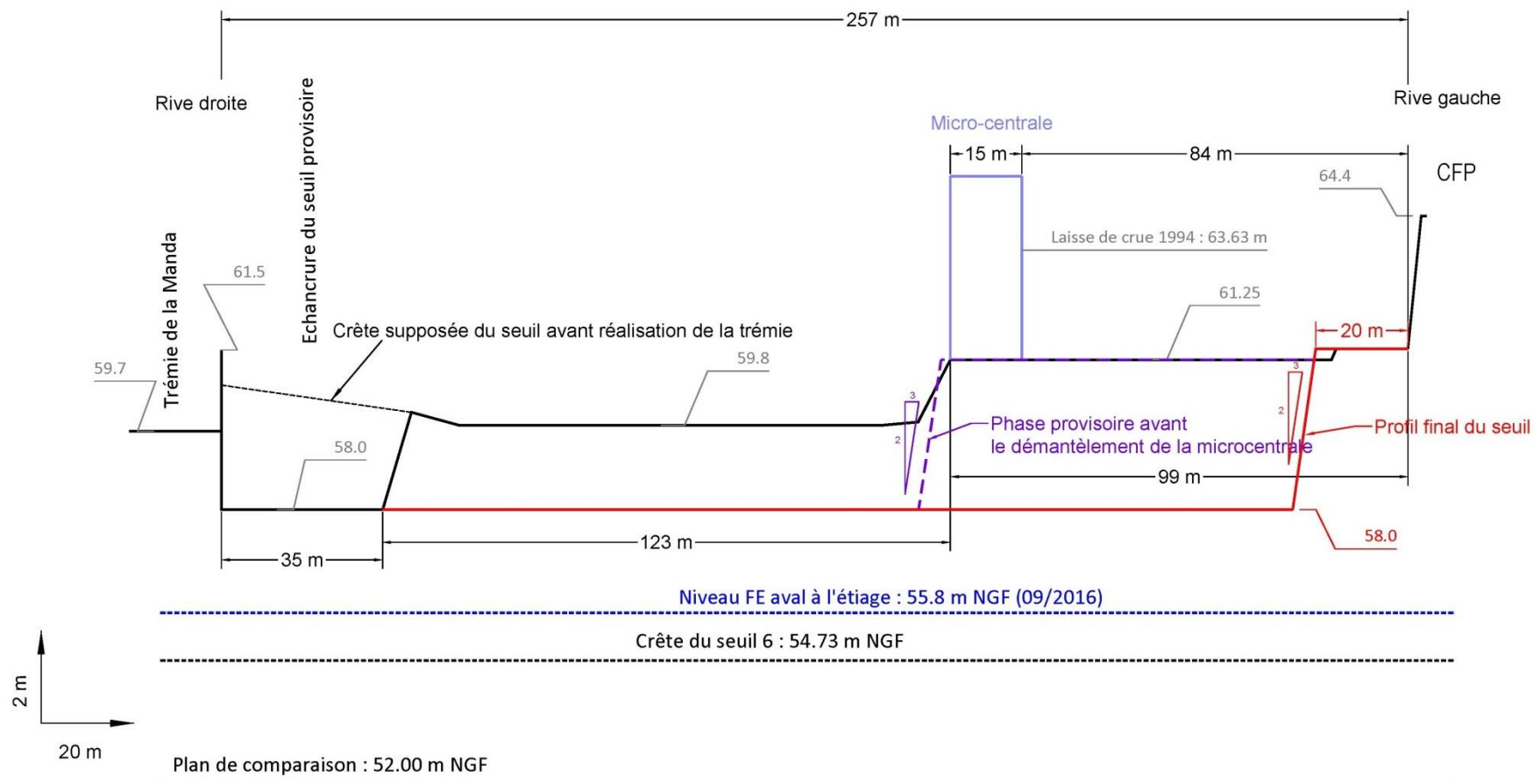
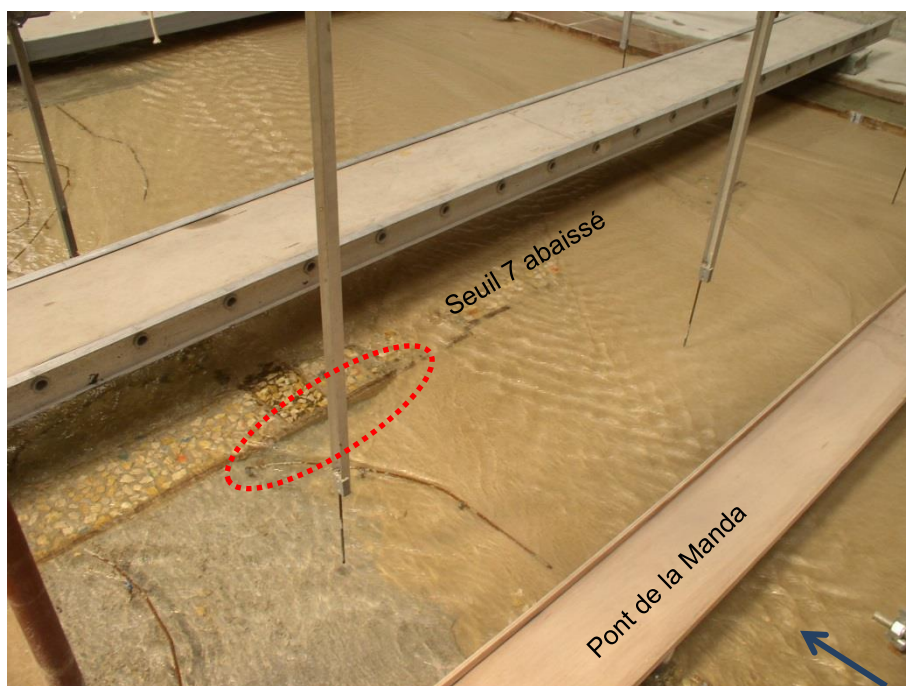


Figure 72 : Profil type du seuil 7 abaissé, solution profil plat (vue de l'aval)

### 7.2.1.2 PROTECTION DE LA CRETE ABAISSEE

En amont de la crête abaissée et du rideau de palplanches, des affouillements locaux sont possible, selon la position des chenaux.



**Figure 73 : Affouillement en amont immédiat de la crête du seuil, seuil abaissé (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)**

Dans la période où la microcentrale est maintenue, sa superstructure et sa hauteur sur le seuil recépé seront à l'origine d'affouillements locaux plus importants. Comme déjà évoqué, cette configuration avec seuil recépé et maintien de la microcentrale n'a pas été testée sur modèle réduit. Cependant, les essais avec le seuil non recépé, tel qu'actuellement, donnent déjà une vision du phénomène d'affouillement dans cette zone, comme le montre la photo suivante.



**Figure 74 : Affouillement en amont de la microcentrale, seuil 7 actuel (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)**

Les études sur modèle réduit des seuils en enrochements en Durance (référence /20/), qui avaient pour objectifs de donner les bases de dimensionnement de ce type d'ouvrage, recommandaient la mise en place d'une banquette d'enrochements libres sur une épaisseur d'1 m et une largeur de 3,5 m.

Pour tenir compte de contraintes hydrauliques supérieures sur le Var (et localement de la présence de la microcentrale), le principe de cette banquette est retenue, avec un dimensionnement plus résistant (largeur 5 m, épaisseur 2,6 m). A proximité de la microcentrale, la largeur de cette banquette sera portée à 10 m.

Pour rappel, le long de la partie déjà abaissée du seuil, cette banquette est déjà présente, du fait de la présence du radier en enrochements entre le seuil abaissé, le seuil provisoire et la trémie.

7.2.1.3 COUPES TYPES DU SEUIL

La coupe type de l'abaissement du seuil (dans l'axe de l'écoulement) est présentée sur la figure suivante.

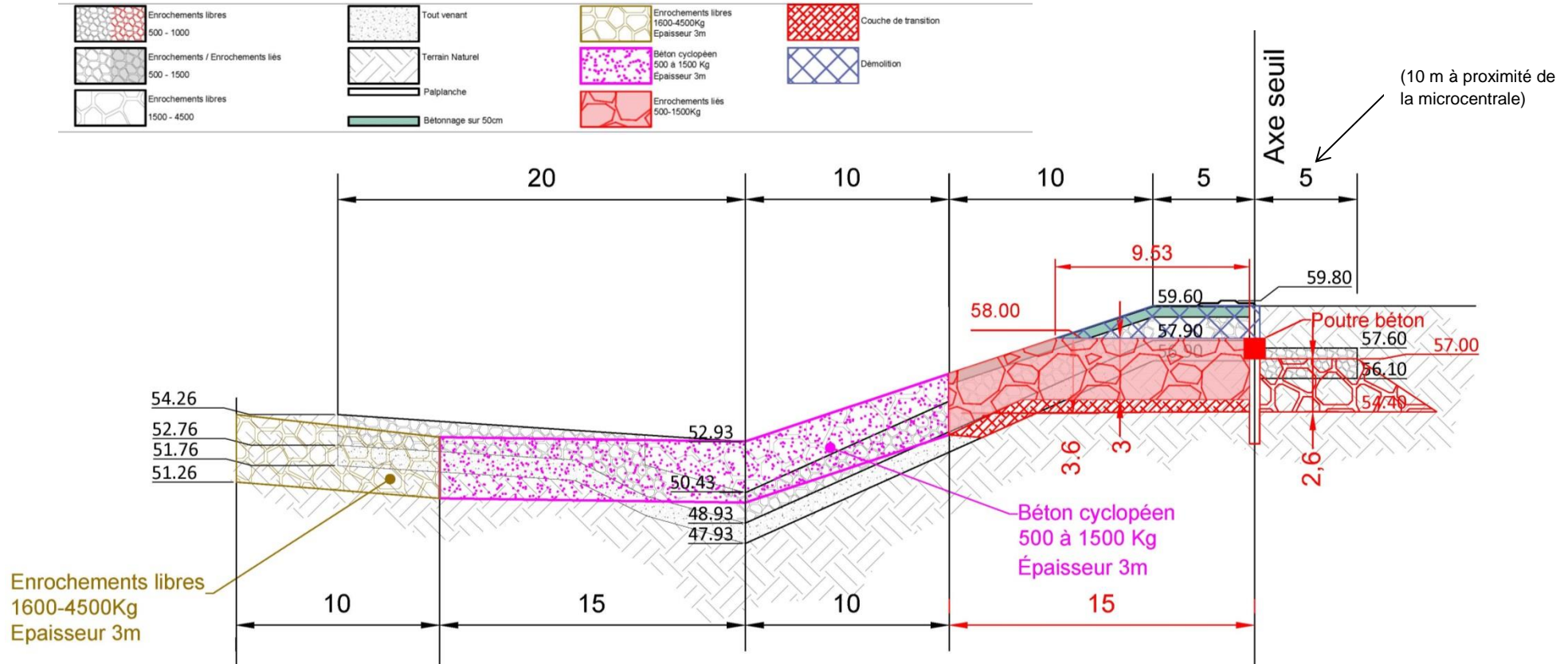


Figure 75 : Coupe-type du recépage du seuil 7

La crête est arasée jusqu'à la cote 54.40 m NGF, puis reconstituée en enrochements liés au béton de masse 500 à 1500 kg, sur couche de transition. La partie amont est protégée par des enrochements libres 1500 – 4500 kg. Entre les deux, le rideau de palplanches est conservé après recépage, et muni d'une poutre de couronnement en béton.

La profondeur du rideau de palplanches sera vérifiée et la stabilité des différentes parties d'ouvrage, au cours des différentes phases d'exécution, assurée, au besoin en mettant en place des dispositions transitoires ou définitives.

## **7.2.2 Protection contre les affouillements des piles du pont de la Manda**

Lors des études de la trémie de la Manda, l'étude préalable des ouvrages (référence /12/) faisait l'analyse suivante pour l'incidence de l'abaissement du seuil sur les appuis du pont de la Manda, et les mesures à réaliser.

*A l'amont du seuil n° 7, le pont de La Manda est fondé :*

- *Pour chaque culée sur deux caissons havés. Ces caissons ont été descendus jusqu'à la cote 49,70 m, alors que l'arase haute des fondations était calée à 60,20 m.*
- *Pour les piles sur des appuis cylindriques havés descendus à la cote 49,70 m<sup>2</sup> et arasés à la cote 60,20 m.*

*Les parties exondées des piles et des culées ont été réalisées en maçonnerie de moellons d'épaisseur e = 0,2 m.*

*Pour chacun des appuis, un chevêtre d'épaisseur 1,50 m assure la tenue des deux piles, alors que pour les culées les deux caissons havés sont reliés par une poutre BA sur laquelle s'appuie la structure maçonnée, elle-même ballastée.*

*Dans l'hypothèse d'un abaissement de 1,95 m du niveau aval du seuil, il est tout à fait clair qu'un abaissement équivalent des fonds au droit de chacun des appuis du pont de La Manda est à craindre.*

*Différents problèmes peuvent alors se présenter, même s'il paraît peu probable que les 2 m supérieurs des havages aient été considérés pour leur capacité de frottement.*

- *Pour les culées, le creusement entre les caissons havés pourrait amener à un écoulement du ballast sous la maçonnerie de pierre de la culée. Il conviendra donc d'assurer la tenue du talus au pied de la culée. En rive droite, du fait de la mise en place de la trémie, ceci sera effectif. En rive gauche, un système de protection du pied de culée reste à étudier.*
- *Pour les appuis en rivière, la découverte des deux mètres supérieurs de la fondation des appuis risque de reporter en profondeur l'épaisseur d'affouillement en crue, hors des limites acceptables par rapport aux longueurs de frottement mobilisables le long des appuis. Il conviendra donc de préciser les moyens de protection à mettre en place le long des appuis.*

*Enfin, d'un point de vue purement esthétique, la découverte des deux mètres supérieurs de havage de chacun des appuis (culées et piles) risque d'être peu réussi. La mise en place d'un parement rapporté devra être étudiée pour assurer la réussite de l'intégration du projet.*

---

<sup>2</sup> Le rapport de 2005 indiquait par erreur 40.70 m NGF. La cote de 49.70 m NGF est lue sur les plans de l'ouvrage.

Les essais sur modèle réduit ont permis de valider le principe et les caractéristiques d'une protection en enrochements libres (masse 1600 – 5000 kg) entourant les piles, sur une épaisseur de 2,6 m, dont le dessus est calé à la cote d'arasement du seuil, et qui empêche des affouillements de se développer sous cette cote. Une couche de transition était également intégrée.



**Figure 76 : Protection de la pile P3 au cours des essais de la configuration finale (source : SOGREAH, archives de l'étude /11/)**

Nous avons repris ce principe, avec toujours un calage à la cote 58.00 m NGF (applicable pour le profil plat du seuil recépé), avec de légères adaptations pour tenir compte du diamètre du fût des piles, et des différences entre les piles P2 et P3.

La couche de transition est nécessaire pour empêcher la mise en mouvement des matériaux du lit sous-jacents par les courants résiduels entre les blocs de la couverture en enrochements. Cette couche est nécessaire lorsque le  $d_{85}$  des matériaux du lit est inférieur à  $0.2 \times$  le  $d_{15}$  des enrochements, ce qui est le cas ici. Elle sera de calibre 25 – 100 kg, sur 1 m d'épaisseur.

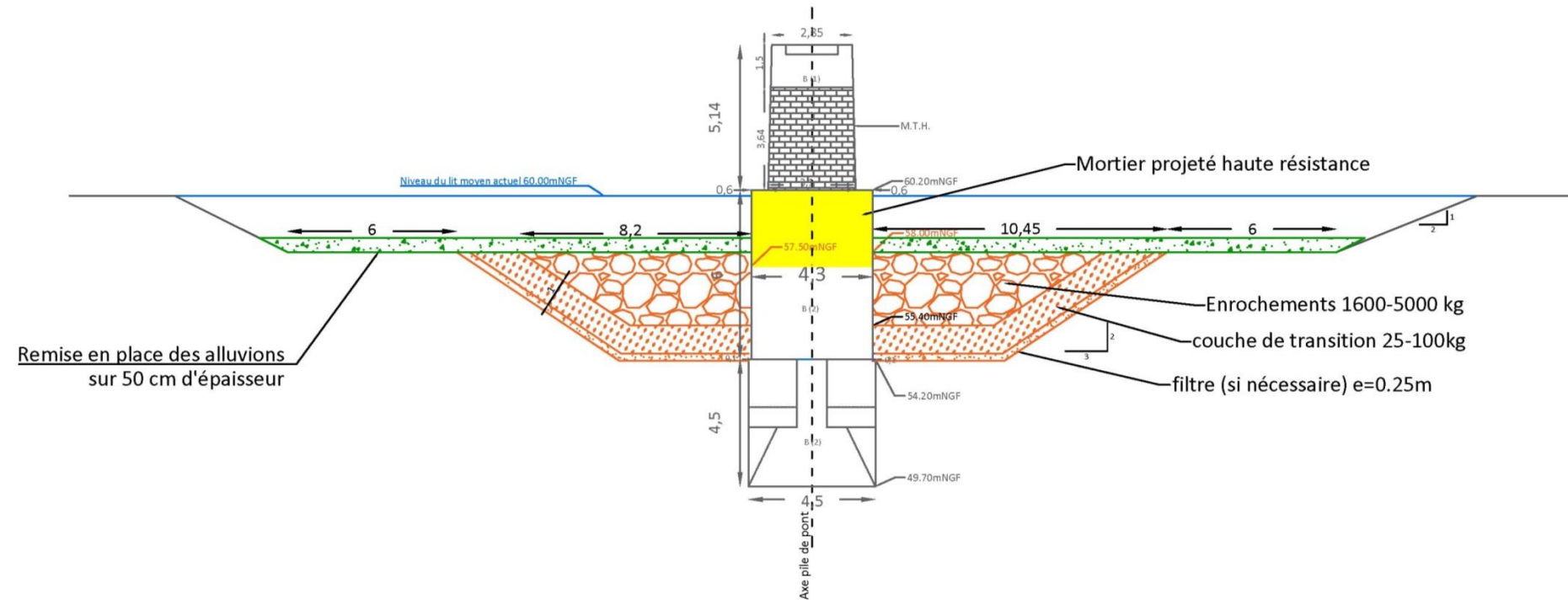
Le filtre ne sera nécessaire qu'en cas de présence de matériaux fins (limons) en fond de fouille.

Pour protéger la partie du fût des piles entre la base de la partie maçonnée et le niveau des enrochements des chocs des graviers et galets, il est prévu la réalisation d'un mortier projeté de haute résistance. Il s'agit néanmoins d'une couche « sacrificielle » qui sera à suivre et à renouveler au besoin.

Les coupes sont présentées sur les figures pages suivantes.

La protection de la pile P1 fera l'objet d'une vérification lors des travaux (relevé des limites de la protection, démontage d'une petite partie, mesure de la blocométrie des enrochements, présence et caractéristiques d'une couche de transition, relevé des fonds de fouilles). Si les caractéristiques trouvées ne sont pas conformes aux caractéristiques de l'APS ou du présent document, la protection sera reprise.

## Elévation latérale



## Elévation transversale

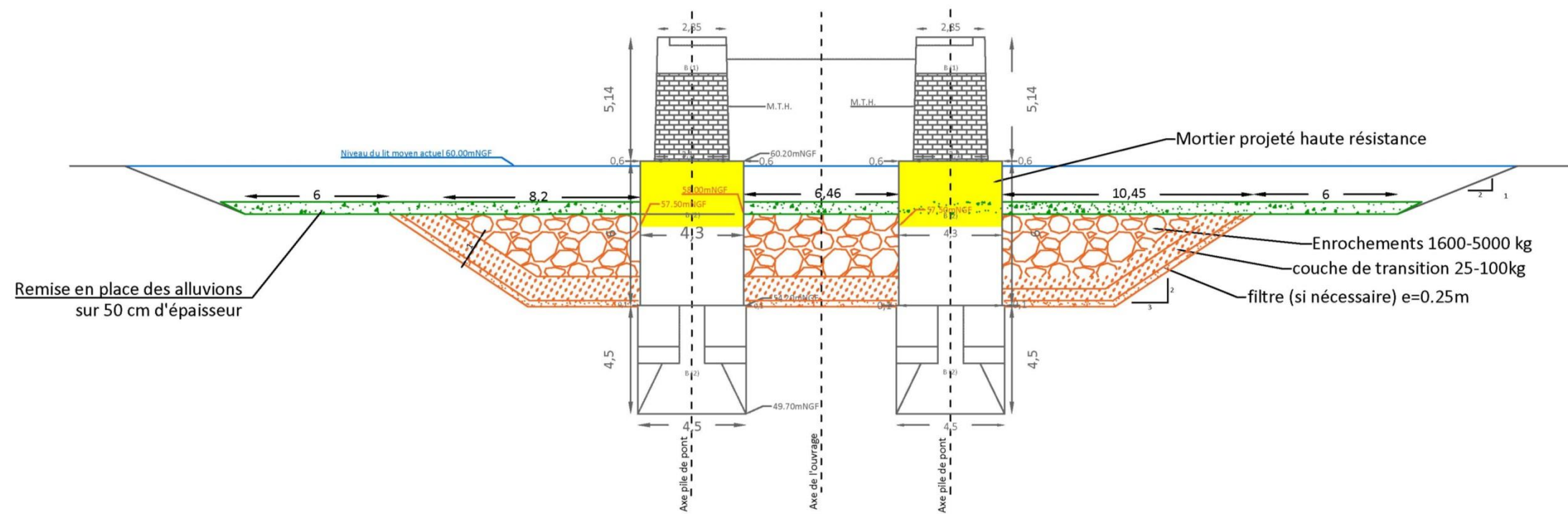
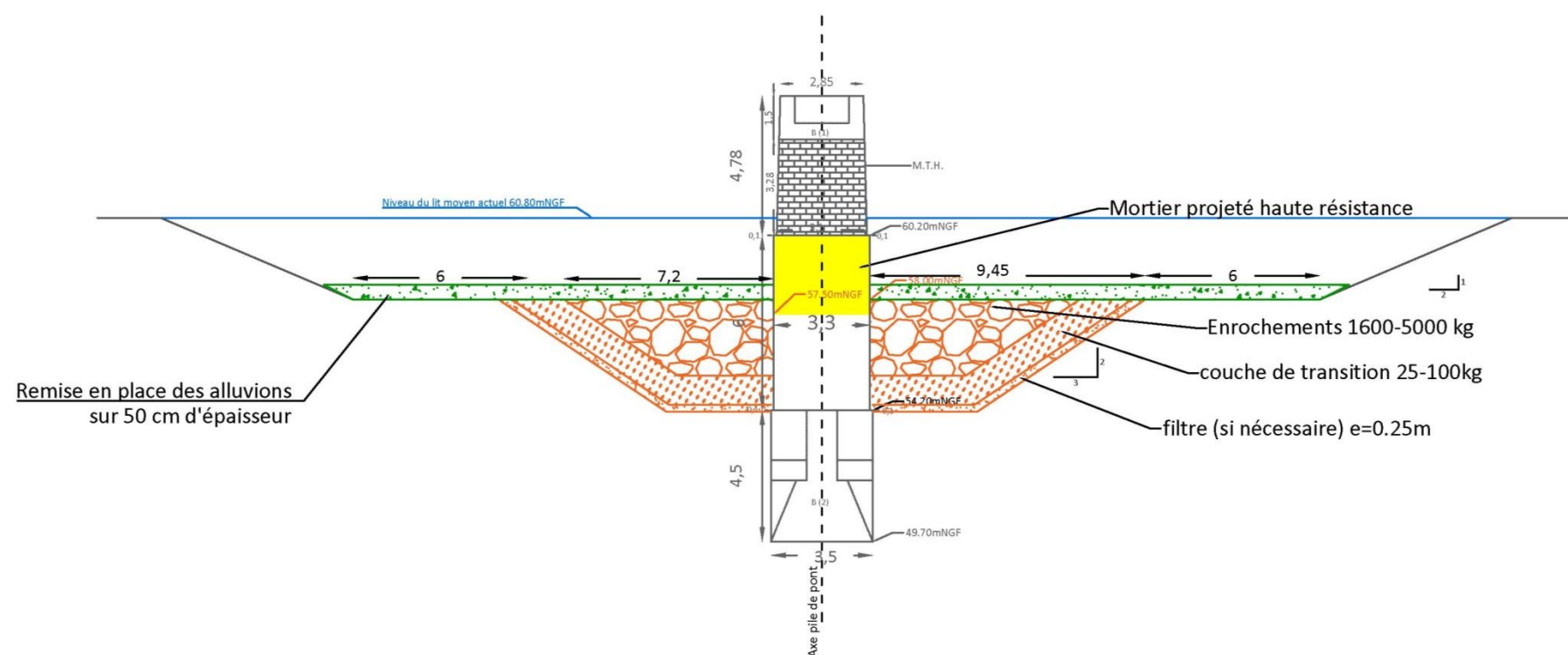


Figure 77 : Protection en enrochements de la pile P2 (coupes)

### Elévation latérale



### Elévation transversale

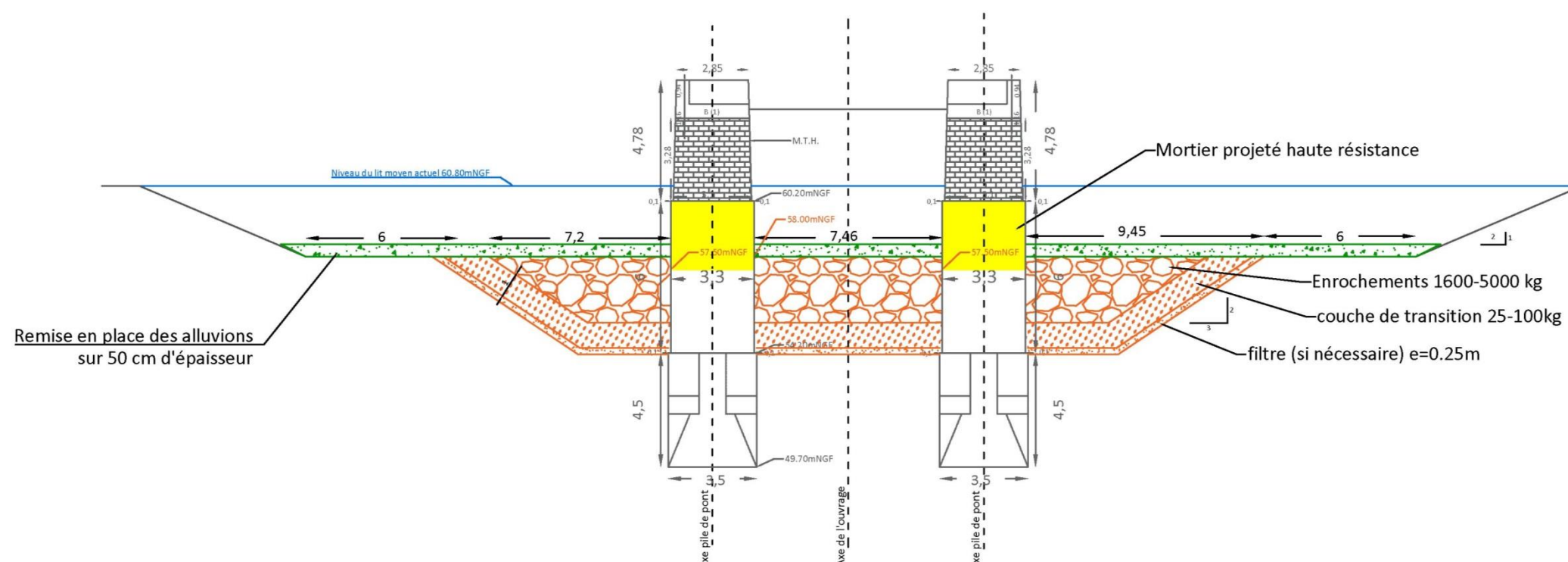
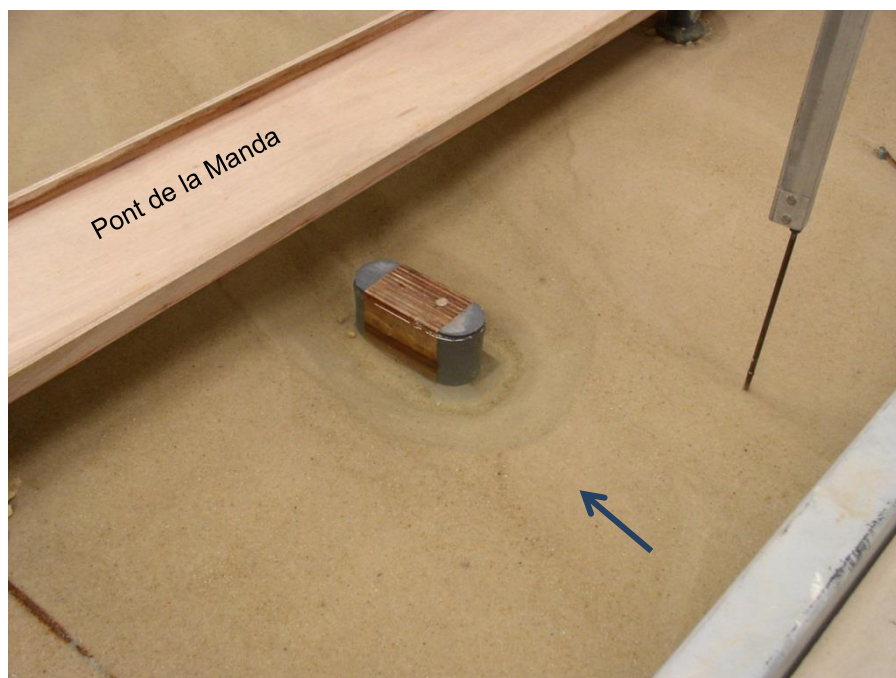


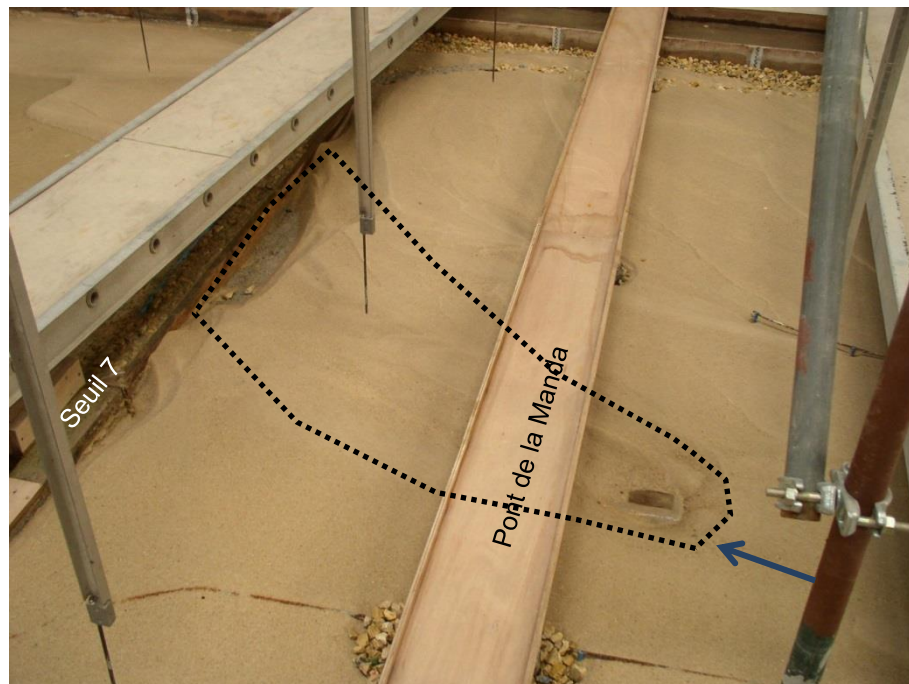
Figure 78 : Protection en enrochements de la pile P3 (coupes)

### 7.2.3 Suppression des anciennes piles

L'APS de l'aménagement de la trémie de la Manda (référence /9/) prévoyait l'enlèvement de la pile apparente de l'ancien pont de la Manda. Cette mesure trouve sa justification dans l'observation, pendant la phase de calage du modèle physique, d'un phénomène d'érosion important dans le sillage de l'ancienne pile, jusqu'au seuil 7, à l'amont direct duquel un affouillement très important a été mis en évidence.



**Figure 79 : Affouillement autour de l'ancienne pile (phase de calage du modèle réduit, source : 17)**



**Figure 80 : Erosion en aval de l'ancienne pile (enlevée ici après essai) jusqu'au seuil 7 (source : 17)**

L'enlèvement de cette ancienne pile est donc inclus au projet d'abaissement. La cote d'arasement est fixée à 57.5 m NGF, de façon similaire au radier mis en place entre la trémie et le seuil provisoire. Le volume, à cette cote d'arase, est estimé à 100 m<sup>3</sup>, à partir de la photogrammétrie de 2017 et le relevé de 2007 avant travaux de réfection du seuil (hauteur 3 m, section 34 m<sup>2</sup>).

La question se pose si d'autres anciennes piles sont à retirer. La figure suivante montre le report sur la photo aérienne de 2017 de la position de l'ancien pont de la Manda et de ses piles, à partir de la photo aérienne de 1964 (voir Figure 8 page 23).



**Figure 81 : Implantation approchée de l'ancien pont de la Manda et de ses piles**

Il y aurait potentiellement 4 autres piles (dont les deux en rive droite sont peut-être différentes, supportant une travée de secours). Cependant, aucune trace n'apparaît sur la photo de 2017, de bonne qualité, pour les deux piles qui seraient dans l'eau, en rive gauche.

Il est donc vraisemblable que ces appuis aient été retirés auparavant, vraisemblablement lors de la construction du pont actuel. Nous proposons donc, lors des travaux d'abaissement du seuil 7 :

- Une reconnaissance à la pelle aux emplacements présumés,
- L'enlèvement de ces appuis s'ils dépassent la cote 57.5 m NGF.

#### **7.2.4 Modification de l'échancrure de la trémie**

Après abaissement du seuil 7 et suppression du seuil provisoire, la fréquence de submersion de la trémie est nettement abaissée, les premiers débordements ayant lieu à 3 500 m<sup>3</sup>/s. On note toutefois un débordement dans la trémie qui s'effectue par l'échancrure en aval du seuil 7 légèrement avant le débordement à l'amont. Afin de limiter ce débordement dans la trémie, il est possible d'envisager à terme de fermer cette échancrure par la mise en place d'un voile.

Il est à noter toutefois, qu'après abaissement du seuil 6, que les lignes d'eau baisseront dans le bief seuil 6 – seuil 7, de telle sorte que le risque d'inondation de la trémie par l'échancrure aval sera diminué.



**Figure 82 : Ligne d'eau à 2000 m<sup>3</sup>/s le long du mur de la trémie, au niveau de l'échancrure (source : essai de la configuration finale, /11/)**

Nous proposons de modifier l'échancrure selon le profil suivant.

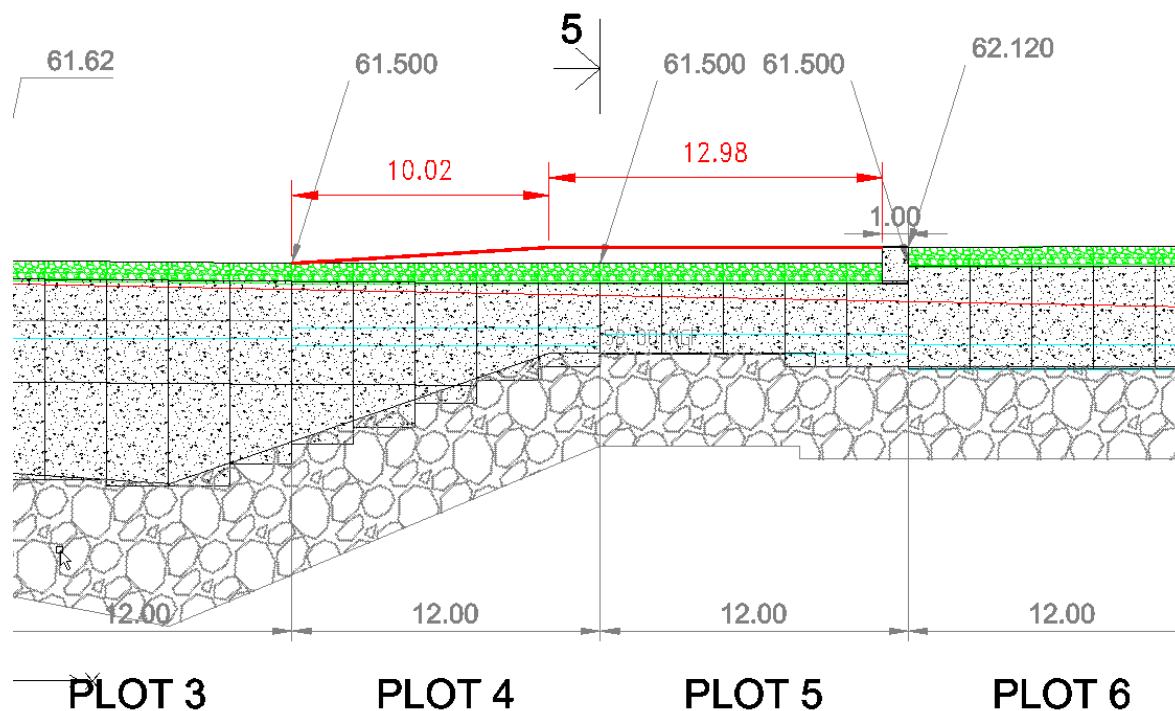


Figure 83 : Proposition de modification de l'échancrure (suivant élévation du mur côté Var de la Trémie, source /27/)

### 7.2.5 Protection en rive gauche

Le SMIAGE MARALPIN projette le confortement de la digue rive gauche, entre le seuil 8 et l'aval du seuil 4. Cette protection englobe la culée rive gauche du pont de la Manda.

A la date de rédaction du présent rapport, les caractéristiques du projet de confortement dans le secteur du seuil 7 sont connues par le document d'AVP de 2014 (référence /3/).

Sur le tronçon seuil 8 – seuil 7, deux solutions de confortement sont envisagées dans ce document :

- Un confortement en enrochements, avec un dessus de sabot situé à 1.50 m sous ce qui est appelé le « lit moyen futur », et un sommet de carapace supportant une piste d'entretien, calée au niveau de la crue de 2500 m<sup>3</sup>/s (Q2500) ;
- Un parement vertical (en béton armé), avec une piste d'entretien entre le couronnement de ce parement et la digue, également calé à la cote de la crue Q2500.

La coupe-type de la solution en enrochements, la moins onéreuse, est présentée ci-dessous.

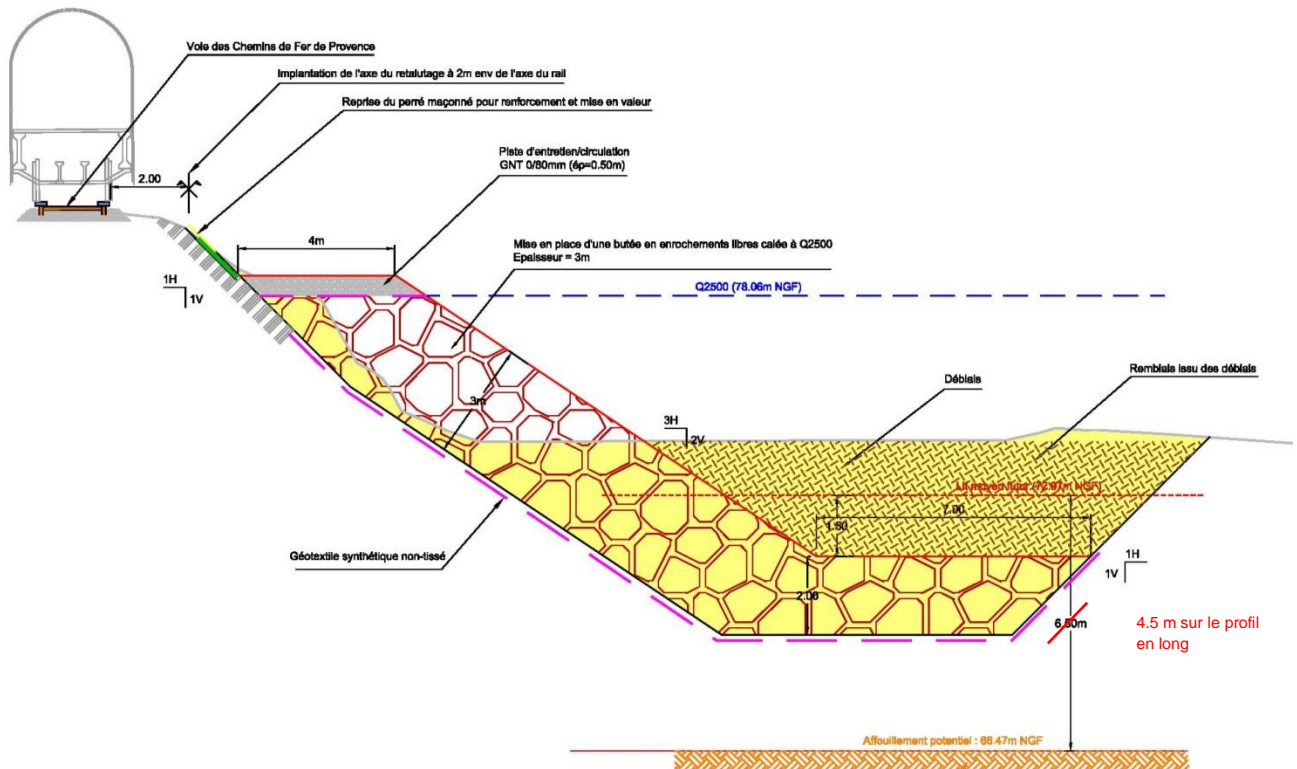


Figure 84 : Coupe-type de la solution enrochements (aval) pour le tronçon 3-2 (source : /3/)

Le profil en long de la protection projetée est reporté sur la figure suivante, en comparaison des éléments déjà abordés plus haut.

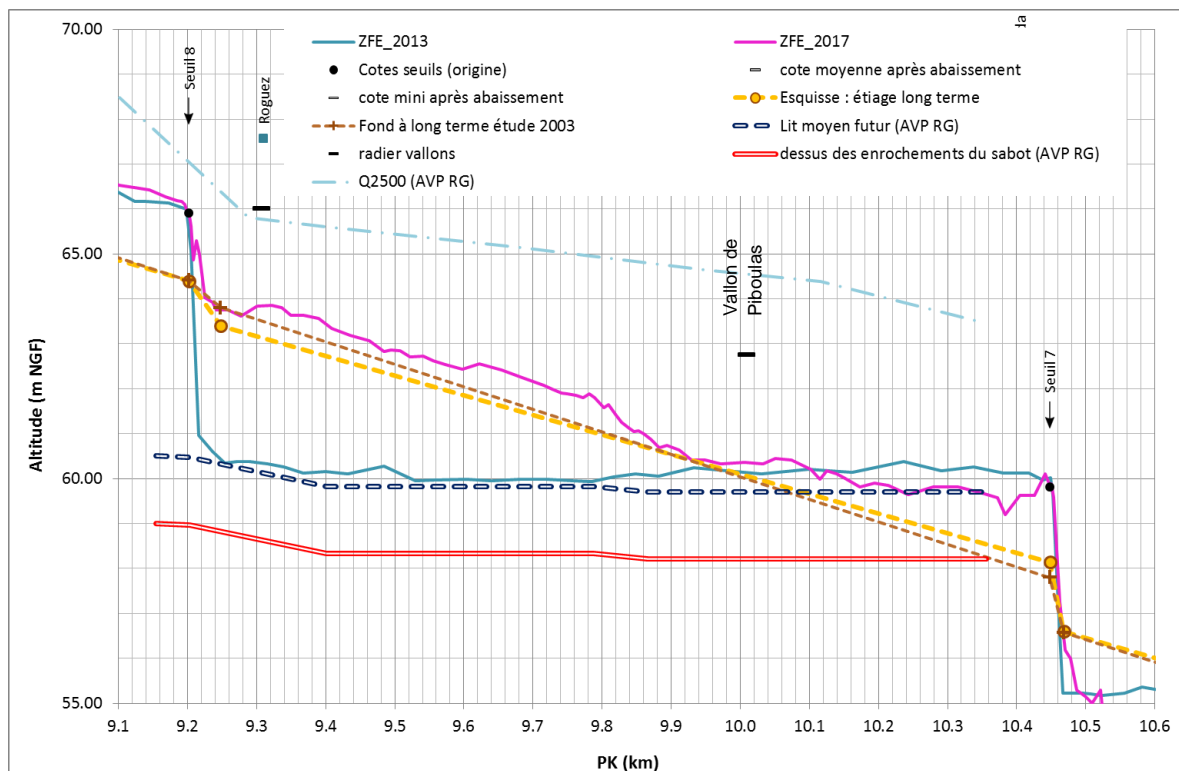


Figure 85 : Profil en long du projet de confortement de la rive gauche (source : /3/)

Cette figure met en évidence que le projet ne tient pas compte du futur lit, après retour des graviers et abaissement du seuil 7, dont la situation actuelle s'en rapproche aujourd'hui (avant abaissement du seuil). Le sabot des enrochements est donc beaucoup trop profondément enfui, en particulier en aval du seuil 8. Et la piste d'entretien, dont le profil devrait être parallèle au fond futur, est inutilement élevée, notamment en aval.

En aval du seuil 7, le calage des aménagements ne prend pas non plus en compte la rehausse prochaine du lit liée au retour des graviers.

**Nous recommandons, afin d'optimiser de façon importante les travaux de renforcement de la digue rive gauche, de réaliser, en amont du seuil 7, une conception similaire à celle réalisée en rive droite** (en y intégrant la piste). Cette conception de la protection rive droite, exposée au § 3.3.4.3 page 38, a été validée sur modèle réduit, et présente des mètres (enrochements, terrassements) bien inférieurs à celle aujourd'hui étudiée de la rive gauche.

La protection de cette rive gauche, qui englobe celle de la culée du pont, est nécessaire du fait de l'abaissement du seuil. Elle devrait donc être réalisée concomitamment aux travaux sur le seuil. Si cela n'était pas possible, la conservation de la microcentrale et de sa voie d'accès assurerait une certaine protection, mais qui ne pourrait être que temporaire et partiel, dans son extension amont.

**En aval du seuil 7, il convient à notre avis de concevoir et programmer le renforcement de la digue rive gauche en adéquation avec le prochain retour des graviers et la rehausse du lit, et de tenir compte de l'abaissement du seuil 6 (ce qui n'est pas le cas sur le profil disponible).**

## 7.3 IMPACTS DIVERS

Les impacts sur la nappe ont été abordés au § 5. Les impacts sur la continuité écologique sont pris en compte dans la conception de l'abaissement du seuil (cf. 7.2.1.1). Sont abordés ici les impacts sur les débouchés des vallons et la station hydrométrique.

### 7.3.1 Impacts sur les vallons

#### 7.3.1.1 IMPACT SUR LE VALLON DE LA TOUR

Il s'agit du vallon, en rive droite, franchissant la RM6202bis (trémie de la Manda) par l'OH9, décrit au § 3.3.4.4 page 40. Sa conception a pris en compte (dans les études sur modèle réduit), le retour des graviers et l'abaissement du seuil 7. Ces études ont montré, dans la situation à terme :

- Un engravement relativement faible de l'ouvrage en crue décennale (2000 m<sup>3</sup>/s dans le modèle réduit), soit à la cote 58.9 m NGF ;
- Un engravement plus important en crue centennale (3500 m<sup>3</sup>/s dans le modèle réduit), soit à la cote 60.05 m NGF, soit au niveau du plafond de l'ouvrage réalisé (cote plafond variant de 60.24 à 59.69 m NGF).

La différence entre les deux engravements correspond à la respiration du lit. En pratique, sur le modèle, l'aval des dalots de restitution se dégage dès le passage d'un débit faible, créant un chenal dirigeant les eaux provenant de la rive droite vers le seuil.



**Figure 86 : Restitution de l'OH9 sur le modèle réduit**

Dans la réalité, il est probable, selon les situations et la concomitance des crues ou non, que l'engravement en sortie de l'OH 9 crée des dysfonctionnements dans l'écoulement du vallon. Des dispositions sont à prévoir pour assurer une intervention rapide au besoin (accès, intervention d'une entreprise anticipée...). Néanmoins, il faut préciser qu'en amont de la RM6202bis, il existe un coursier de mise en vitesse en amont de l'OH 9. Le fond du vallon est alors beaucoup plus élevé (vers 62 m NGF). Cette configuration devrait assurer une part du dégagement de l'OH9, en cas de crue du vallon.

### 7.3.1.2 IMPACTS SUR LES VALLONS RIVE GAUCHE

Deux vallons se rejettent en rive gauche du Var entre le seuil 8 et le seuil 7 : le vallon du Roguez et le vallon de Piboulas. La Figure 85 page 106 positionne les exutoires actuels sur le profil en long. On voit que leurs niveaux sont 2 à 3 m au-dessus du fil d'eau d'étiage futur. Leur rejet au Var ne sera pas impacté par le retour des graviers et l'abaissement du seuil 7.

### 7.3.2 Impacts sur la station hydrométrique

La station hydrométrique est décrite au § 3.6 page 41. Les travaux d'abaissement du seuil ne vont plus permettre de réaliser des mesures hydrométriques dans des conditions satisfaisantes, notamment parce la hauteur résiduelle du seuil sera trop faible pour assurer une stabilité suffisante de l'écoulement, dans une morphologie en tresses (cf. les figures du § 7.2.1.1 page 89). Notons que, même sans abaissement du seuil, l'avancée des graviers aurait à elle seule entraîné une dégradation importante de la qualité de la mesure.

## 8 MODELISATION HYDRO-SEDIMENTAIRE

### 8.1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Cette modélisation simule l'évolution des fonds moyens du lit du Var en fonction de la chronique des débits liquides, sur une crue ou sur plusieurs années.

En se basant sur une hydrologie moyenne, elle peut donc permettre d'estimer la chronologie de l'évolution des fonds à venir, et apporter des éléments sur l'année optimale pour l'abaissement du seuil 7, et, en complément, puisque cette date sera fonction de l'hydrologie réelle à venir, elle peut mettre en évidence un indicateur d'évolution du lit devant déclencher cette opération d'abaissement.

En deuxième étape, le modèle sera utilisé pour simuler le fonctionnement physique du fleuve après abaissement du seuil 7 (évolution des fonds, évolution de la ligne d'eau en crue) pour d'une part, à titre de référence, la configuration testée sur modèle réduit physique (seuil entièrement abaissé), et d'autre part, la configuration avec microcentrale et sa voie d'accès conservées (puisque cette configuration n'a pas été testée sur le modèle réduit physique).

Avant ces différentes simulations, il est nécessaire de construire et de caler le modèle, afin de s'assurer de sa représentativité.

### 8.2 CONSTRUCTION DU MODELE

#### 8.2.1 Modèle utilisé

Le logiciel utilisé est CAVALCADE développé par ARTELIA.

Ce logiciel de simulation couplée de l'hydraulique et du transport solide permet de calculer l'évolution des fonds moyens d'un cours d'eau et simultanément les lignes d'eau au cours d'une crue ou d'un ou plusieurs cycles hydrologiques.

CAVALCADE analyse les évolutions du lit en fonction des apports entrants, et de la mobilisation et du transport des matériaux le constituant. Il calcule de façon simultanée l'évolution des fonds moyens (exhaussement, incision ou stabilité) et la ligne d'eau (donc avec l'influence de l'évolution des fonds). Le logiciel est conçu pour pouvoir modéliser des crues (introduction d'un hydrogramme en entrée) ou des cycles hydrologiques (introduction d'une courbe des débits classés) ou encore plusieurs années connues (chronique des débits observés).

La géométrie du lit est cependant prise en compte de façon simplifiée (sections rectangulaire du lit mineur et du lit majeur).

Comme tout modèle, il nécessite, avant de modéliser des aménagements, d'être calé, c'est-à-dire de représenter au mieux la réalité observée. Dans le présent contexte, il s'agit :

- De s'assurer que le modèle, avec sa géométrie simplifiée, fournit des lignes d'eau proches des modèles hydrauliques existants, utilisé pour les études antérieures ;
- De reproduire le plus fidèlement possible l'évolution passée du lit, telle que décrite plus haut dans le texte.

## **8.2.2 Données utilisées**

### **8.2.2.1 TOPOGRAPHIE**

Les données topographiques utilisées sont celles déjà exploitées pour l'analyse morphologique (cf. § 4.2).

En fonction de la nature des données, différents éléments peuvent être estimés :

- LIDAR, photogrammétrie et profil en long : la cote du fil d'eau permet d'établir le profil en long du cours d'eau (sous réserve que le levé soit réalisé à l'étiage) ;
- Photogrammétrie et LIDAR : ces éléments permettent de définir également la cote des bancs végétalisés, la largeur du lit actif et des bancs, la cote des digues ...

### **8.2.2.2 GRANULOMETRIE**

Compte tenu des différentes études réalisées et disponibles sur le Var, de nombreuses mesures granulométriques ont pu être réalisés ; parmi les principales sources d'information, il est possible de citer :

- La granulométrie Pradon (cf. figure suivante) : en 1972. Pradon, ingénieur des Ponts et Chaussées a publié en 1972 dans un article concernant « les travaux d'aménagement du Var inférieur » la granulométrie moyenne des sédiments du fond du lit du Var dans la basse Vallée. Cette granulométrie dans la masse, réalisée avant la construction des seuils, était à l'époque bien représentative des matériaux du Var de Plan du Var jusqu'à la mer ;
- Un jeu de données de granulométries mesurées en surface ou dans la masse en 2002, ayant servi de référence pour l'étude Sogreah en 2003 (référence /14/).

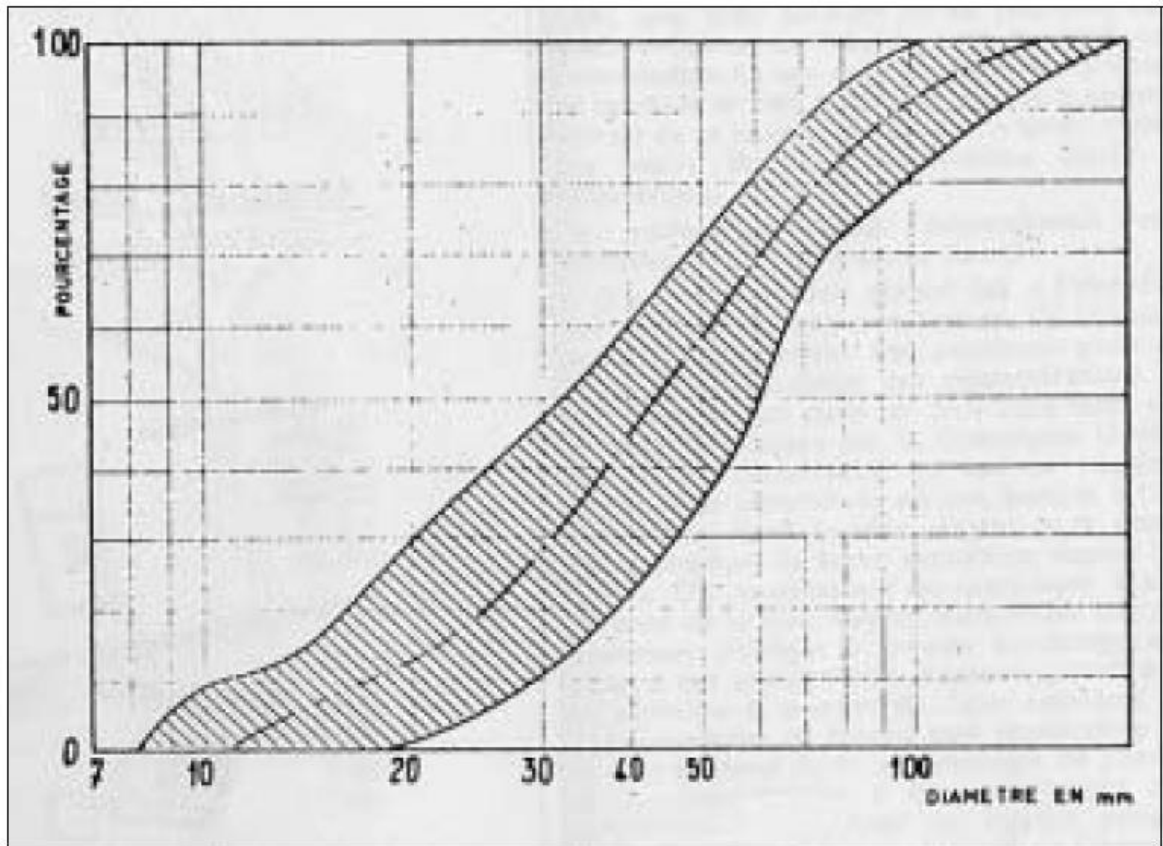


Figure 87 : Granulométrie Pradon

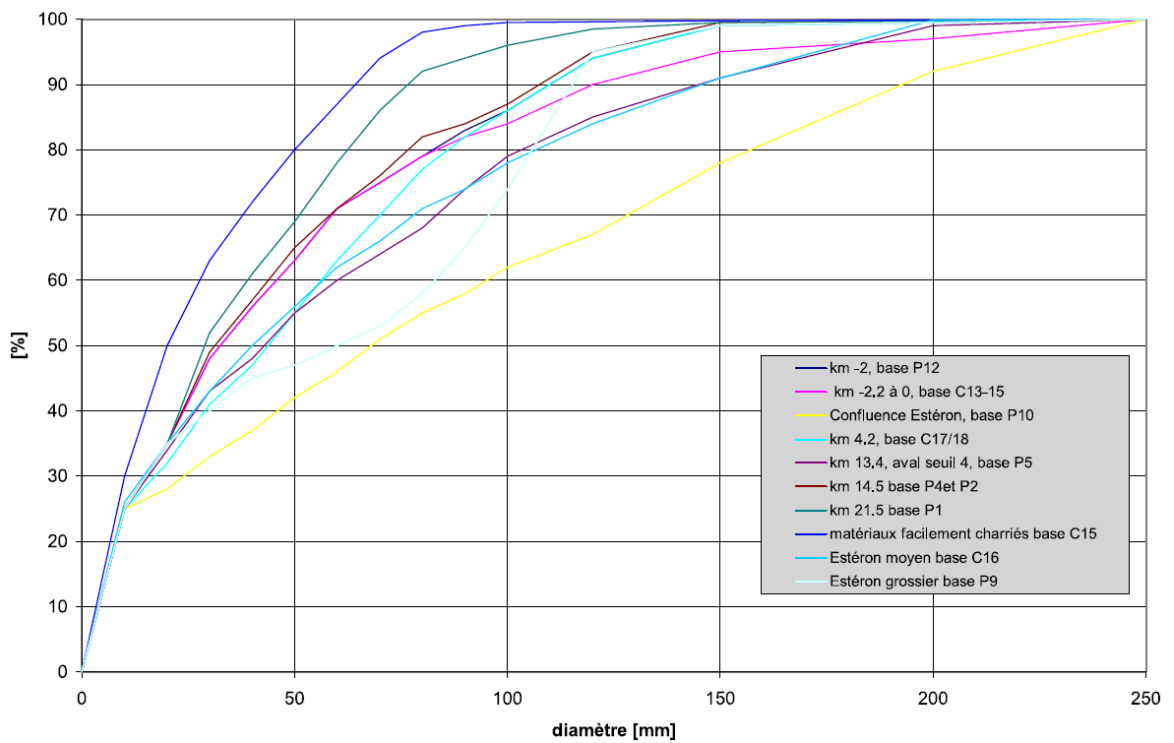


Figure 88 : Granulométrie de 2003 (source : /14/) [les PK sont identiques à la présente étude]

Afin d'analyser la sensibilité de l'évolution du lit au type de sédiments effectivement transportés, deux granulométries ont été retenues :

- Une granulométrie (granulométrie 1) issue des mesures réalisées dans le lit du Var entre la confluence avec l'Esteron et le seuil n°4. Cette granulométrie avait également été retenue dans l'étude Sogreah de 2003 et les simulations numériques effectuées au cours de cette étude. Il est à noter que cette granulométrie reste très proche de la granulométrie établie par Pradon ;
- Une granulométrie (granulométrie 2) établie à partir des prélèvements réalisés dans la langue de matériaux effectivement en progression dans le lit du Var (en aval du seuil 10). Cette granulométrie a également été réutilisée dans différentes études sur modèle réduit, notamment sur le modèle réduit de la trémie de la Manda au droit du seuil 7 (référence /11/).

**Tableau 10 : Granulométries retenues pour l'étude**

|            | Granulométrie 1 | Granulométrie 2 |
|------------|-----------------|-----------------|
| <b>dm</b>  | 55 mm           | 45 mm           |
| <b>d16</b> | 19 mm           | 25 mm           |
| <b>d30</b> | 23 mm           | 29 mm           |
| <b>d50</b> | 44 mm           | 36 mm           |
| <b>d84</b> | 100 mm          | 69 mm           |
| <b>d90</b> | 115 mm          | 73 mm           |

### 8.2.2.3 CHRONIQUE DE DEBIT

Les stations hydrométriques du pont de la Manda (Y6442020) et du pont Napoléon III (Y6442010 et Y6442015) permettent d'estimer les débits moyens journaliers au droit du seuil 7. La station du pont de la Manda, bien qu'étant situé à proximité immédiate de la zone d'étude, présente des lacunes importantes dans sa chronique et des incertitudes fortes sur la relation hauteur/débit au droit de la station, en particulier sur la gamme de débit correspondante au fonctionnement de la microcentrale.

Par conséquent, les données de débit utilisées sont issues de la station hydrométrique du Pont Napoléon 3. Avant novembre 2015, il s'agit des données de la station « amont » (Y6442010). A partir de décembre 2015, il s'agit des données de la nouvelle station « aval ».

**Note** : pour cette station, les données ne sont pas disponibles du 24 novembre 2000 au 30 décembre 2005 et du 31 décembre 2006 au 20 novembre 2007. Cette absence de données hydrologique sur cette période rend difficile l'exploitation des profils en long de 2001 et 2002 en terme de modélisation. Nous verrons plus loin (§ 8.3.4) que nous avons tenté une reconstitution de la chronique des débits journaliers pendant ces lacunes en nous basant sur la station du Var à Malaussène [La Mescla] (Y6432010) plus en amont.

#### 8.2.2.4 DEBITS CLASSES

Pour modéliser les évolutions futures du lit du Var (simulations prospectives), deux méthodes sont envisageables pour les débits liquides à introduire :

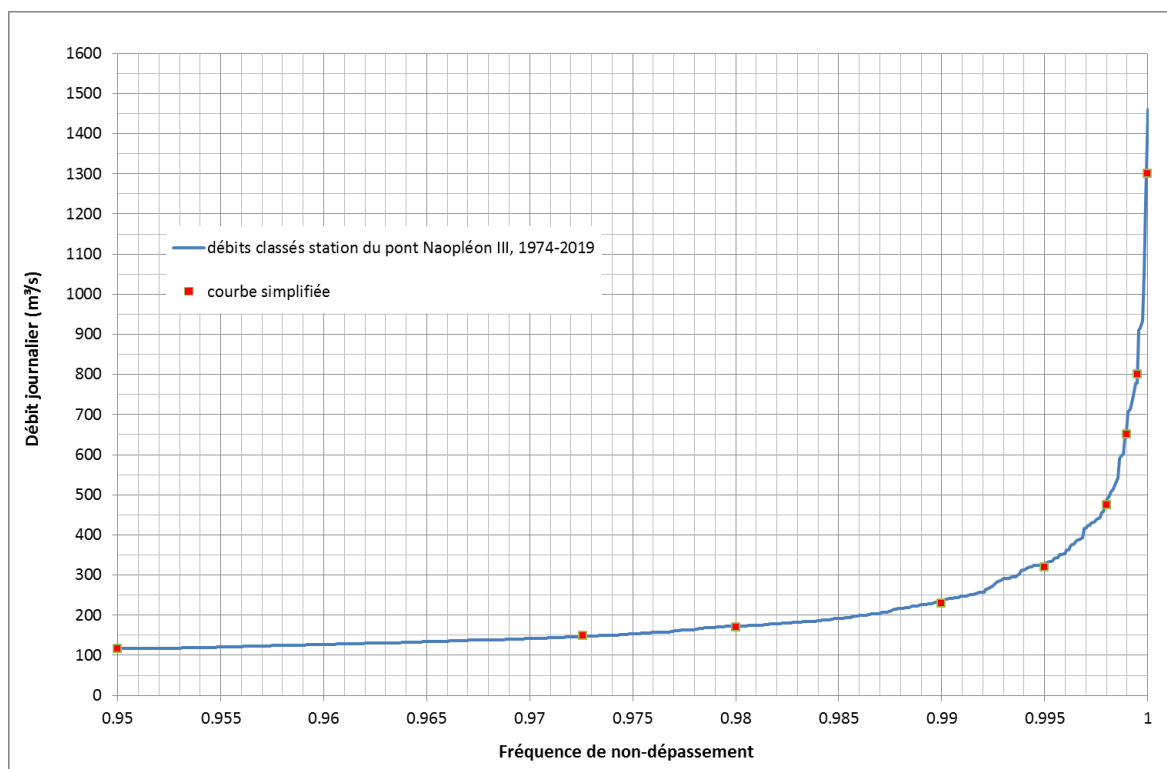
- Reproduire une chronique de débit déjà observée dans le passé ;
- Considérer une succession d'années moyennes.

La première méthode avait été employée dans l'étude de 2003 (réf. /14/). Elle présente l'inconvénient de reproduire la variation passée de l'hydraulicité d'une année sur l'autre : il est bien sûr très probable que la variation de l'hydraulicité des années à venir ne soit pas semblable à celle des années passées.

Nous préférons employer la deuxième méthode, qui présente l'avantage de tendre vers la situation la plus probable lorsque le nombre d'années simulées augmente.

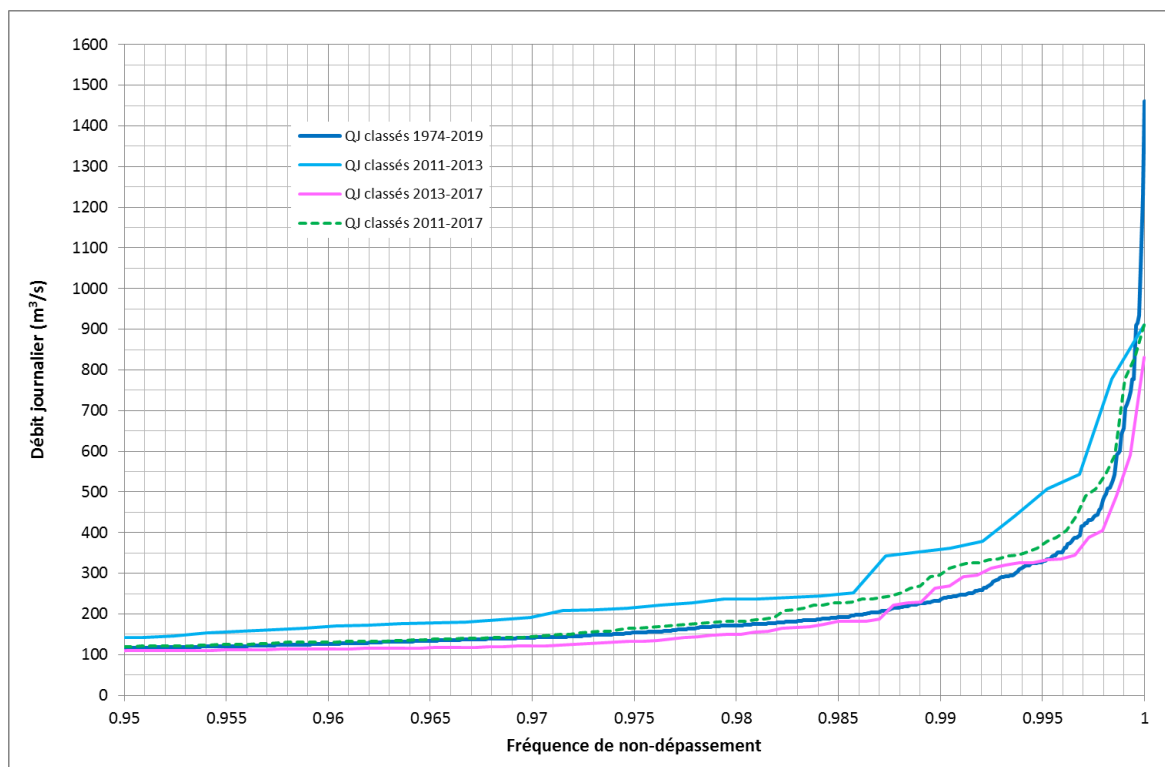
Les débits journaliers de ces années moyennes sont basés sur (et respectent) la courbe des débits classés du Var au pont Napoléon III (stations Y6442010 et Y6442015). Pour l'établissement de cette courbe des débits classés, nous avons considéré la période janvier 1974 – février 2019, soit, avec les lacunes, 11707 valeurs de débits journaliers. La figure ci-dessous présente cette courbe des débits classés brutes, et la simplification faite pour constituer une année moyenne, pour les débits les plus importants.

Par exemple, la fréquence de non-dépassement du débit de 320 m<sup>3</sup>/s est de 0.995, ce qui signifie que ce débit n'est égalé ou dépassé que 1.8 j en moyenne par an.



**Figure 89 : Courbe des débits classés (hautes eaux) du Var au pont Napoléon III (période 1974 - 2019, avec lacunes)**

La comparaison des périodes 2011 – 2013, 2013 – 2017, 2011 – 2017 (périodes des simulations de calage) avec la période complète (1974 – 2019) est faite, à titre d'information, sur la figure ci-dessous (pour les hautes eaux).



**Figure 90 : Comparaison de la courbe des débits classés sur quatre périodes (hautes eaux) pour le Var au pont Napoléon III**

Nous constatons :

- La forte hydraulité de la période 2011 – 2013 ;
- Une hydraulité moyenne (cela dépend de la gamme des débits considérés) de la période 2013 – 2017 ;
- Une hydraulité supérieure à la moyenne pour l'ensemble de ces deux périodes.

## 8.2.3 Description du modèle

### 8.2.3.1 EMPRISE

Le modèle s'étend du PK 5.0 (2 km en amont du seuil 10) au PK11.4 (seuil 6). Cette emprise du modèle permet en amont de représenter :

- Le lit du Var en amont du seuil 10, aujourd'hui relativement stable et ainsi de s'assurer de l'équilibre du profil en long en amont du premier seuil ;
- Au droit des seuils 9 et 10 et ainsi de confirmer la bonne représentation des processus hydromorphologiques observés suite à l'abaissement des seuils 9 et 10.

En aval, le modèle sera capable de représenter les évolutions morphologiques en aval du seuil 7 suite à l'abaissement de ce dernier.

### 8.2.3.2 REPRESENTATION DU LIT DU VAR

Une des difficultés de modélisation du Var dans ce secteur réside dans :

- La nécessité de représenter des seuils arasés progressivement au cours du temps. En effet, si le logiciel Cavalcade permet bien de représenter ce type d'ouvrage, il n'est en revanche pas possible de les modifier en cours de simulation ; Par conséquent, lorsque des abaissments de seuil sont réalisés, il est nécessaire de réaliser un nouveau modèle avec une nouvelle géométrie afin de prendre en compte ces évolutions ;
- La nécessité de représenter deux types de lit bien distincts, avec typiquement :
  - Un lit en tresses sur environ 250 m de large entre les digues sur les secteurs où le transport solide est de nouveau actif ;
  - En aval de l'avancée des graviers, un lit d'une cinquantaine de mètre de large, entouré de bancs limoneux, au sein de l'espace inter-digues.

Suite aux derniers développements de CAVALCADE, ce dernier a la possibilité de représenter, pour une section donnée, un lit mineur accompagné de son lit majeur, afin de tenir compte de l'étalement de l'écoulement lorsque ce dernier bascule dans son lit majeur. Dans ces conditions, il a été décidé de représenter :

- Le lit en tresses par un lit mineur de 250 m environ de large entre les digues, sans lit majeur ;
- Le lit avec bancs avec un lit mineur correspondant au lit du Var et un lit majeur correspondant aux bancs.

Dans le premier cas, le niveau du fil d'eau à l'étiage est généralement une bonne approximation du fond moyen du lit.

Dans le second cas, il est nécessaire de disposer d'une bathymétrie pour le niveau du fond du lit mineur, le niveau du lit majeur étant la cote moyenne des bancs déduite de la topographie disponible.

Il est important de noter qu'en cas d'engravement total du lit mineur, le lit est alors considéré comme unique, de largeur égale à la largeur des lits majeur et mineur combinés. Dans l'hypothèse du retour du transport sédimentaire sur le secteur aval, une fois le lit mineur rempli, les évolutions seront alors observées sur l'ensemble de l'espace inter-digues.

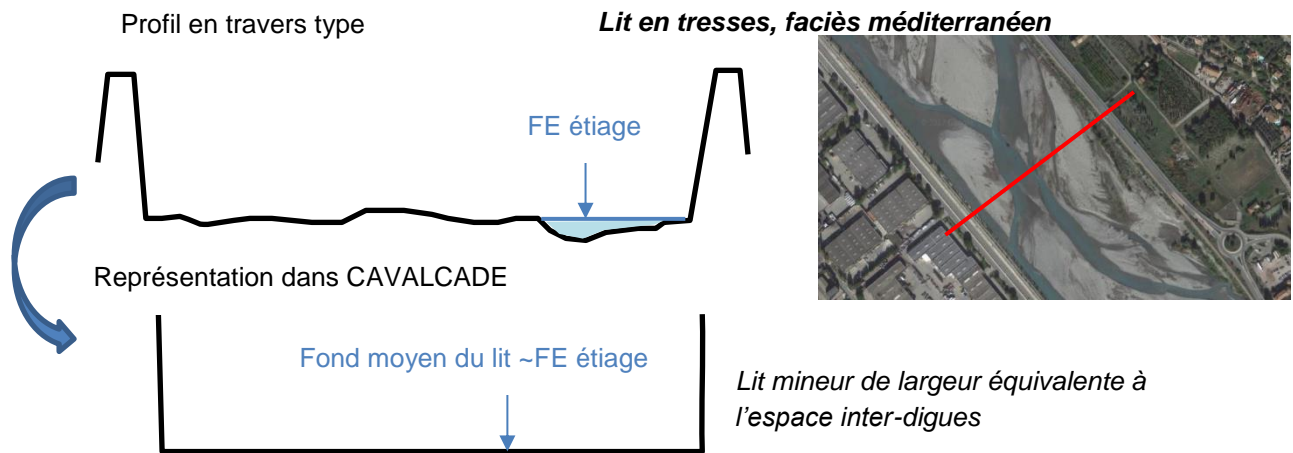


Figure 91 : Représentation dans CAVALCADE d'un profil type lit en tresses

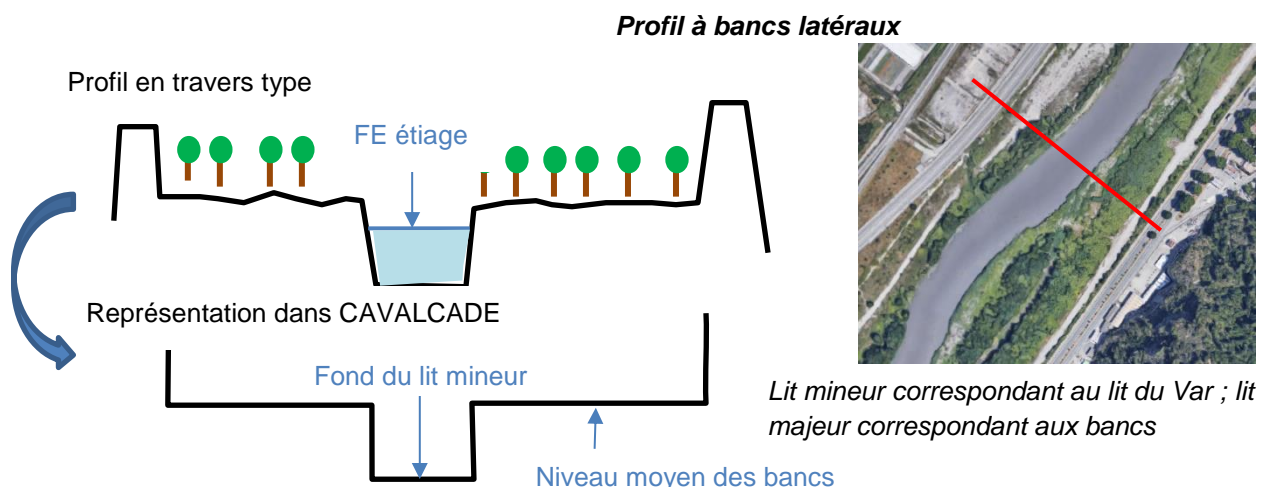


Figure 92 : Représentation dans CAVALCADE d'un profil type lit avec bancs latéraux

Cette description géométrique doit toutefois tenir compte des phénomènes se produisant lors de l'avancée des graviers. En effet, les bancs de graviers, lors de leur avancée, chassent les limons en place, par érosion latérale, au moins sur une certaine épaisseur.



**Figure 93 : Avancée des graviers et chasse des limons, par érosion latérale, en aval du seuil 8 entre 2012 (à gauche) et 2014 (à droite)**

Pour mieux représenter dans le modèle ce phénomène, on sera ainsi amené à « supprimer », en aval de l'avancée de graviers, dans la géométrie du modèle, les limons présents. Cela éloigne de la réalité la représentation des lignes d'eau pour les débits de hautes eaux, mais modérément, car elles sont essentiellement contrôlées par le seuil en aval du bief considéré ; mais permet une représentation plus conforme du transport des graviers et des volumes en jeu. La réalité est sans doute plus complexe et moins tranchée, et cette représentation introduit une incertitude forte dans le calcul des volumes de graviers déposés, et donc des apports amont.

### 8.2.3.3 REPRESENTATION DE LA LOI HAUTEUR DEBIT DES SEUILS

Les seuils existants sont représentés dans le modèle par un fond fixe, en distinguant :

- Le seuil lui-même, avec sa cote moyenne (lit mineur dans CAVALCADE),
- La voie d'accès de la microcentrale, avec sa cote moyenne (lit majeur dans CAVALCADE).

Le bâtiment de la microcentrale n'est pas compté, car non inondable.

Cette méthode assure une bonne représentation des écoulements sur les seuils (passage en régime critique sur la crête). Pour le seuil 7, sa configuration actuelle est plus complexe que les autres seuils, du fait de la présence du seuil provisoire en rive droite. Nous nous sommes basés alors sur les résultats du modèle physique (loi hauteur débit dans la configuration actuelle, source : archives de la référence /11/) pour ajuster les paramètres de largeur du seuil.

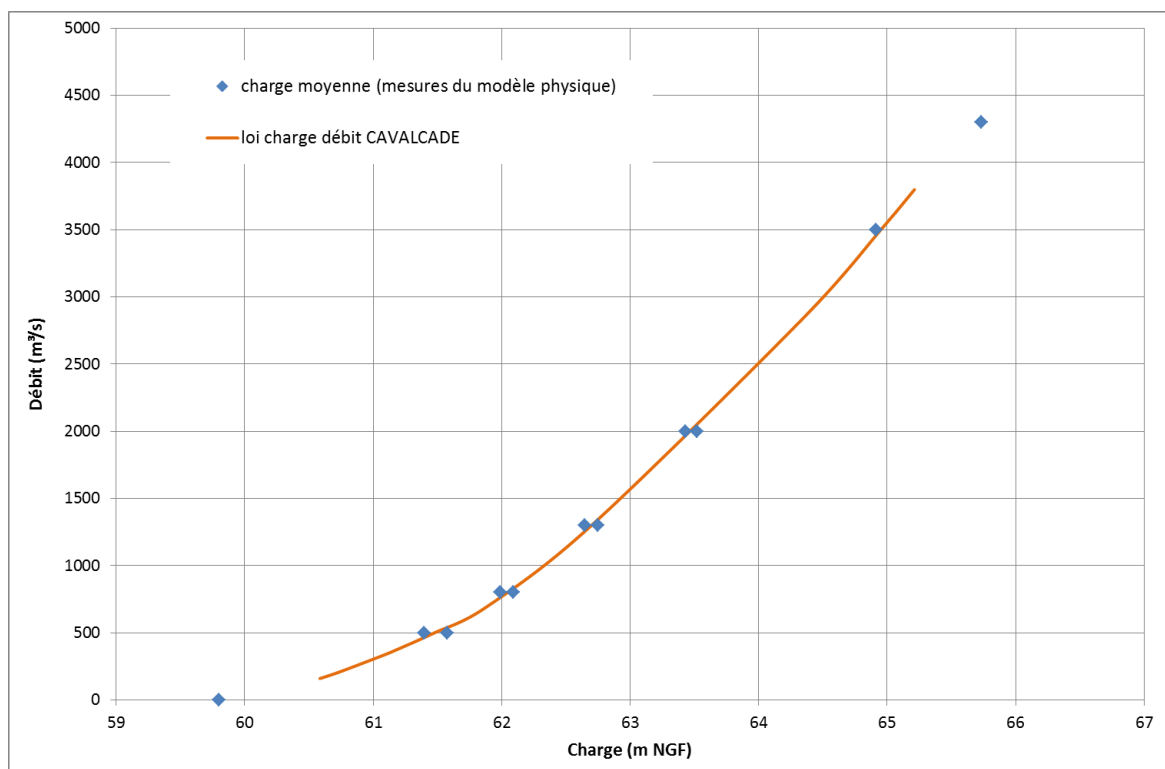


Figure 94 : Loi charge - débit du seuil 7 dans sa configuration actuelle (comparaison mesures du modèle physique et loi dans le modèle hydro-sédimentaire)

## 8.3 CALAGE DU MODELE

### 8.3.1 Principes

La première étape de modélisation consiste à caler le modèle afin de valider le fonctionnement de celui-ci ainsi que les différents paramètres utilisés, à savoir :

- La géométrie du modèle (largeur du lit, méthode de représentation du lit ...)
- La rugosité du lit ;
- La granulométrie des sédiments mis en place dans le modèle ;
- Les volumes de sédiments apportés en amont du modèle ;
- La formule de transport solide employée pour représenter les processus de charriage durant les simulations.

## 8.3.2 Loi de transport solide

### 8.3.2.1 LOIS DE TRANSPORT SOLIDE UTILISEES ANTERIEUREMENT

#### 8.3.2.1.1 Etude du fonctionnement physique du fleuve Var (référence /14/)

La formule de Meyer-Peter et Mueller, modifiée par Hunziker pour le calcul par fraction, est utilisée, mais il n'y a pas d'éléments dans le rapport présentant explicitement la relation débit solide / débit liquide.

#### 8.3.2.1.2 RN202bis – trémie de la Manda – modélisation hydraulique – essais sur fonds mobiles (référence /11/)

La formule de SOGREAH – LEFORT de 1991, avec une pente de 0.45 % et une granulométrie très proche de la granulométrie 2, a été utilisée. La relation débit solide / débit liquide est la suivante.

**Tableau 11 : Relation débit solide / débit liquide retenue pour le modèle physique de la trémie de la Manda**

|                                   |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Débit liquide (m <sup>3</sup> /s) | < 48 | 300   | 400   | 500   | 830   | 1500  | 2050  | 2900  | 3500  | 4300  |
| Débit solide (m <sup>3</sup> /s)  | 0    | 0.151 | 0.222 | 0.295 | 0.550 | 1.098 | 1.563 | 2.297 | 2.824 | 3.534 |

Les essais de calage, permettant de reproduire le modelé naturel du lit et la pente générale de celui-ci, ont permis de valider cette relation.

#### 8.3.2.1.3 RN202bis – modélisation des ouvrages de franchissement du Var – modèle de St-Joseph

(source : /16/)

La formule de LEFORT 2001, avec une pente de 0.58 % et une granulométrie intermédiaire entre les granulométries 1 et 2, a été utilisée. Les mesures de transport solide en sortie de modèle, lors de la phase de calage de celui-ci, ont été comparées aux résultats théoriques de la formule, en tenant compte des légères variations de la pente observées lors des essais. Leur bonne adéquation a permis la validation de cette relation. La figure suivante illustre cette comparaison.

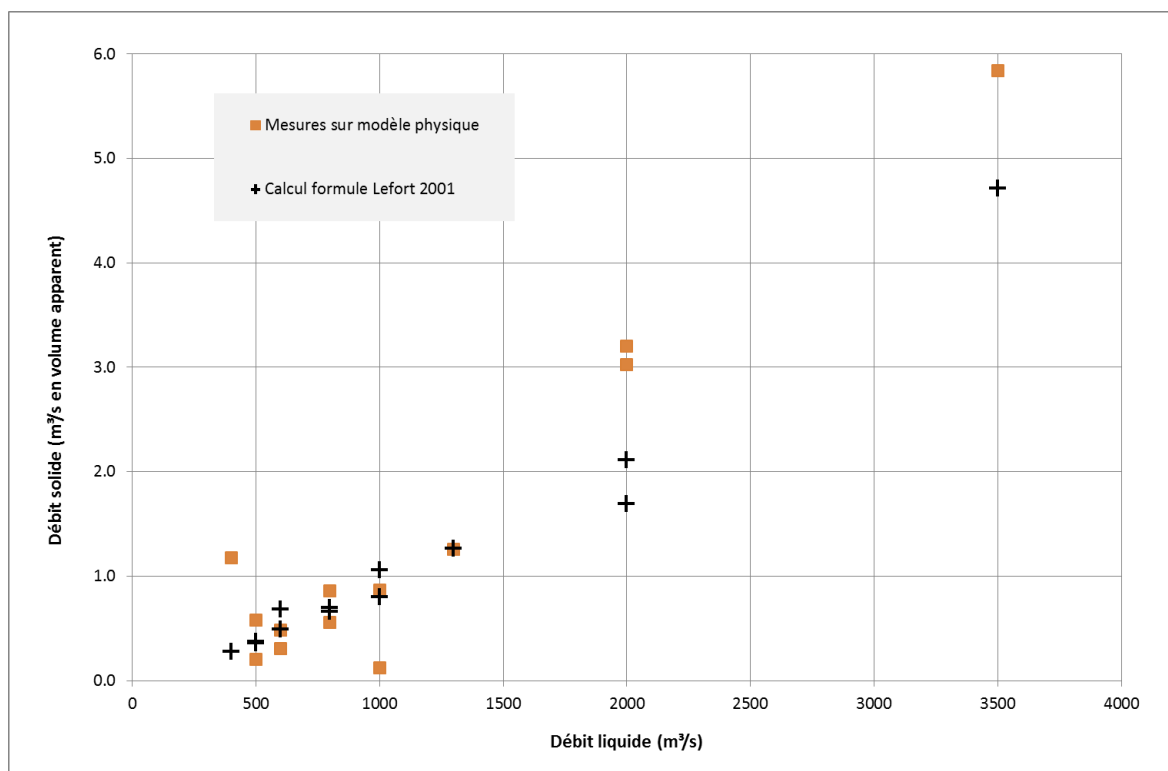


Figure 95 : Comparaison des mesures modèles et de l'application de la formule de Lefort 2001 pour le débit solide (modèle physique de la RN202bis à Saint-Joseph, référence /16/)

### 8.3.2.2 CHOIX D'UNE FORMULE DE TRANSPORT SOLIDE

Sur la base de ces éléments, nous avons comparé trois formules : les deux utilisées pour les modèles physiques réalisées dans cette zone (Lefort 1991 et Lefort 2001), et la formule plus récente de Lefort 2014<sup>3</sup> ; et pour les deux jeux de paramètres de ces deux modèles.

Les figures suivantes présentent cette comparaison.

<sup>3</sup> Philippe Lefort, Morphodynamique fluviale, approche théorique et expérimentale, Presses des Ponts, 2018

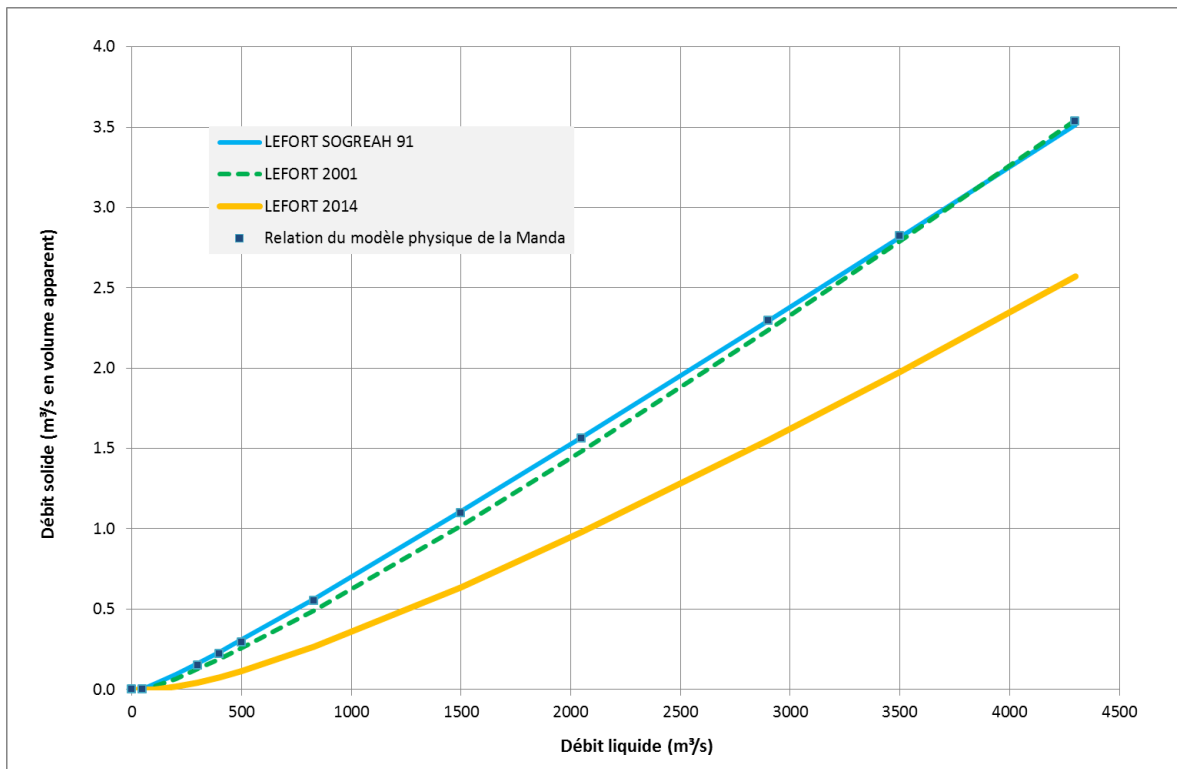


Figure 96 : Relations débit solide / débit liquide avec les paramètres du modèle physique de la Manda

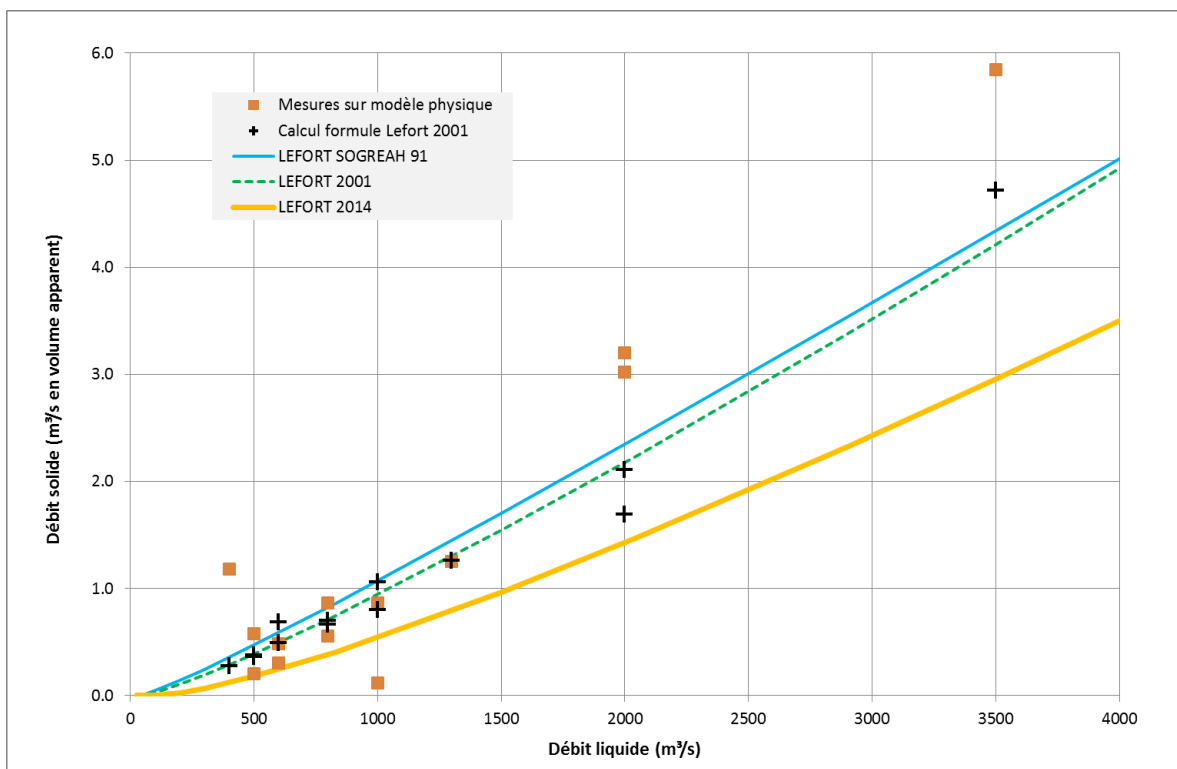
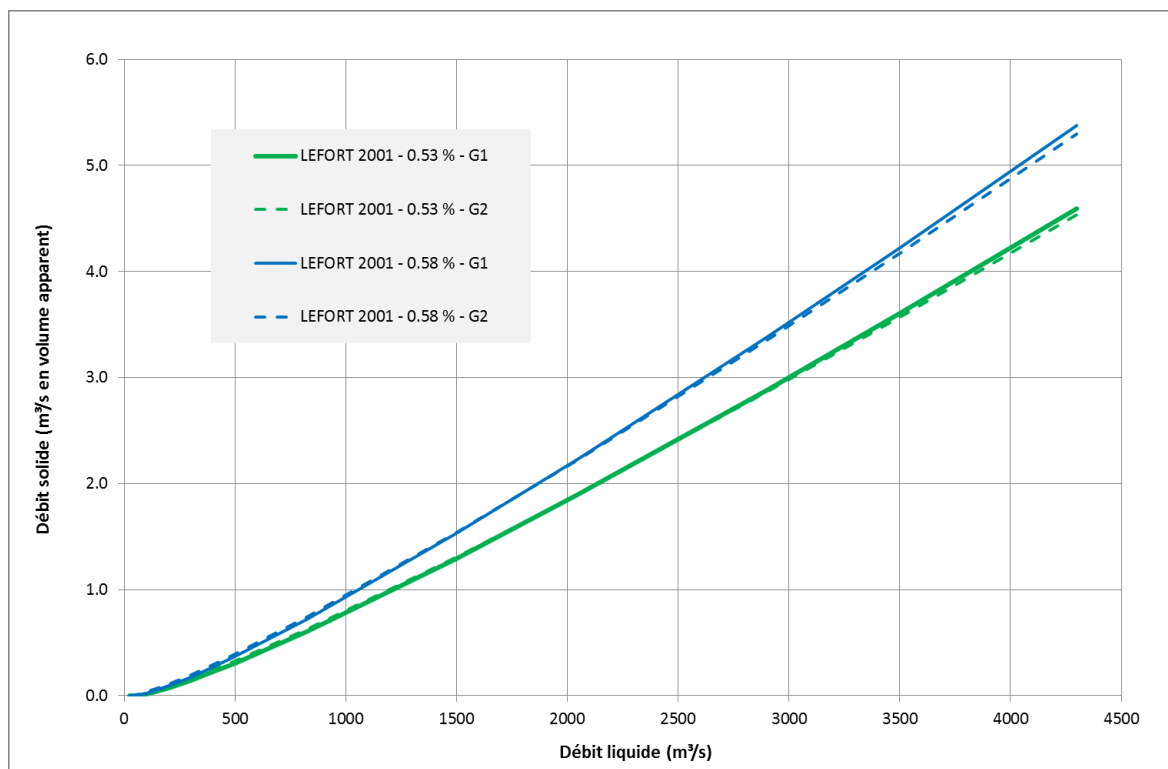


Figure 97 : Relations débit solide / débit liquide avec les paramètres du modèle physique de Saint-Joseph

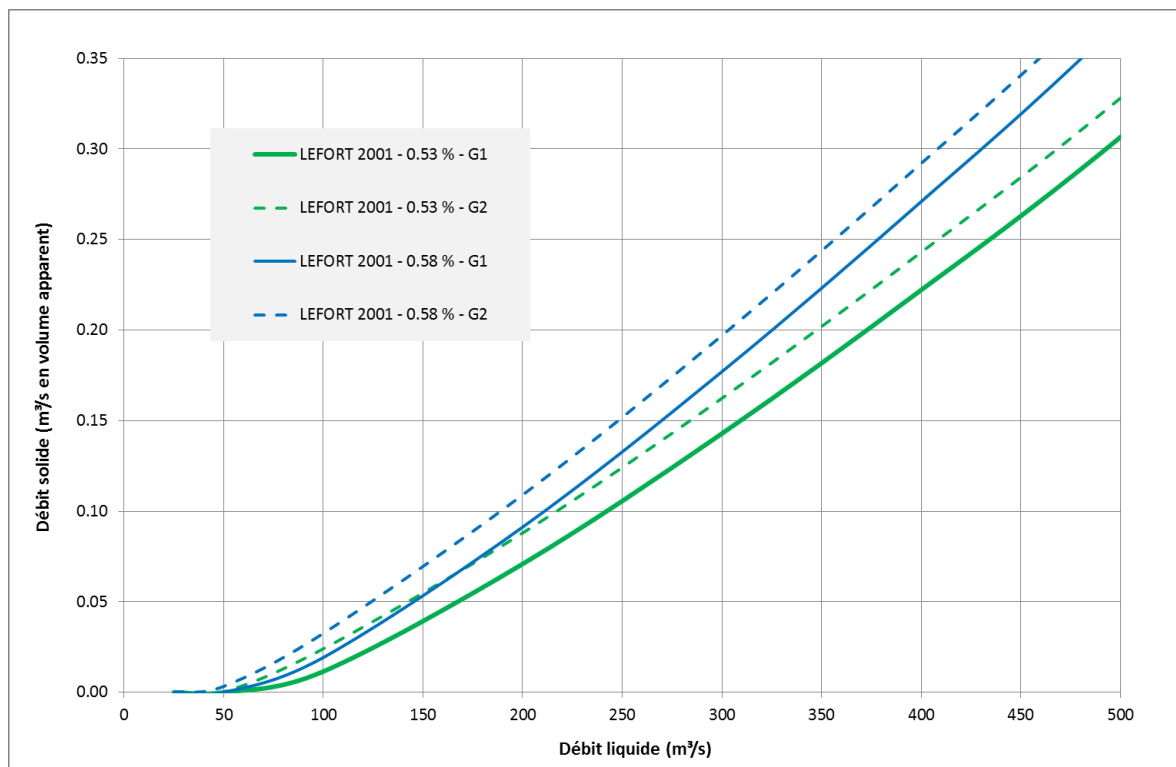
Parmi les trois formules testées, les formules de 1991 et 2001 paraissent les plus représentatives de la relation débit solide / débit liquide établie sur les modèles réduits physiques. La formule de 2001 a l'avantage d'intégrer le paramètre largeur, ce qui n'est pas le cas de la formule de 1991.

Nous retiendrons donc cette formule Lefort de 2001. Le graphe suivant montre son application pour une pente de 0.53 %, une largeur de 260 m, et les deux granulométries retenues.



**Figure 98 : Relations débit solide / débit liquide pour deux pentes et deux granulométries**

On peut voir sur cette courbe que le choix de la granulométrie (entre les deux choix retenus) a très peu d'influence sur le transport solide, alors que la pente est un paramètre sensible, comme généralement. Cependant, les modélisations qui sont menées par la suite le sont sur plusieurs années hydrologiques, pour lesquelles les « faibles » débits, juste au-dessus du débit de début de transport, sont les plus fréquents. Il est donc nécessaire de faire un focus sur ces faibles débits.



**Figure 99 : Relations débit solide / débit liquide pour deux pentes et deux granulométries (débits liquides inférieurs à 500 m<sup>3</sup>/s)**

La sensibilité de la granulométrie est beaucoup plus importante à ces débits liquides inférieurs à 500 m<sup>3</sup>/s, et donc, sur l'évaluation des volumes annuels d'apports de matériaux.

Les simulations de calage (voir ci-après), ainsi que la réflexion sur les estimations des apports sur une plus longue période ont confirmé la meilleure performance, de la granulométrie 1 (les calculs réalisés avec la granulométrie 2 fournissent des apports trop importants).

C'est donc cette granulométrie 1 qui est retenue dans la modélisation hydro-sédimentaire.

### 8.3.3 Simulations de calage

#### 8.3.3.1 CHOIX DES PERIODES MODELISEES

Il s'agit de reproduire l'évolution du lit entre deux dates. A la fois pour mener les calculs et faire les comparaisons entre les fonds modélisés et les fonds réels, il est nécessaire de disposer :

- D'une chronique continue de débits journaliers sur la période,
- D'une topographie du lit au début de la période et à la fin de la période.

Les données topographiques du lit sont disponibles, depuis 2000 :

- En 2001 et 2002 (levé de la ligne d'eau d'étiage),
- En 2005 (profils en travers avec bathymétrie entre les seuils 8 et 6,
- En 2006 (photogrammétrie) ; cependant l'analyse montre que ce levé ne permettait pas d'avoir un profil en long du fil d'eau d'étiage cohérent,

- En 2011 et 2013 (levés Lidar),
- En 2017 (levé photogrammétrique par drone entre l'amont du seuil 9 et l'aval du seuil 7).

Les deux stations hydrométriques de la basse vallée du Var (pont de la Manda, pont Napoléon III) possèdent des lacunes :

- Entre 1984 et 2005, et en 2007 pour la station de la Manda ;
- Du 24 novembre 2000 au 30 décembre 2005 et du 31 décembre 2006 au 20 novembre 2007 pour la station du pont Napoléon III.

En croisant les deux sources de données, il est possible de modéliser seulement deux périodes : de 2011 à 2013 d'une part, et de 2013 à 2017 d'autre part. En se calant sur les dates précises des levés réalisés, les deux périodes modélisées, où l'on cherchera à reproduire les évolutions du lit sont :

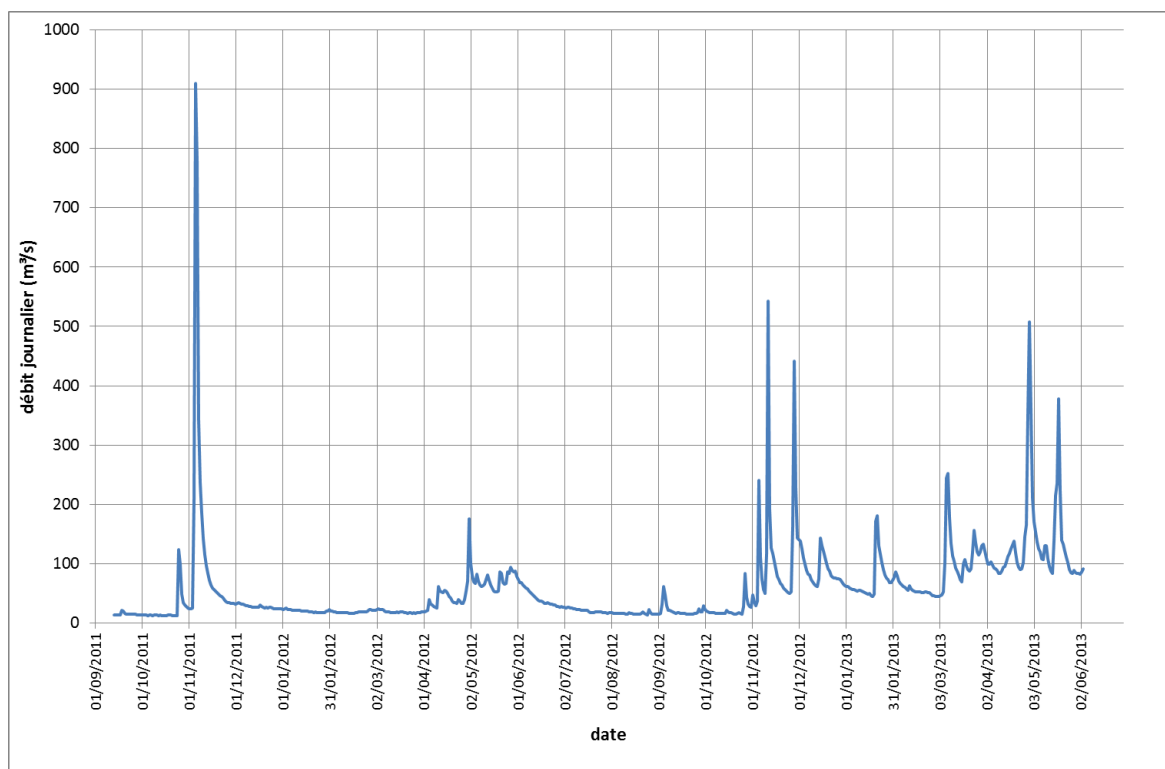
- Du 13/09/2011 au 04/06/2013,
- Du 05/06/2013 au 06/06/2017.

Sur ces deux périodes, ce sont les données de la station hydrométrique du Pont Napoléon III (Y6442010 et Y6442015) qui seront utilisées, car cette station est réputée plus fiable que celle du pont de la Manda.

### 8.3.3.2 PERIODE 2011 – 2013

Au démarrage de cette période (septembre 2011), le seuil 9 est considéré comme abaissé (travaux à l'automne 2011), avec une cote moyenne de 69.59 m NGF.

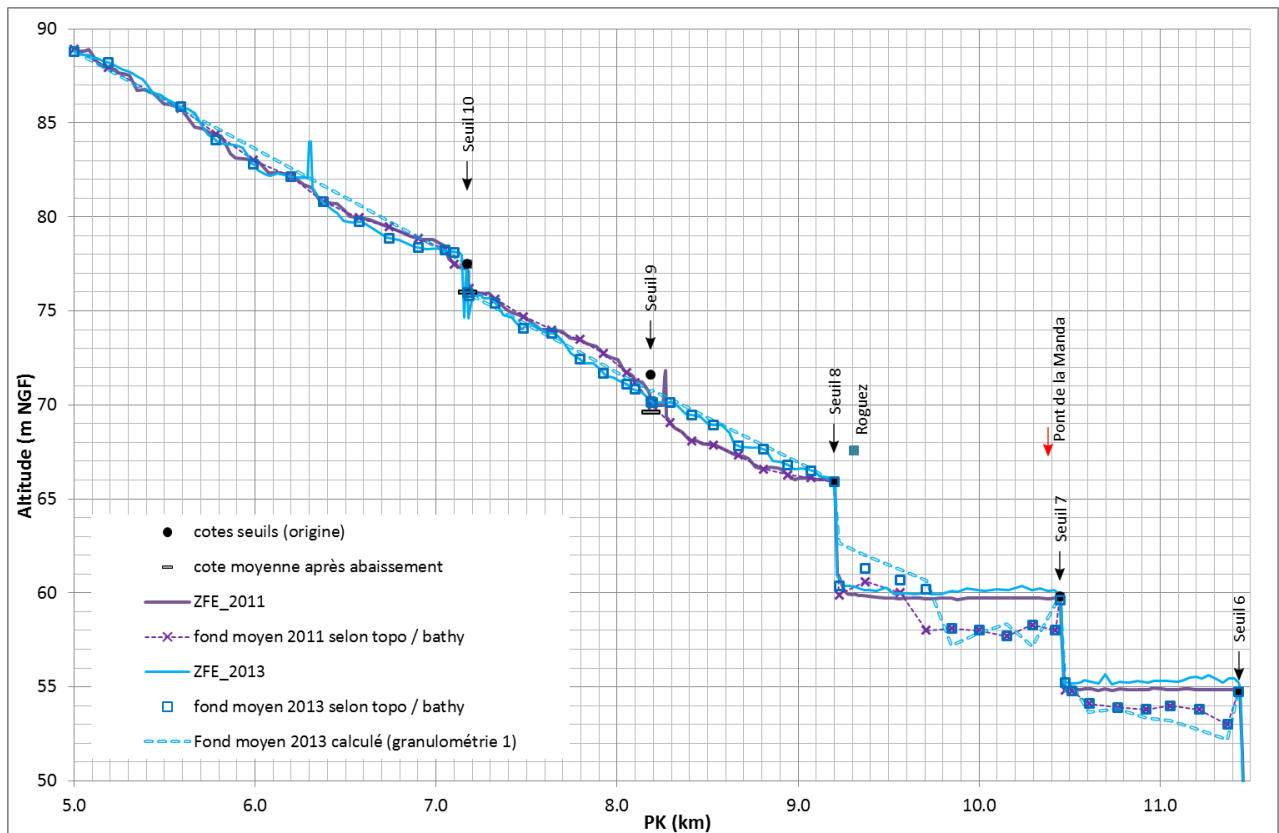
La chronique des débits journaliers sur la période (631 jours) est présentée sur la figure suivante.



**Figure 100 : Débits journaliers du Var (station du pont Napoléon III) sur la période 2011 - 2013 considérée**

La figure suivante présente :

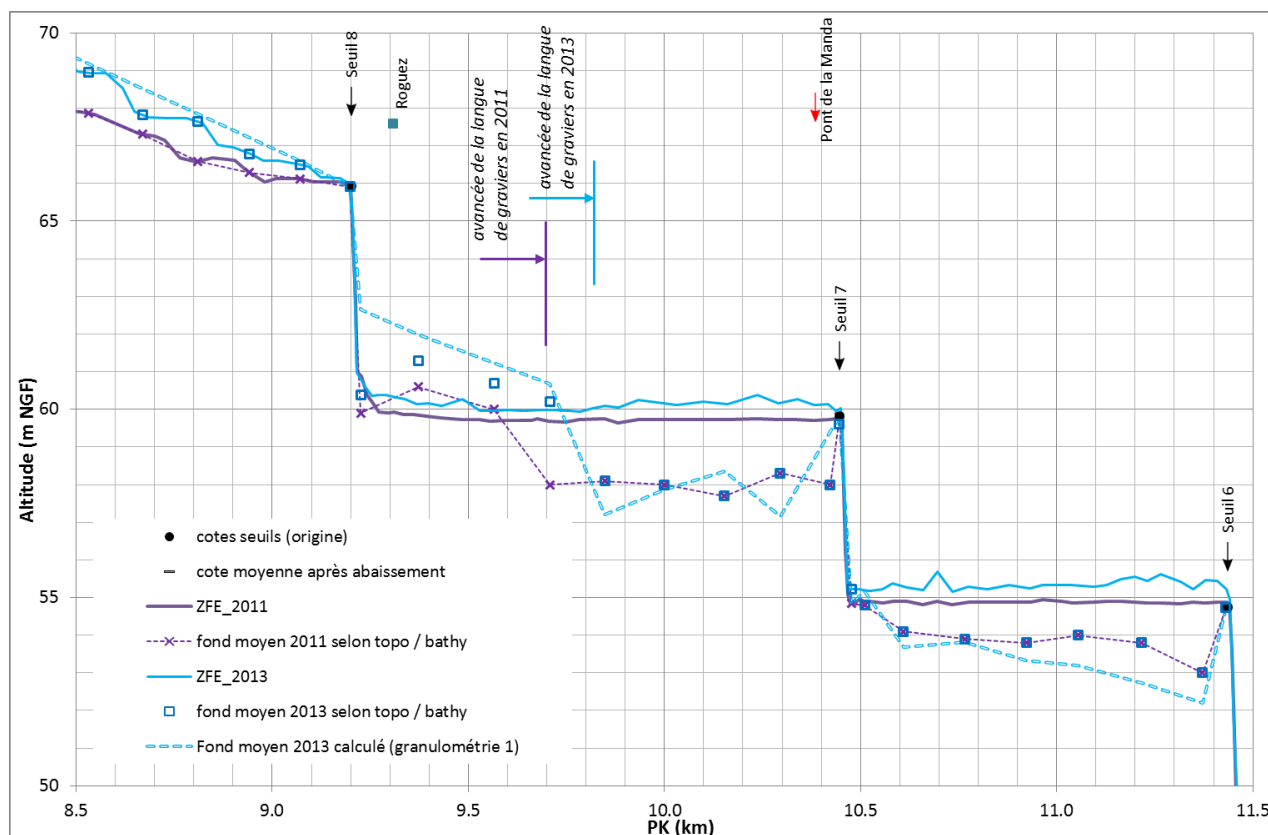
- Les fils d'eau d'étiage en 2011 et 2013,
- Le fond moyen du lit pour ces années, déduit des données topographiques et bathymétriques. En aval de l'avancée des graviers, c'est la bathymétrie de 2005 (fonds immergés) et le Lidar de 2011 ou 2013 (fonds émergés) qui sont utilisés,
- Les résultats de la modélisation (fond moyen du lit à la fin de la période).



**Figure 101 : Modélisation de la période 2011 - 2013 - profil en long**

Le modèle représente bien le lissage du profil en long se produisant sur la période, en amont et en aval du seuil 9, jusqu'au seuil 8.

La figure suivante se focalise entre l'amont du seuil 8 et le seuil 6.



**Figure 102 : Modélisation de la période 2011 - 2013 - profil en long (zoom seuil 8 – seuil 6)**

Le modèle calcule une sédimentation un peu plus importante que la réalité en aval du seuil 8 en volume, mais une avancée des graviers réaliste.

Il faut souligner que, pour maintenir aussi longtemps que possible l'exploitation de la microcentrale du seuil 8, des opérations de curage de l'aval du seuil 8 (avec mise en dépôt en aval rive gauche) ont été réalisées, ce qui impacte les niveaux moyens du lit dans ce secteur en 2013 (évalués sans ces dépôts).

Rappelons aussi que les incertitudes de la modélisation proviennent aussi de la mauvaise connaissance des fonds du chenal dans la partie enlimonnée, et des volumes de limons réellement chassés et ceux restant en place.

### 8.3.3.3 PERIODE 2013 – 2017

Au démarrage de cette période (juin 2013), le seuil 10 est considéré comme abaissé (travaux à l'automne 2011), avec une cote moyenne de 69.59 m NGF.

La chronique des débits journaliers sur la période (1463 jours) est présentée sur la figure suivante.

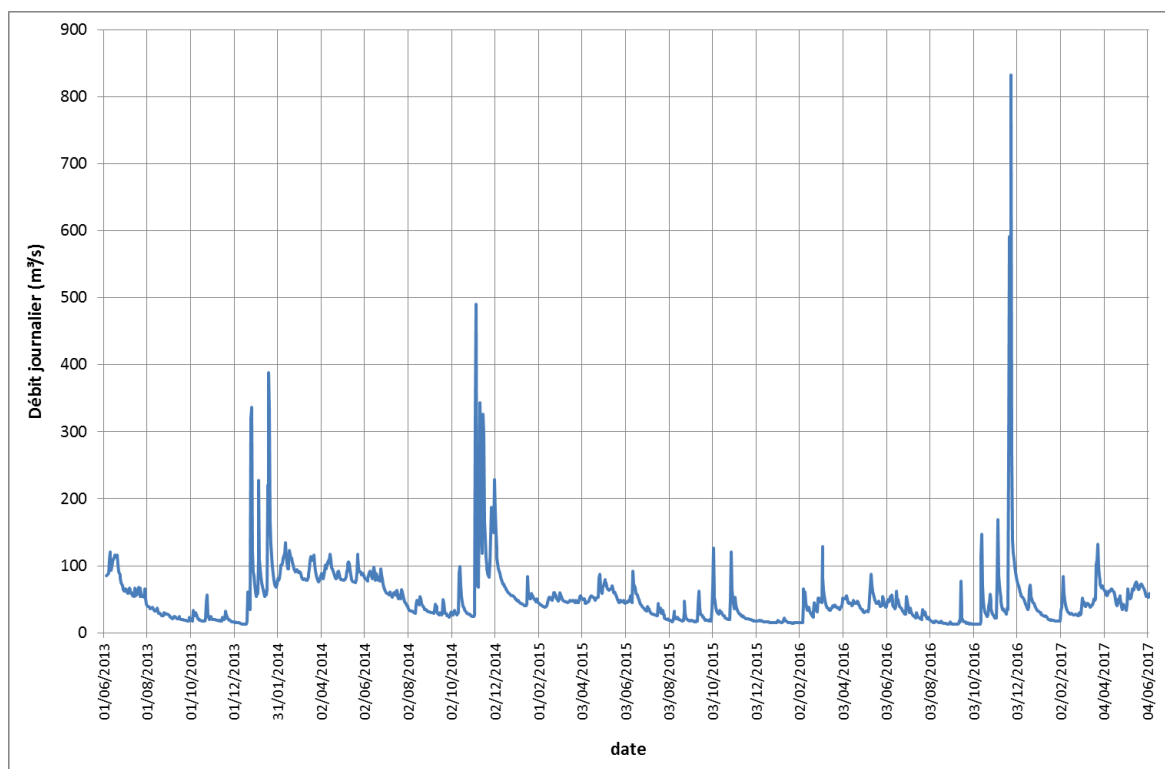
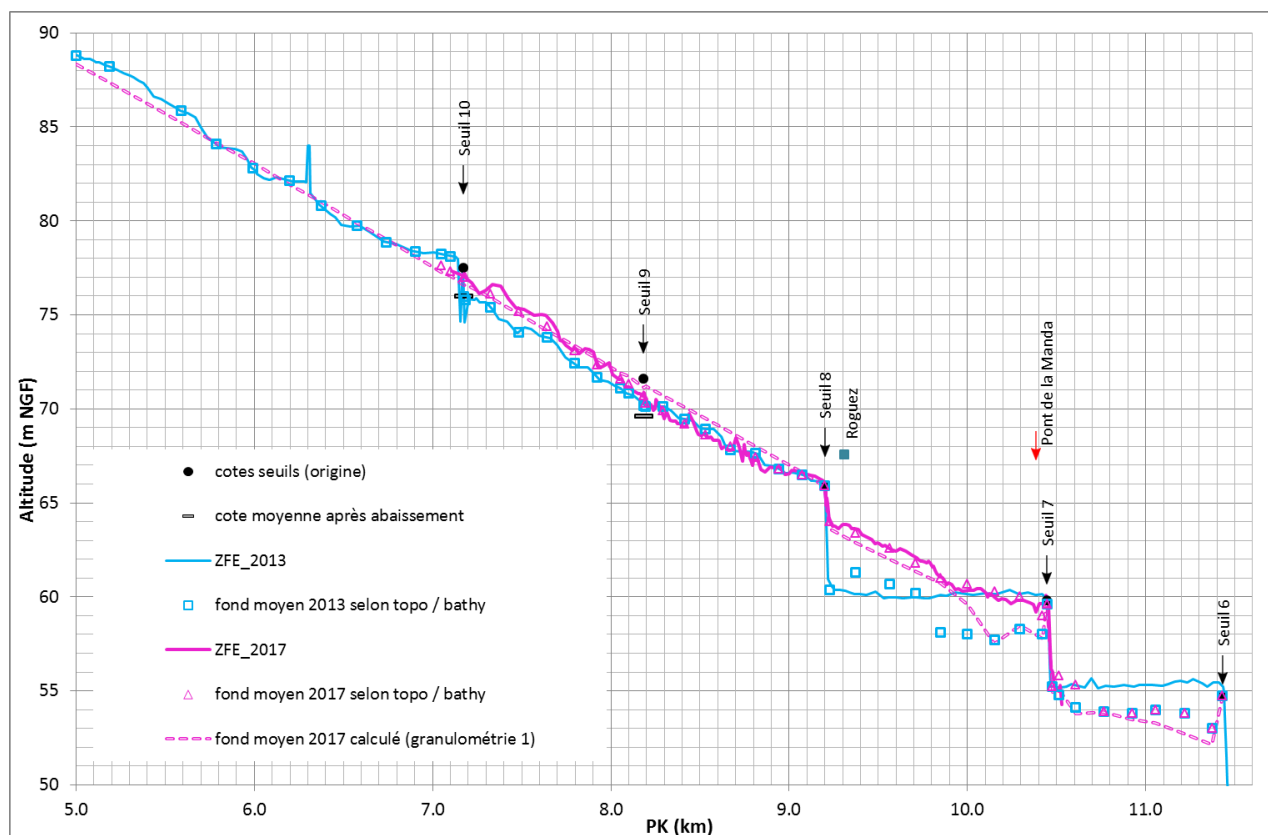


Figure 103 : Débits journaliers du Var (station du pont Napoléon III) sur la période 2013 - 2017 considérée

La figure suivante présente :

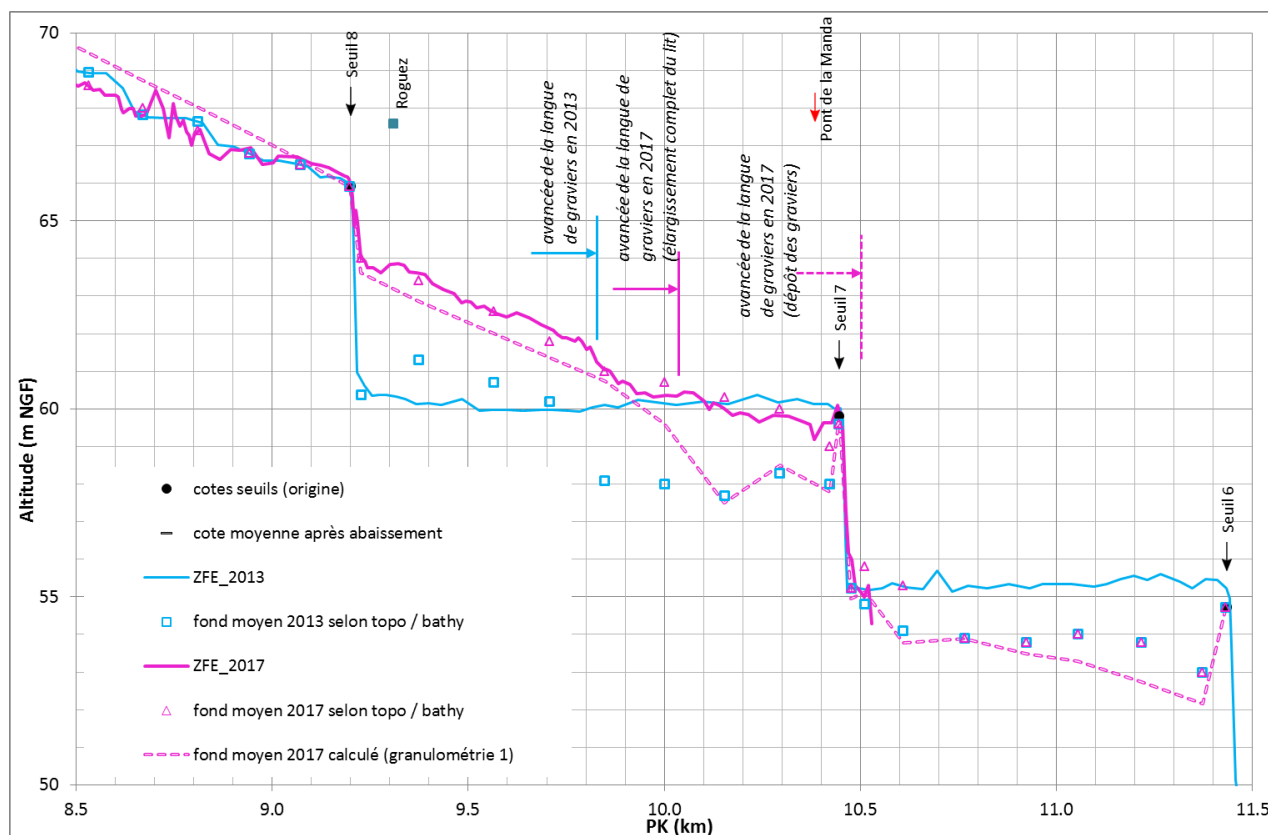
- Les fils d'eau d'étiage en 2013 et 2017,
- Le fond moyen du lit pour ces années, déduit des données topographiques et bathymétriques. En aval de l'avancée des graviers, c'est la bathymétrie de 2005 (fonds immergés) et le Lidar de 2013 ou 2017 (fonds émergés) qui sont utilisés,
- Les résultats de la modélisation (fond moyen du lit à la fin de la période).



**Figure 104 : Modélisation de la période 2013 - 2017 - profil en long**

En amont, les données de 2017 s'étendent très peu en amont du seuil 10. La modélisation représente bien néanmoins le rééquilibrage du lit (abaissement en amont, exhaussement en aval) au droit du seuil 10, abaissé au début de la période modélisée. Entre les seuils 8 et 9, les fonds calculés sont très réguliers (pente de 0.53 % correspondant à la pente des apports introduits dans le modèle) alors que les fonds observés ont tendance à présenter un profil concave.

La figure suivante se focalise entre l'amont du seuil 8 et le seuil 6.



**Figure 105 : Modélisation de la période 2013 - 2017 - profil en long (zoom seuil 8 – seuil 6)**

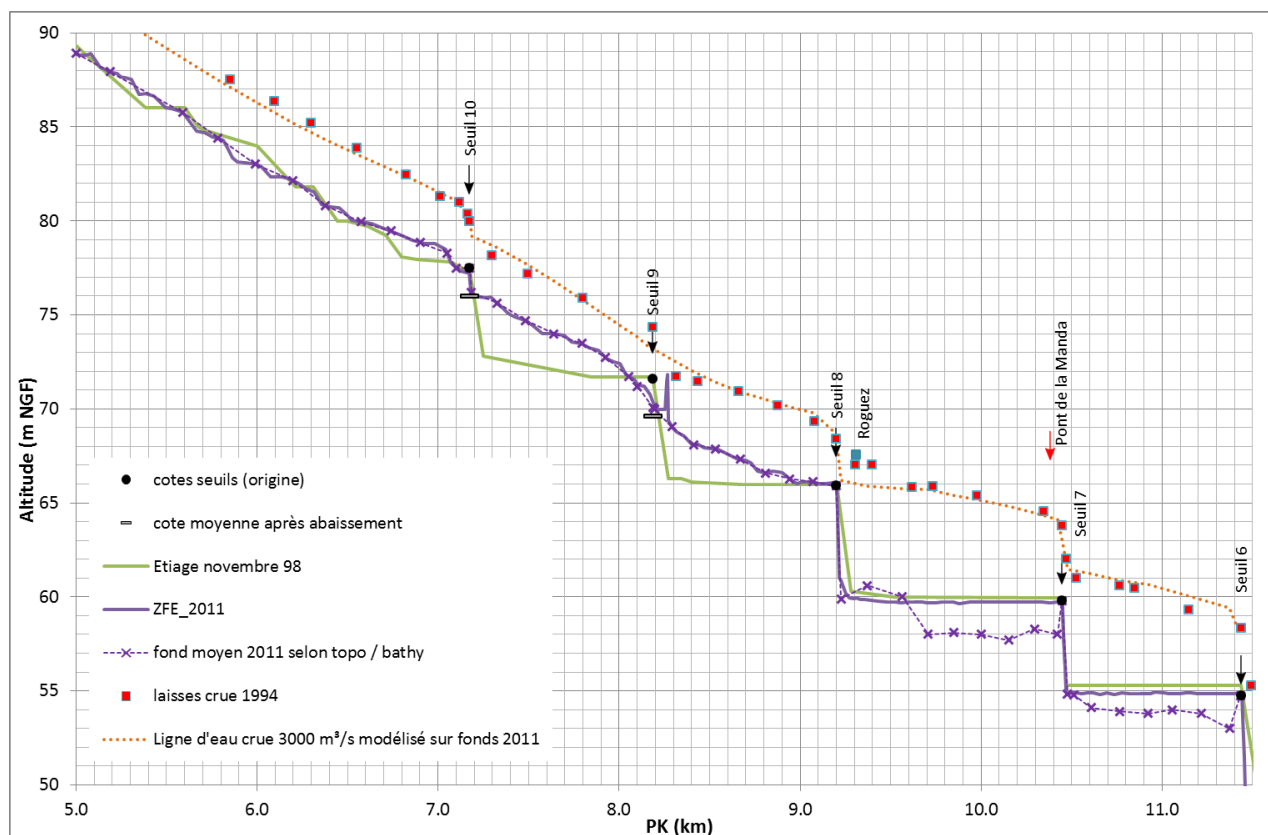
Le modèle calcule une sédimentation conforme à la réalité en aval du seuil 8 en volume et en niveau du lit, mais avec une limite d'avancée des graviers nette, située vers le PK 10.0, alors que les photos aériennes montrent une limite de l'avancée beaucoup moins nette qu'en 2011 ou 2013, et qui s'étale quasiment du PK 10.1 jusqu'au pied du seuil 7. Entre le PK 10.1 et le seuil 7, le chenal enlimonné ancien ne disparaît pas complètement. Le modèle calcule une légère sédimentation en pied de seuil 7, mais inférieure à la sédimentation observée.

Nous considérons toutefois que les hypothèses prises, identiques sur les deux périodes, représentent relativement correctement l'évolution du profil en long du Var et le retour des graviers.

#### 8.3.3.4 APTITUDE DU MODELE A REPRESENTER LES LIGNES D'EAU EN CRUE

CAVALCADE est un modèle à sections hydrauliques simplifiées (cf. § 8.2.1 et 8.2.3.2), il ne permet donc pas une modélisation hydraulique fine des lignes d'eau. Cependant, il est capable d'évaluer l'impact sur les lignes d'eau de crue d'une modification des fonds (par exemple un exhaussement), car la précision relative (comparaison de deux situations) est meilleure (et suffisante) que la précision absolue (ligne d'eau correspond à un événement observé ou théorique). Il faut cependant s'assurer d'une représentativité minimale du modèle pour un événement particulier. Pour cela, nous avons modélisé le débit de 3000 m<sup>3</sup>/s (débit de pointe estimé de la crue de novembre 1994 – cf. réf. /4/) sur les fonds de 2011, les plus anciens pour la présente démarche de modélisation.

La figure ci-après présente cette ligne d'eau, comparée avec les laisses de la crue de novembre 1994. Le fil d'eau d'étiage de 1998, proche de celui de 1994, est représenté également.



**Figure 106 : Profil en long de la ligne d'eau à 3000 m³/s**

Ces fonds différents entre 2011 et 1994 expliquent les principales différences entre la ligne d'eau modélisée et les laisses de crue : absence de graviers en aval du seuil 10 et seuil 9 non abaissé. En amont du seuil 10 (lit en tresses) et en aval du seuil 8 (lit enlimonné), la ligne d'eau modélisée représente bien les niveaux atteints par la crue de 1994. Les lignes d'eau calculées en crue par CAVALCADE sont donc tout à fait réalistes, et celles correspondantes à différentes configurations du lit pourront être comparées entre elles.

### 8.3.4 Validation des estimations des apports solides sur une longue période

Avant d'utiliser le modèle pour des simulations prospectives, il nous a paru utile de vérifier la cohérence des estimations des apports solides.

Sur les périodes précédemment modélisées, les apports solides en entrée de modèle sont les suivants :

- Période 2011 – 2013 : 570 000 m<sup>3</sup> (soit 290 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne) ;
- Période 2013 – 2017 : 600 000 m<sup>3</sup> (soit 150 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne).

Sur la période 2011 – 2013, cela représente en moyenne des apports de 200 000 m<sup>3</sup>/an.

Pour une année moyenne (utilisation de la courbe des débits classés de la période 1974-2019, cf. § 8.2.2.4), les apports solides sont estimés à 170 000 m<sup>3</sup>/an.

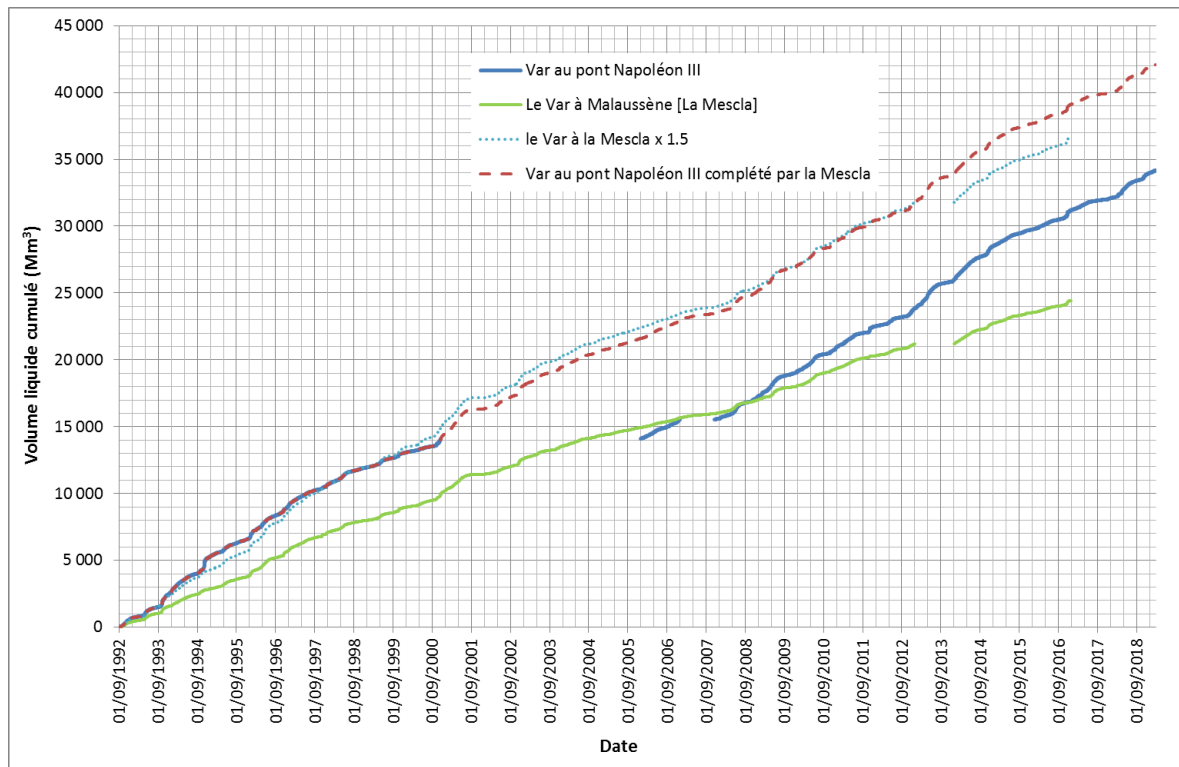
Ces différents résultats en termes de m<sup>3</sup> par an sont cohérents avec l'hydraulicité des différentes périodes considérées (cf. § 8.2.2.4 également).

Ils sont nettement supérieurs à l'estimation de l'étude du fonctionnement physique du lit du fleuve Var (réf. /14/) : 42 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne. Mais proches, tout en étant inférieurs, à l'estimation de l'étude de 1999 : 205 000 m<sup>3</sup>/an (réf. /18/).

En partant du principe que les apports de matériaux remplissent progressivement les biefs, sans transit vers l'aval au-delà du point d'avancée de ces matériaux, nous avons cherché à reconstituer sur une plus longue période cette avancée des graviers, et les volumes que cela représentait, et de les comparer avec les résultats de l'application de la formule de transport solide. L'estimation des volumes de dépôts est faite de façon simplifiée :

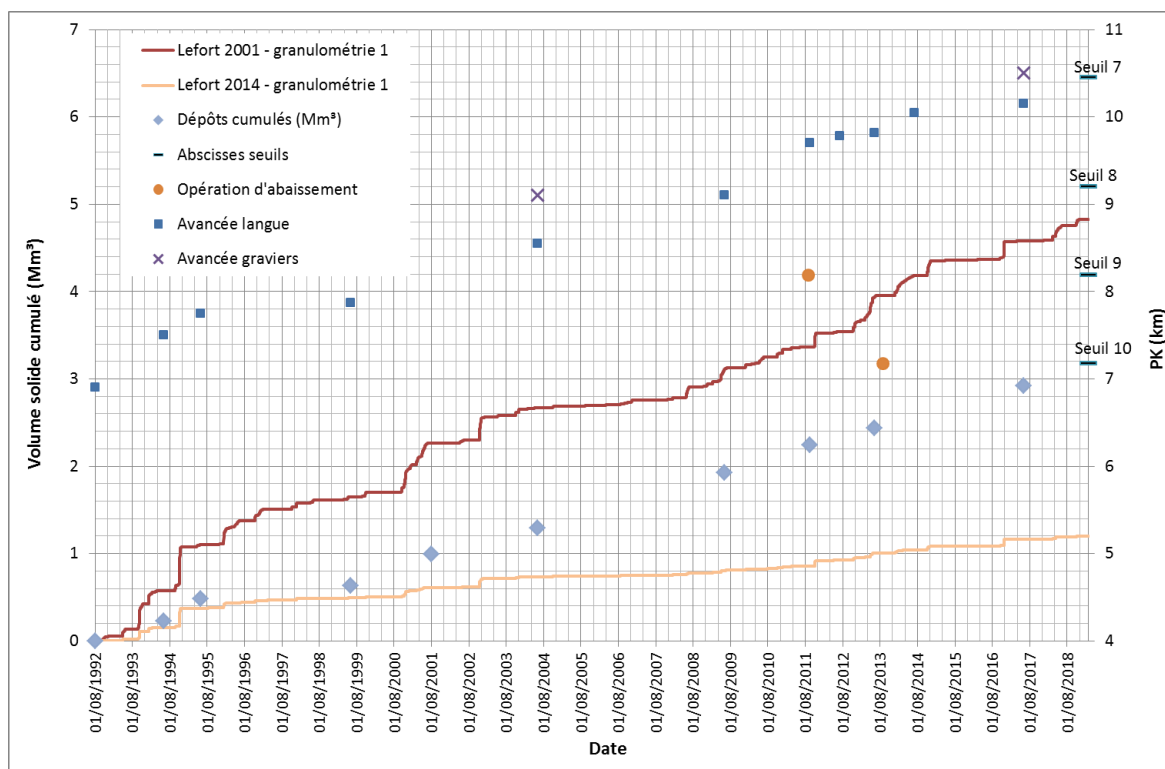
- Pente de remplissage de 0.53 %, régulière ;
- Non prise en compte du volume en place des limons (ils sont considérés chassés lors de l'arrivée des graviers) ;
- Profondeur du chenal enlimonné similaire à celle mesurée en 2005 dans les biefs enlimonnés (biefs seuil 8 – seuil 7 et seuil 7 – seuil 6) ;
- Prise en compte de l'abaissement des seuils 9 et 10 et de l'ajustement du profil en long en découlant.

Un préalable nécessaire est de disposer d'une chronique de débits journaliers plus longue, en comblant les lacunes de la station du pont Napoléon III. Nous avons utilisé les données de la station de la Mescla à Malaussène (Y6432010). Cette station se situe en amont des confluences du Var avec l'Estéron et la Vésubie. Nous avons corrigé ses données journalières d'un facteur de 1.5 pour être représentatif du Var en aval de l'Estéron. Le graphe suivant présente le cumul des volumes liquides sur la période 1992 – 2019, pour les données de la station du pont Napoléon III, pour celles de la Mescla (données brutes et données multipliées par 1.5), et pour les données reconstituées du Var en aval de l'Estéron. Le facteur appliqué aux données de la Mescla est fixé de façon à assurer une bonne reconstitution des débits de la station du Pont Napoléon III sur les périodes où cette donnée est disponible.



**Figure 107 : Volumes liquides cumulés sur le Var à la Mescla et au pont Napoléon III**

A partir de cette chronique des débits journaliers reconstituée, les apports solides sont calculés par la formule de transport solide retenue (la formule de Lefort 2014 est également représentée à titre de comparaison). Les volumes solides cumulés sont représentés sur la figure suivante. En parallèle, en se basant sur les photographies aériennes prises à différentes dates, la chronologie d'avancée des graviers est reconstituée. Lorsque des graviers apparaissent en aval de la langue proprement dite, cette limite aval est également relevée. Enfin, les volumes des dépôts sont calculés aux mêmes dates, de manière simplifiée (pente de remplissage de 0.53 %, chasse des limons, largeur homogène du lit du Var, prise en compte néanmoins de l'abaissement des seuils 9 et 10). Les volumes cumulés issus de cette approche sont également représentés sur la figure ci-dessous.



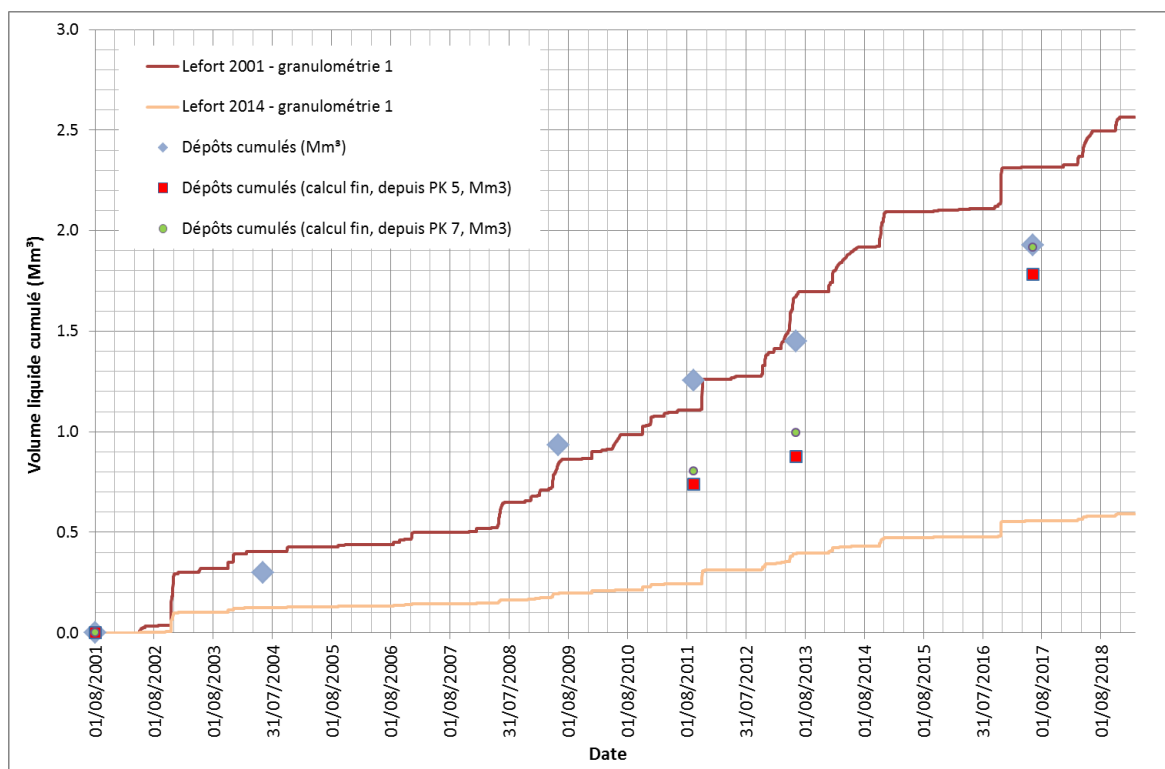
**Figure 108 : Volume solides cumulés (par calcul et par évaluation des dépôts) et chronologie de l'avancée des graviers, depuis 1992**

La lecture de ce graphique amène les remarques suivantes :

- Les courbes des volumes solides cumulés sont moins régulières que celles des volumes liquides : cela traduit le fait que le transport par charriage a lieu à partir d'un certain débit ;
- Ces apports solides (estimés par le calcul) peuvent être très faibles sur une longue période : exemple des « plateaux » au cours de la période 2003 – 2008 (sous couvert de la validité des débits reconstitués) ou de la période 2015 – 2016 ;
- Les points représentant la chronologie de l'avancée des graviers est indicative, car la relation entre l'avancée (en m) et le cumul des dépôts (en m<sup>3</sup>) n'est pas linéaire : dans un bief entre deux seuils, à un mètre d'avancée des graviers correspondant un volume d'autant plus fort que l'avancée se situe en aval du bief ;
- La courbe passant par les points du volume cumulé des dépôts est globalement parallèle aux volumes solides cumulés des apports estimés par calcul (formule de Lefort 2001), l'écart se faisant lors des premières années de la période considérée. Lors de ces premières années, des extractions étaient encore en cours, et faussent le calcul des dépôts.

La figure suivante présente les mêmes éléments, mais comptés à partir de 2001 pour écarter ce dernier biais.

Ont été également reportés les calculs des volumes déposés cumulés à partir de la différence des fonds moyens, fonds moyens basés sur les levés Lidar ou photogrammétriques pour 2011, 2013 et 2017 (cf. § 8.3.3). Pour 2001, les fonds moyens ont été estimés à partir du profil en long à l'étiage. Ils sont donc moins précis et représentatifs que pour les autres années.



**Figure 109 : Volume solides cumulés (par calcul et par évaluation des dépôts) et chronologie de l'avancée des graviers, depuis 2001**

Cette figure montre que la loi de transport utilisée est bien représentative, avec toutefois vraisemblablement une tendance à surestimer légèrement les apports solides. L'utilisation de la formule de Lefort 2014 sous estimerait quant à elle fortement les apports solides.

Il faut aussi rappeler que, sur cette période, de nombreuses années font l'objet d'une reconstitution des débits à partir de la station de la Mescla, qui présente sans doute des écarts avec la réalité des apports liquides.

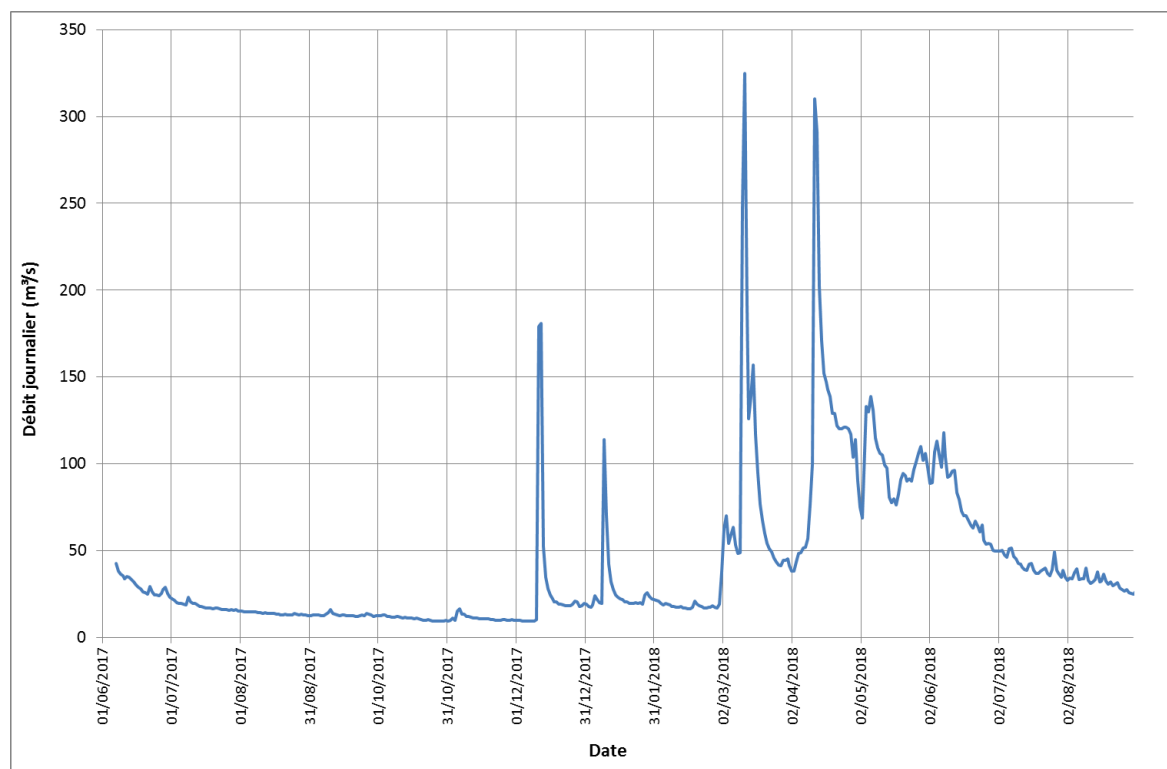
Sur une période de 16 ans (2001 à 2017), les apports moyens annuels seraient de  $120\,000\text{ m}^3/\text{an}$  (en se basant sur l'estimation des volumes de dépôts). L'approche utilisant la formule de Lefort 2001 donnerait  $140\,000\text{ m}^3/\text{an}$ . Autrement dit, et en simplifiant, les apports calculés sur 5 ans représentent les dépôts observés sur 6 ans (cette réflexion nous permettra de nuancer les prévisions de dépôts futurs basés sur le calcul).

## 8.4 MODELISATIONS

### 8.4.1 Période 2017 – 2018

Cette période s'étend de la fin de la période précédente (7/06/2017) à l'abaissement du seuil 8. Cet abaissement a été réalisé en fin d'été 2018 (entre juillet et septembre). Nous considérons arbitrairement la fin de cette période au 20/08/2018 (cela correspond à la date d'une photo aérienne), mais cette date de fin de période n'est pas déterminante (le débit du Var étant inférieur au débit de début d'entraînement des matériaux de juillet à septembre 2018).

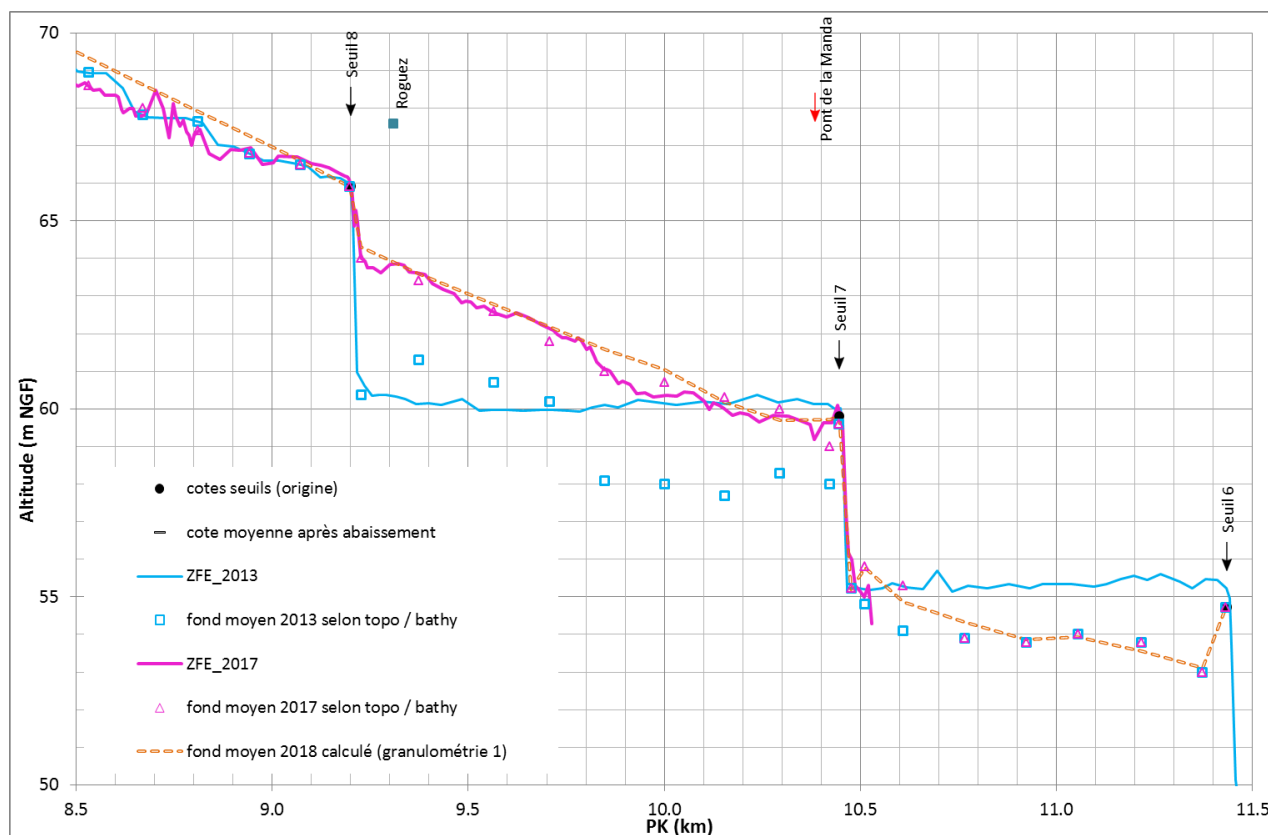
L'évolution du lit du Var est modélisée en prenant en compte les débits mesurés à la station du Pont Napoléon III (nouvelle station aval Y6442015). La chronique des débits journaliers sur cette période (440 jours) est présentée sur la figure suivante.



**Figure 110 : Débits journaliers du Var (station du pont Napoléon III aval) sur la période 2017 - 2018 considérée**

Cette période ne présente pas de crues importantes.

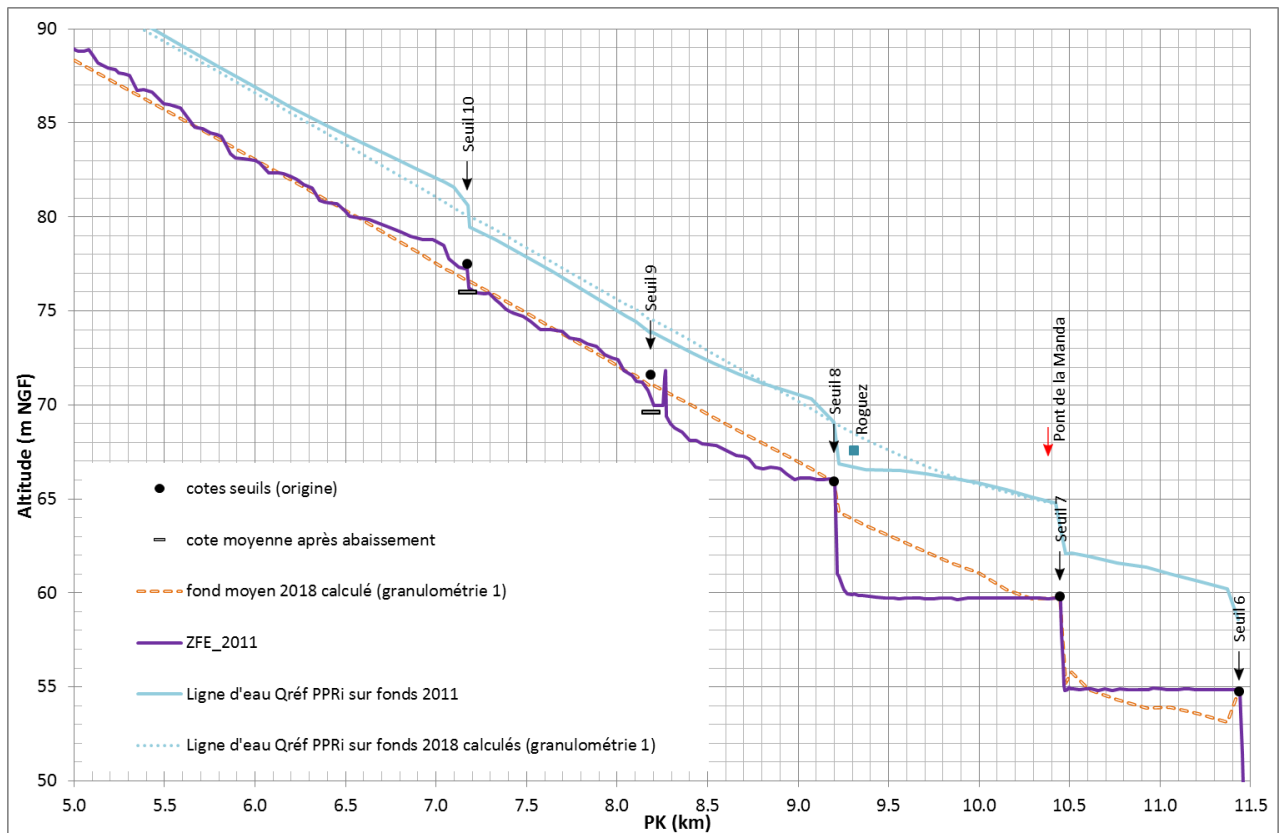
La modélisation de cette période débute à partir du fond moyen du lit 2017 estimé en fonction des données topographiques et bathymétriques. La figure suivante montre les résultats obtenus.



**Figure 111 : Modélisation de la période 2017-2018 - profil en long (zoom seuil 8 – seuil 6)**

En amont du seuil 8, le lit adopte la pente générale à 0.53 % (qui est pour rappel la pente des apports). En aval, l'évolution est limitée, avec un engravement qui se poursuit.

Cette situation 2018 a fait l'objet d'une modélisation de la crue de référence du PPRi (débit de pointe de 3800 m<sup>3</sup>/s), et d'une comparaison des lignes d'eau obtenues avec la même crue sur les fonds de 2011. Les résultats sont présentés sur la figure suivante.



**Figure 112 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m³/s (Qréf PPRi) avec états du fond 2011 et 2018 calculé**

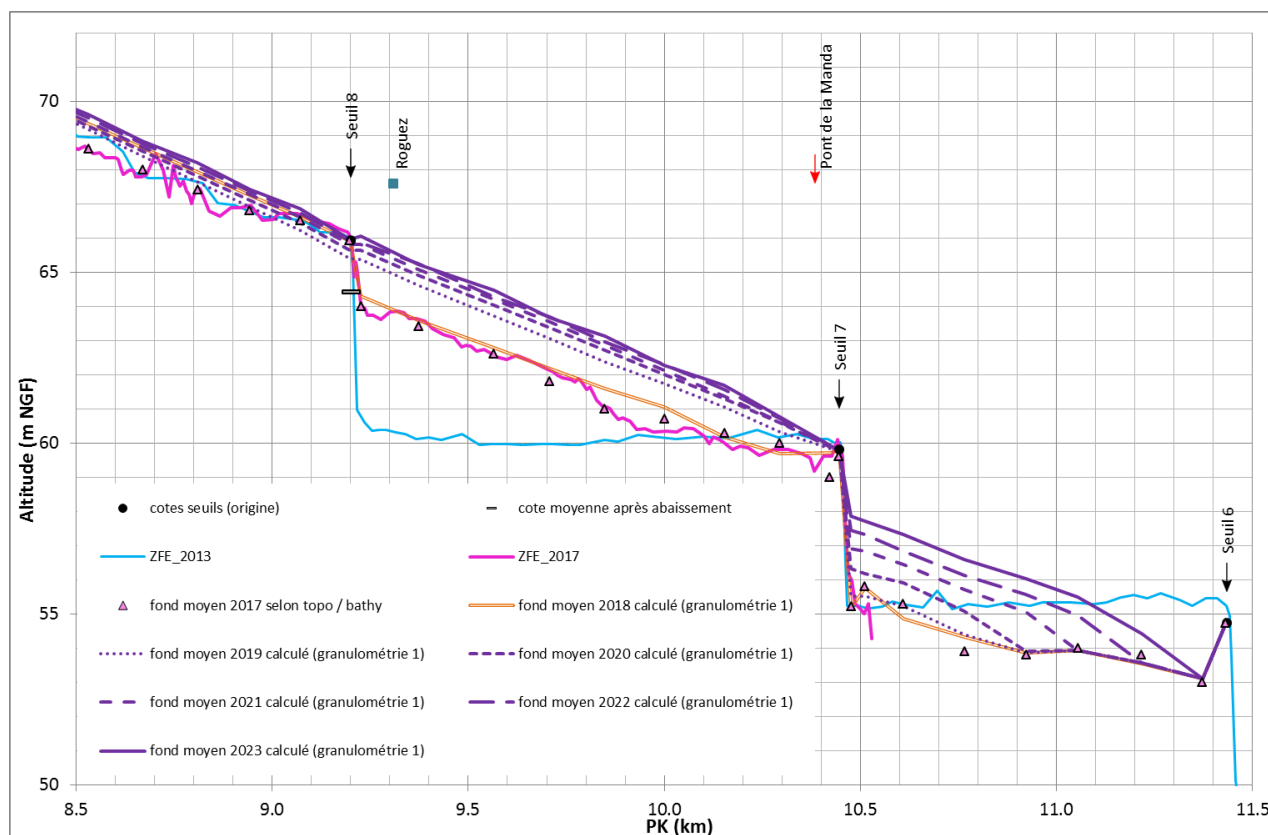
L'impact sur les lignes d'eau se situe en aval immédiat du seuil 8, avec des niveaux atteignant le sommet de la berge en rive droite (disparition de la revanche à ce débit).

#### 8.4.2 Période de 5 ans à partir de 2018 et abaissement du seuil 8

En milieu d'année 2018, le seuil 8 a été abaissé (cote moyenne : 64.41 m NGF), mais la microcentrale conservée. A partir de cette configuration, cinq années « moyennes » ont été simulées (soit de l'été 2018 à l'été 2023).

Les débits journaliers de ces années moyennes sont basés sur (et respectent) la courbe des débits classés du Var au pont Napoléon III (cf. § 8.2.2.4).

La figure suivante présente l'évolution simulée du fond moyen du lit du Var au cours des 5 années moyennes suivant 2018 et l'abaissement du seuil 8.



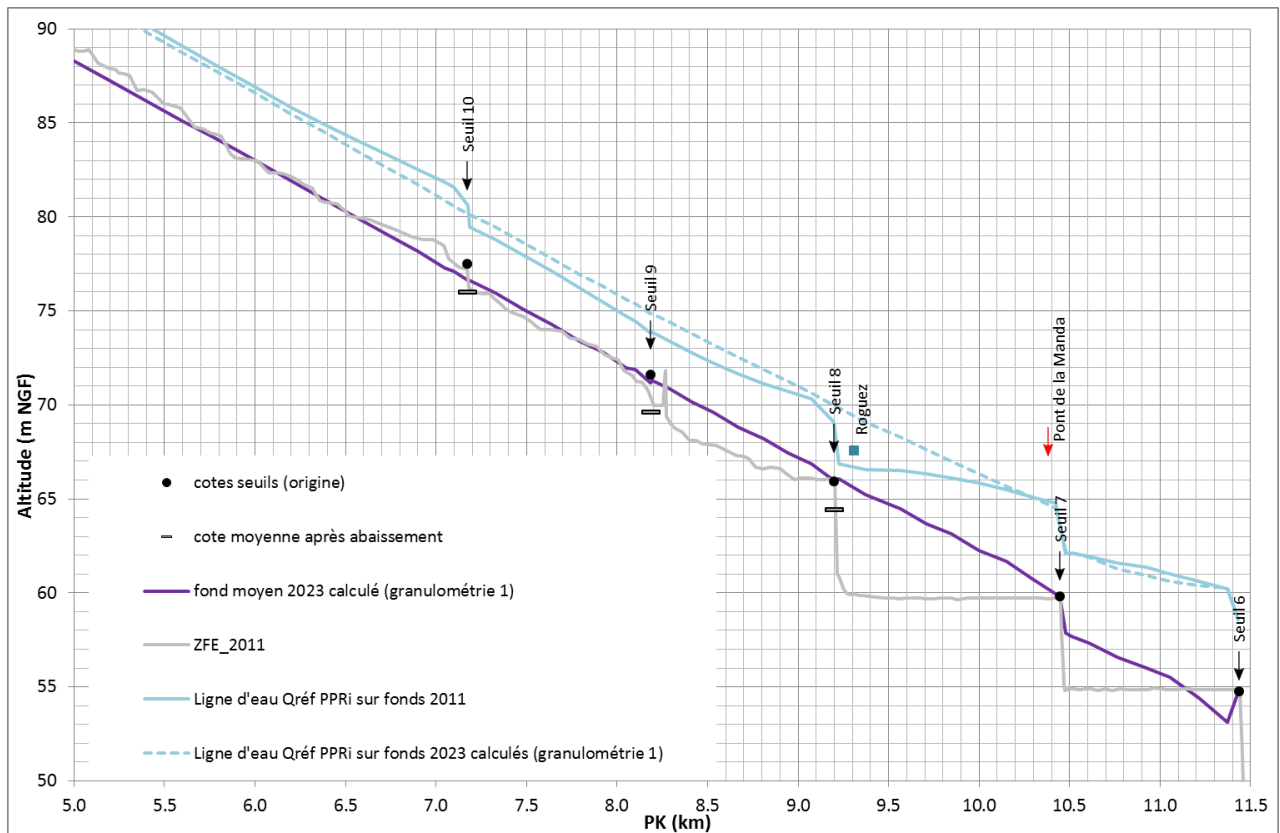
**Figure 113 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2018 à 2023, seuil 8 abaissé**

Cette simulation montre :

- La disparition rapide, sous les graviers, du seuil 8 abaissé : le profil en long s'établissant à partir de la crête du seuil 7 étant au-dessus de la cote abaissée du seuil 8 (du fait de la pente de 0.53 % des apports),
- L'engravement aux deux tiers du bief seuil 7 – seuil 6.

Elle confirme la nécessité, pour éviter un engravement fort du lit en amont du seuil 7, d'abaisser rapidement, après 2018 et l'abaissement du seuil 8, le seuil 7.

La figure suivante montre, à l'issue de ces cinq années, l'influence de l'engravement sur la ligne d'eau pour la crue de référence du PPRi.



**Figure 114 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m³/s (Qréf PPRi) avec états du fond 2011 et 2023 calculé**

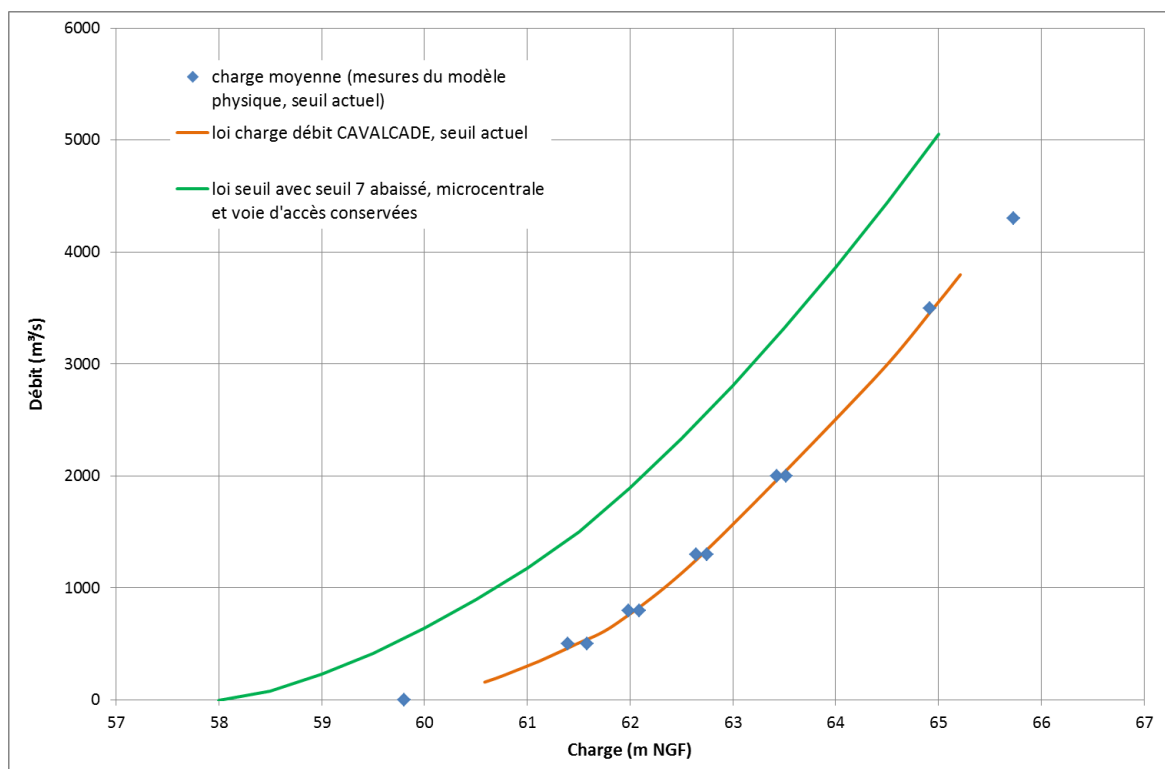
Par rapport à la situation 2018 (cf. Figure 112), la ligne d'eau pour la crue de référence est plus haute dans le secteur du seuil 9, et surtout en aval du seuil 8, où la ligne d'eau dépasse de 50 cm environ la berge rive droite.

Ce calcul confirme à nouveau la nécessité d'une intervention rapide sur le seuil 7.

### 8.4.3 Abaissement du seuil 7 (avec conservation de la microcentrale) en 2019 et nouvelle période de 5 ans

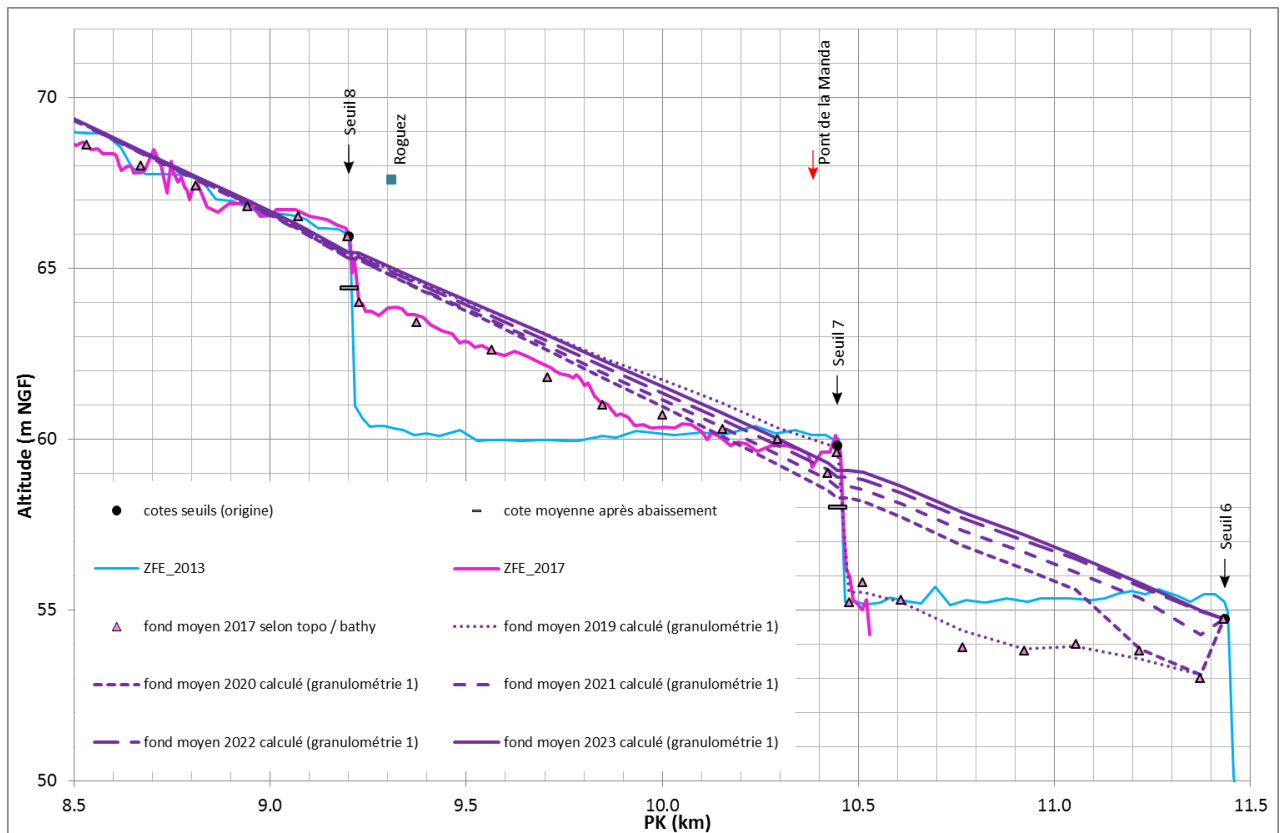
A partir des fonds 2019 des simulations précédentes, le seuil 7 est abaissé, d'abord dans la configuration où la microcentrale et sa voie d'accès sont conservées.

La loi charge/débit du modèle, correspondant à cette configuration, et en comparaison de la configuration actuelle, est représentée sur la figure suivante. Pour rappel, cette configuration seuil 7 abaissé mais microcentrale et voie d'accès conservées n'a pas été testée sur modèle réduit physique. La loi du seuil est établie en prenant les mêmes coefficients de débits que ceux issus des mesures sur modèle réduit physique des essais de la configuration actuelle (cf. § 8.2.3.3 page 116).



**Figure 115 : Loi charge - débit du seuil 7 dans sa configuration actuelle et configuration seuil abaissé et microcentrale et sa voie d'accès conservées**

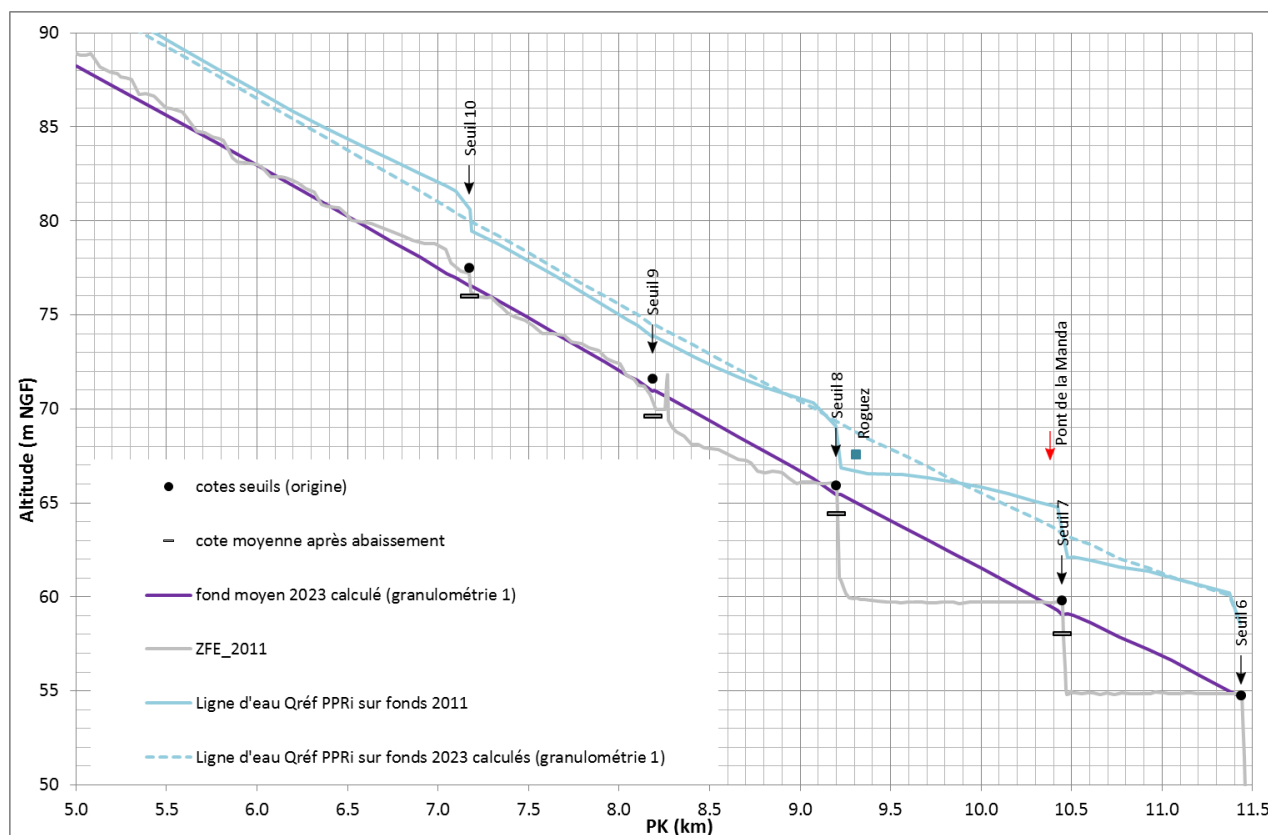
A partir des fonds simulés 2019, et en considérant cette configuration d'abaissement du seuil 7, quatre nouvelles années « moyennes » sont simulées (pour aboutir à l'année 2023, comme la simulation avec le seuil 7 sans intervention). La figure suivante montre l'évolution des fonds moyens à chaque année.



**Figure 116 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2019 à 2023, seuil 8 abaissé, seuil 7 abaissé mais avec microcentrale et sa voie d'accès conservés**

Il apparaît nettement sur cette figure, en comparaison de la Figure 113, l'accélération de l'engravement du bief seuil 6 – seuil 7. Cela est dû au rééquilibrage du profil en amont du seuil 7 suite à son abaissement, et au déstockage du bief seuil 7 – seuil 8 qui s'en suit. Toujours du fait de l'hypothèse d'une pente d'équilibre du lit à 0.53 %, le seuil 8 abaissé reste engravé.

La figure suivante montre, à l'issue de ces quatre années, l'influence de l'engravement sur la ligne d'eau pour la crue de référence du PPRi.



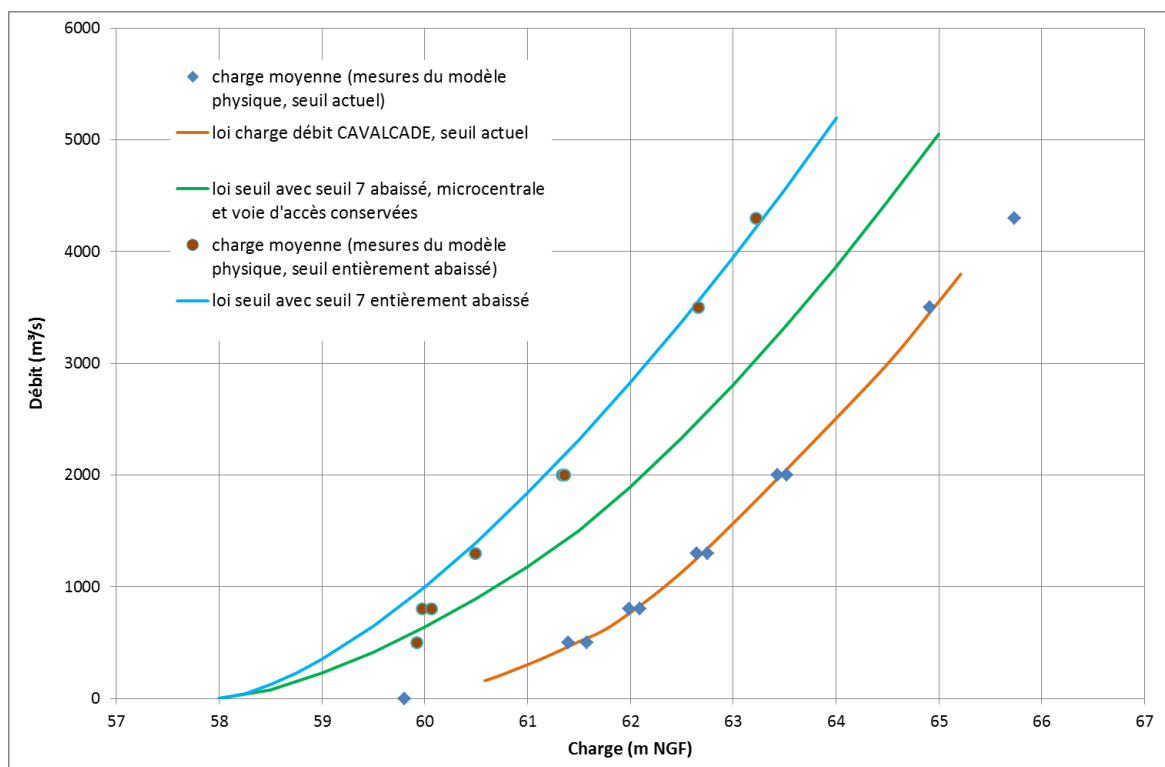
**Figure 117 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m<sup>3</sup>/s (Qréf PPRi) avec états du fond 2011 et 2023 calculé, seuil 7 abaissé**

L'abaissement du seuil 7 permet de retrouver une ligne d'eau similaire, en aval du seuil 8, à la situation de 2018. **L'engravement en aval du seuil 7 fait remonter la ligne d'eau au-dessus de la référence du PPRi.**

#### 8.4.4 Abaissement du seuil 7 et suppression de la microcentrale en 2019

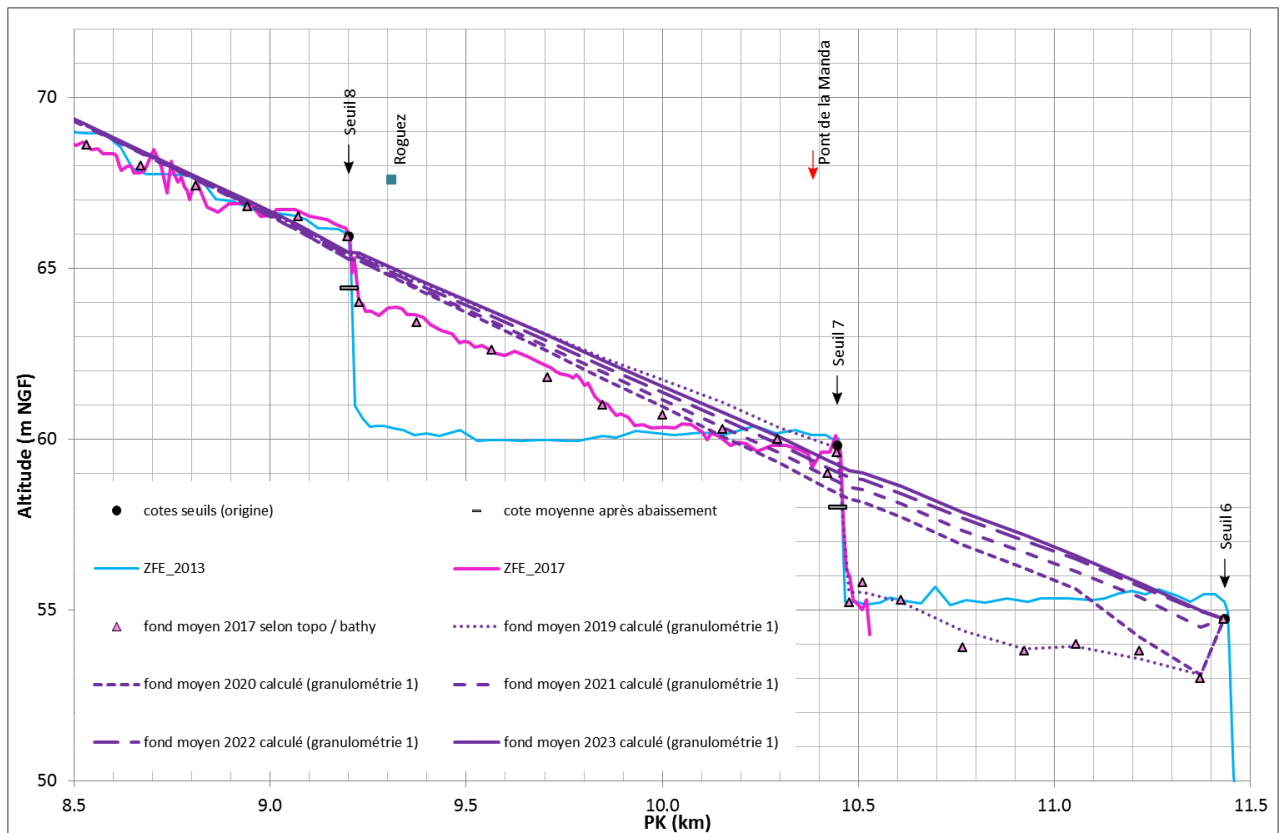
Afin de réaliser une comparaison avec la situation précédente et de mesurer l'impact de la conservation de la microcentrale et de sa voie d'accès, les simulations précédentes ont été reconduites dans une configuration où l'ensemble du seuil 7 est abaissé (microcentrale détruite, voie d'accès abaissée à la même cote que le reste du seuil – cf. profil sur la Figure 72 page 93).

La loi charge/débit du modèle, correspondant à cette configuration, et en comparaison de la configuration actuelle et à la configuration seuil 7 abaissé mais microcentrale et sa voie d'accès conservée, est représentée sur la figure suivante. Pour rappel, cette configuration a été testée sur modèle réduit physique, et les résultats de ce modèle sont reportés, et servent de base à l'établissement de la loi.



**Figure 118 : Loi charge - débit du seuil 7 dans sa configuration entièrement abaissé, et comparaison avec les configurations précédentes**

A partir des fonds simulés 2019, et en considérant cette configuration d'abaissement du seuil 7, quatre nouvelles années « moyennes » sont simulées (pour aboutir à l'année 2023, comme la simulation avec le seuil 7 sans intervention). La figure suivante montre l'évolution des fonds moyens à chaque année.



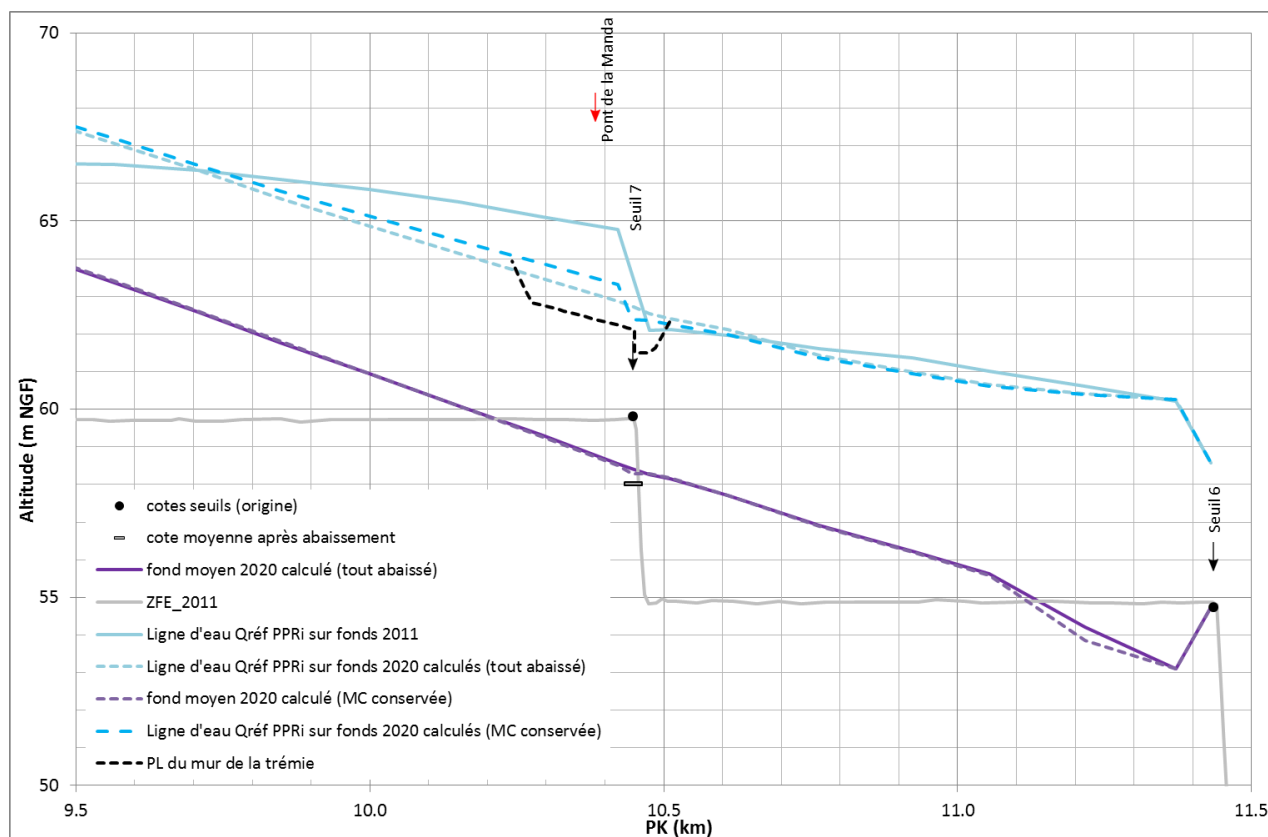
**Figure 119 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2019 à 2023, seuil 8 abaissé, seuil 7 abaissé y compris microcentrale et sa voie d'accès**

En dehors d'un profil plus régulier autour du seuil 7, il n'est pas mis en évidence des différences importantes avec la simulation microcentrale et voie d'accès conservées.

A l'issue de ces quatre années, la ligne d'eau calculée pour la crue de référence est également très proche de celle simulée avec la microcentrale et la voie d'accès conservées. L'explication réside dans le fait, qu'à cette échéance, le seuil abaissé est engravé et se situe sous le lit. Le lit du Var peut donc s'adapter, lors de la crue, à la présence de la microcentrale, en s'approfondissant localement à son passage, réduisant fortement son impact.

Pour rappel, cet engravement du seuil est dû à l'établissement, depuis la crête du seuil 6, de la pente de 0.53 %, qui est une hypothèse des modélisations conduites.

Pour appréhender l'impact de la conservation de la microcentrale et de sa voie d'accès lorsque le seuil est abaissé mais non encore engravé par l'aval, nous avons simulé une crue de référence sur l'état du lit simulé au bout d'un an (2020). La figure ci-après montre le résultat à proximité du seuil 7, et le compare avec la configuration où le seuil 7 est abaissé, mais avec la microcentrale et sa voie d'accès conservées.

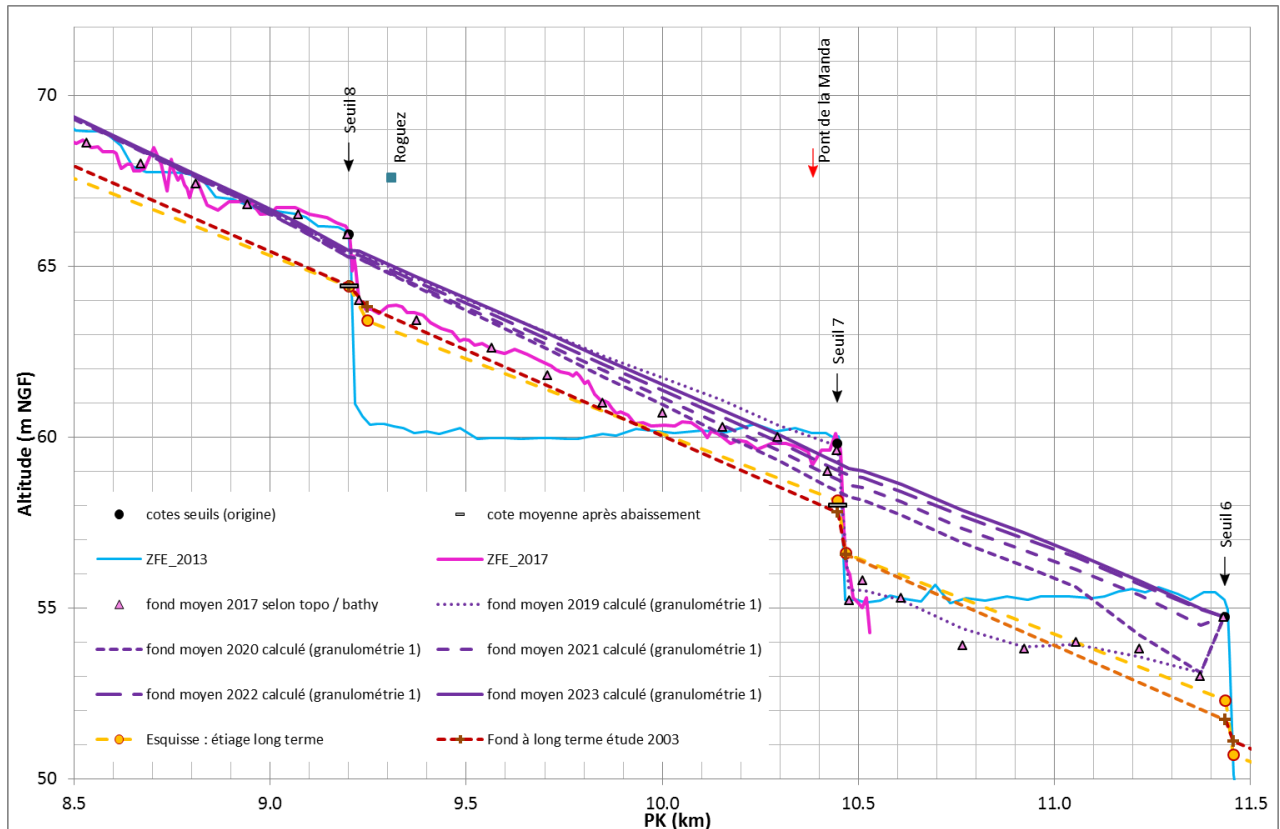


**Figure 120 : Lignes d'eau modélisées pour 3800 m<sup>3</sup>/s (Qréf PPRi) avec états du fond 2011 et 2020 calculé, seuil 7 abaissé entièrement ou partiellement**

Pour les fonds simulés en 2020, l'impact de la conservation de la microcentrale et de sa voie d'accès sur les lignes d'eau pour la crue de référence est d'environ +50 cm en amont immédiat du seuil 7, s'amenuisant vers l'amont jusqu'à devenir faible 1 km en amont du seuil. Cet impact est donc important, mais dans une zone où l'abaissement du seuil permet de se situer sous la ligne d'eau de référence du PPRi. Cependant, l'ensemble de l'aménagement de la trémie de la Manda (en particulier le mur déversant de la trémie, dont le profil est représenté sur le graphe) a été conçu avec le seuil entièrement abaissé. La conservation de la microcentrale et de sa voie d'accès va rendre plus fréquent que projeté les événements conduisant au débordement du Var dans la trémie de la RM6202bis.

### 8.4.5 Conclusion

Avant d'exposer les points à retenir suite à ces modélisations, nous avons reporté, sur le graphe suivant, et sur la base de la Figure 119, les profils en long projetés à long terme par les études précédentes.



**Figure 121 : Profil en long de l'évolution simulée du fond moyen du lit, de 2019 à 2023, seuil 8 abaissé, seuil 7 abaissé y compris microcentrale et sa voie d'accès, et profils en long projetés**

A la suite de cette série de modélisations hydro-sédimentaires, nous pouvons en déduire les résultats principaux suivants :

- Une fois le seuil 8 arasé, la progression de l'avancée des graviers se fait rapidement et nécessite d'abaisser le seuil 7 rapidement après (en fonction de l'hydraulicité, dès l'année suivante) ;
- Si la microcentrale est maintenue lors de l'abaissement du seuil, la configuration seuil abaissé mais microcentrale et voie d'accès maintenue a des impacts significatifs (par rapport à la configuration seuil entièrement abaissé) sur les niveaux de crue, ce qui a une incidence sur le fonctionnement des ouvrages de la trémie de la Manda (mur de la trémie). La suppression de la micro-centrale et de sa voie d'accès doit donc intervenir en même temps que l'abaissement du seuil 7, ou rapidement après.
- Un retard dans l'abaissement du seuil 7, par le rehaussement du lit qu'il entraînera en amont, aurait pour impact :

- Une augmentation des lignes d'eau sur l'ensemble du bief seuil 7 – seuil 8, et même plus en amont,
- Une augmentation du risque de débordement en rives,
- Une diminution du débit de mise en charge du pont de la Manda,
- Une augmentation de la fréquence de submersion de la trémie,
- Un risque d'engravement de la trémie,
- Un engravement de l'espace entre la trémie et le seuil provisoire, rendant plus complexe l'enlèvement du seuil provisoire.

Nous confirmons donc que **au moment où la langue de matériau atteint le pont de la Manda**, le seuil doit être abaissé, comme indiqué dans l'APS de la trémie de la Manda. Comme aujourd'hui c'est quasiment le cas, l'abaissement du seuil 7 doit être engagé juste après l'abaissement du seuil 8.

Ce calendrier d'abaissement est prioritaire sur la question du démantèlement de la microcentrale : il est préférable d'abaisser partiellement le seuil dès 2019 que d'attendre la possibilité de réaliser l'abaissement complet.

- Une fois le seuil 7 abaissé, l'engravement du bief en aval est très rapide, en particulier par déstockage du bief seuil 7 – seuil 8. Les simulations montrent, qu'avec un abaissement du seuil 7 en 2019, le bief seuil 6 – seuil 7 est engravé en 2021, voire même avant... Il faut rappeler ici que cette prévision correspond à des années moyennes, et peut être fortement modifiée par l'hydraulicité des années à venir. Et comme exposé au § 8.3.4, les simulations sont probablement très légèrement « en avance » par rapport aux apports effectifs moyens cumulés. Ceci dit, il convient de prendre les dispositions (en termes d'études et de dossiers réglementaires) afin de pouvoir, au besoin, en fonction de l'avancement des graviers, abaisser rapidement le seuil 6. Cela d'autant plus que l'abaissement prévu du seuil 6 est très important (3 m dans l'étude de 2003), et qu'il pourrait être abaissé dès le début du remplissage du bief (voir figure ci-avant).
- La présente étude n'a pas porté sur les biefs en aval du seuil 6, ni sur l'abaissement de celui-ci. En regard de la conclusion précédente, il est important de mettre à jour les prévisions de chronologie d'avancée des graviers et de remplissage des biefs successifs, jusqu'au seuil 4. Le projet de protection de la rive gauche en aval du seuil 7 devra bien sûr tenir compte du retour des graviers.
- Comme le montre le graphe en début de ces conclusions, la modélisation simule des niveaux d'engravement nettement au-dessus des niveaux projetés lors des études antérieures. Il y a plusieurs raisons à cette situation, qui impacte significativement les lignes d'eau en crue :
  - La principale est l'influence du seuil 6 vers l'amont, une fois les graviers arrivés vers ce seuil : la crête de ce seuil non abaissé contrôle le profil en long loin en amont, au-delà du seuil 10... En réalité, les opérations d'abaissement sont survenus ou surviennent en retard par rapport à l'avancement des graviers. Une fois un seuil abaissé, c'est le suivant en aval qui prend rapidement le contrôle de l'ensemble du profil en long. C'est pourquoi, comme dit plus haut, qu'il est important de rattraper ce « retard » pour le seuil 6. Si l'abaissement du seuil 6 est réalisé lorsque son bief est totalement rempli, le déstockage qui suivra sera potentiellement très important, car il concernera plusieurs kilomètres de lit du Var ;

- 
- De façon beaucoup plus secondaire, la pente de 0.53 % prise par hypothèse de pente des apports, et donc d'équilibre du lit à long terme, qui est légèrement plus forte que les pentes retenues dans les profils en long projetés (cf. § 4.2.3 page 57). L'écart avec la pente projeté est surtout observé aujourd'hui en amont du seuil 9.
  - Sur ce dernier point, il serait utile de mieux comprendre l'évolution des pentes entre la confluence avec l'Estéron et le seuil 6 (incidence à long terme de l'endiguement sur une possible zone de régulation du transport solide à la confluence notamment) pour mieux prévoir leur devenir une fois les seuils abaissés.
  - De façon générale, il est important de poursuivre le suivi du lit du Var, en faisant porter les levés depuis la Vésubie en amont, et en incluant la confluence avec l'Estéron (ce qui n'avait pas été fait à notre connaissance en 2017). Pour ne pas biaiser les relevés par les mouvements de matériaux dans le lit, liés aux différents travaux hydrauliques, il sera opportun de réaliser les levés après chaque crue morphogène, avec une morphologie la plus naturelle possible.

## 9 ESTIMATION FINANCIERE, MODALITES DE REALISATION

### 9.1 ESTIMATION FINANCIERE

A ce stade des études (niveau faisabilité), l'estimation est établie en fonction des caractéristiques décrites au § 7 page 89. Deux scénarios sont présentés :

- Un scénario 1 où la microcentrale est conservée (étant entendu qu'elle devrait être retirée à court terme) ;
- Un scénario 2 où la microcentrale est retirée. Dans ce cas, il n'est pas chiffré le démantèlement de la microcentrale et de sa voie d'accès jusqu'au niveau du seuil pré-existant.

Le scénario 2, pour le bon fonctionnement hydraulique, est à privilégier fortement.

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

Tableau 12 : Estimation financière de l'abaissement du seuil 7 (microcentrale conservée)

| Abaissement du seuil 7 (microcentrale conservée) |   |                |           |               |                     |
|--|---|----------------|-----------|---------------|---------------------|
| N°   | Intitulé  | Unité          | Q         | Prix Unitaire | Montant Total       |
| <b>1</b>   | <b>Prix généraux</b>  |                |           |               | <b>216 000.00</b>   |
| 1.01   | Installation de chantier  | ft             | 1.00      | 30 000.00     | 30 000.00           |
| 1.02   | Débroussaillage - déboisement - élagage   | ft             | 1.00      | pm            | pm                  |
| 1.03   | Travaux de déviation des eaux, merlons, pêches électriques préventives, passages à gué... | ft             | 1.00      | 150 000.00    | 150 000.00          |
| 1.06   | Elaboration d'un PAQ  | ft             | 1.00      | 3 000.00      | 3 000.00            |
| 1.07   | Elaboration et mise en œuvre d'un PAE   | ft             | 1.00      | 6 000.00      | 6 000.00            |
| 1.08   | Elaboration d'un PPSPS  | ft             | 1.00      | 2 000.00      | 2 000.00            |
| 1.09   | Etudes d'exécution  | ft             | 1.00      | 20 000.00     | 20 000.00           |
| 1.10   | Dossier de récolement   | ft             | 1.00      | 5 000.00      | 5 000.00            |
| <b>2</b>   | <b>Abaissement du seuil 7</b>   |                |           |               | <b>834 200.00</b>   |
| 2.01   | Destruction d'enrochements liés   | m <sup>3</sup> | 5 500.00  | 20.00         | 110 000.00          |
| 2.02   | Recépage palplanches  | ml             | 123.00    | 100.00        | 12 300.00           |
| 2.03   | Terrassements en déblais (dont enrochements libres ou couche de transition)               | m <sup>3</sup> | 12 700.00 | 10.00         | 127 000.00          |
| 2.04   | Couche de transition  | m <sup>3</sup> | 1 200.00  | 40.00         | 48 000.00           |
| 2.05   | Enrochements liés (dont récupération)   | m <sup>3</sup> | 5 300.00  | 80.00         | 424 000.00          |
| 2.06   | Enrochements libres (dont récupération)   | m <sup>3</sup> | 890.00    | 50.00         | 44 500.00           |
| 2.07   | Poutre de couronnement  | ml             | 123.00    | 300.00        | 36 900.00           |
| 2.08   | Liaison avec la microcentrale   | ft             | 1.00      | 20 000.00     | 20 000.00           |
| 2.09   | Remblais provenant des déblais  | m <sup>3</sup> | 2 300.00  | 5.00          | 11 500.00           |
| <b>3</b>   | <b>Protection des piles du pont de la Manda</b>   |                |           |               | <b>266 150.00</b>   |
| 3.01   | Terrassements en déblais  |                | 9 000.00  | 10.00         | 90 000.00           |
| 3.02   | Couche de transition  | m <sup>3</sup> | 1 370.00  | 40.00         | 54 800.00           |
| 3.03   | Enrochements libres   | m <sup>3</sup> | 1 900.00  | 50.00         | 95 000.00           |
| 3.04   | Remblaiement sur protection   | m <sup>3</sup> | 1 400.00  | 5.00          | 7 000.00            |
| 3.05   | Mortier projeté de protection   | m <sup>2</sup> | 129       | 150.00        | 19 350.00           |
| 3.06   | Vérification et renforcement de la protection de la pile P1                               |                |           |               | PM                  |
| <b>4</b>   | <b>Suppression du seuil provisoire</b>  |                |           |               | <b>146 400.00</b>   |
| 4.01   | Enlèvement d'enrochements libres  | m <sup>3</sup> | 9 200.00  | 15.00         | 138 000.00          |
| 4.02   | Terrassements pour remise en état   | m <sup>3</sup> | 1 200.00  | 7.00          | 8 400.00            |
| <b>5</b>   | <b>Divers</b>   |                |           |               | <b>20 000.00</b>    |
| 5.01   | Enlèvement de l'ancienne pile de pont   | m <sup>3</sup> | 100.00    | 150.00        | 15 000.00           |
| 5.02   | Enlèvement d'autres anciennes piles   |                |           |               | PM                  |
| 5.03   | Fermeture de l'échancrure de la trémie de la RM6202bis                                    | ft             | 1.00      | 5 000.00      | 5 000.00            |
|  | TOTAL HT  |                |           |               | 1 482 750.00        |
|  | Aléas divers  |                | 20%       |               | 296 550.00          |
|  | <b>GRAND TOTAL HT (avec aléas)</b>  |                |           |               | <b>1 779 300.00</b> |
|  | TVA 20%   |                |           |               | 355 860.00          |
|  | <b>GRAND TOTAL TTC</b>  |                |           |               | <b>2 135 160.00</b> |

## Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var

RAPPORT DEFINITIF

Tableau 13 : Estimation financière de l'abaissement du seuil 7 (microcentrale démantelée)

| Abaissement du seuil 7 |   |                |           |               |                     |
|------------------------|---|----------------|-----------|---------------|---------------------|
| N°                     | Intitulé  | Unité          | Q         | Prix Unitaire | Montant Total       |
| 1                      | Prix généraux   |                |           |               | 216 000.00          |
| 1.01                   | Installation de chantier  | ft             | 1.00      | 30 000.00     | 30 000.00           |
| 1.02                   | Débroussaillage - déboisement - élagage   | ft             | 1.00      | pm            | pm                  |
| 1.03                   | Travaux de déviation des eaux, merlons, pêches électriques préventives, passages à gué... | ft             | 1.00      | 150 000.00    | 150 000.00          |
| 1.06                   | Elaboration d'un PAQ  | ft             | 1.00      | 3 000.00      | 3 000.00            |
| 1.07                   | Elaboration et mise en œuvre d'un PAE   | ft             | 1.00      | 6 000.00      | 6 000.00            |
| 1.08                   | Elaboration d'un PPSPS  | ft             | 1.00      | 2 000.00      | 2 000.00            |
| 1.09                   | Etudes d'exécution  | ft             | 1.00      | 20 000.00     | 20 000.00           |
| 1.10                   | Dossier de récolement   | ft             | 1.00      | 5 000.00      | 5 000.00            |
| 2                      | Abaissement du seuil 7  |                |           |               | 1 323 300.00        |
| 2.01                   | Destruction d'enrochements liés   | m <sup>3</sup> | 9 100.00  | 20.00         | 182 000.00          |
| 2.02                   | Recépage palplanches  | ml             | 202.00    | 100.00        | 20 200.00           |
| 2.03                   | Terrassements en déblais (dont enrochements libres ou couche de transition)               | m <sup>3</sup> | 19 300.00 | 10.00         | 193 000.00          |
| 2.04                   | Couche de transition  | m <sup>3</sup> | 2 000.00  | 40.00         | 80 000.00           |
| 2.05                   | Enrochements liés (dont récupération)   | m <sup>3</sup> | 8 700.00  | 80.00         | 696 000.00          |
| 2.06                   | Enrochements libres (dont récupération)   | m <sup>3</sup> | 1 450.00  | 50.00         | 72 500.00           |
|                        | Poutre de couronnement  | ml             | 202.00    | 300.00        | 60 600.00           |
| 2.07                   | Remblais provenant des déblais  | m <sup>3</sup> | 3 800.00  | 5.00          | 19 000.00           |
| 3                      | Protection des piles du pont de la Manda  |                |           |               | 266 150.00          |
| 3.01                   | Terrassements en déblais  |                | 9 000.00  | 10.00         | 90 000.00           |
| 3.02                   | Couche de transition  | m <sup>3</sup> | 1 370.00  | 40.00         | 54 800.00           |
| 3.03                   | Enrochements libres   | m <sup>3</sup> | 1 900.00  | 50.00         | 95 000.00           |
| 3.04                   | Remblaiement sur protection   | m <sup>3</sup> | 1 400.00  | 5.00          | 7 000.00            |
| 3.05                   | Mortier projeté de protection   | m <sup>2</sup> | 129       | 150.00        | 19 350.00           |
| 3.06                   | Vérification et renforcement de la protection de la pile P1                               |                |           |               | PM                  |
| 4                      | Suppression du seuil provisoire   |                |           |               | 146 400.00          |
| 4.01                   | Enlèvement d'enrochements libres  | m <sup>3</sup> | 9 200.00  | 15.00         | 138 000.00          |
| 4.02                   | Terrassements pour remise en état   | m <sup>3</sup> | 1 200.00  | 7.00          | 8 400.00            |
| 5                      | Divers  |                |           |               | 20 000.00           |
| 5.01                   | Enlèvement de l'ancienne pile de pont   | m <sup>3</sup> | 100.00    | 150.00        | 15 000.00           |
| 5.02                   | Enlèvement d'autres anciennes piles   |                |           |               | PM                  |
| 5.03                   | Fermeture de l'échancrure de la trémie de la RM6202bis                                    | ft             | 1.00      | 5 000.00      | 5 000.00            |
|                        | TOTAL HT  |                |           |               | 1 971 850.00        |
|                        | Aléas divers  |                | 20%       |               | 394 370.00          |
|                        | <b>GRAND TOTAL HT (avec aléas)</b>  |                |           |               | <b>2 366 220.00</b> |
|                        | TVA 20%   |                |           |               | 473 244.00          |
|                        | <b>GRAND TOTAL TTC</b>  |                |           |               | <b>2 839 464.00</b> |

L'écart entre les deux scénarios (600 000 € HT) donne une estimation du montant des travaux d'abaissement du seuil de la partie sous la microcentrale et la voie d'accès, à réaliser à court terme après le scénario 1.

Le coût de la protection des piles de pont de la Manda s'élève à 320 000 € HT avec 20 % de divers et imprévus inclus, mais sans prise en compte des coûts généraux (dont travaux de maîtrise des eaux).

## 9.2 PHASAGE DE REALISATION

Le recépage du seuil 7 et le démontage du seuil provisoire se fera au cours d'un même chantier.

Ce chantier se déroulera en deux phases :

- La première phase tire profit de la présence du seuil provisoire et de la partie du seuil 7 déjà recépée. Les eaux du Var sont dérivées entre le seuil provisoire et la trémie. L'abaissement de la quasi-totalité de la partie non recépée est ensuite réalisé. Cette étape comprend ou non le démantèlement de la microcentrale et de sa voie d'accès, selon que cette opération peut se faire concomitamment ou non. Les autres travaux (protection des piles P2 et P3 du pont de la Manda, enlèvement de l'ancienne pile) sont également réalisés. Les travaux de renforcement de la digue rive gauche seraient également à mener à cette phase (ils ne sont pas représentés sur la figure suivante) ;
- La deuxième phase démarre par le basculement des eaux du Var sur la partie nouvellement recépée. Cela permet de libérer la partie rive gauche, et donc d'achever le recépage sur le petit tronçon dans le voisinage du seuil provisoire, de démonter le seuil provisoire, et de vérifier, voire conforter, la protection en enrochements de la pile P1. A la fin de cette phase, les ouvrages de dérivation sont enlevés et le lit du Var rétabli.

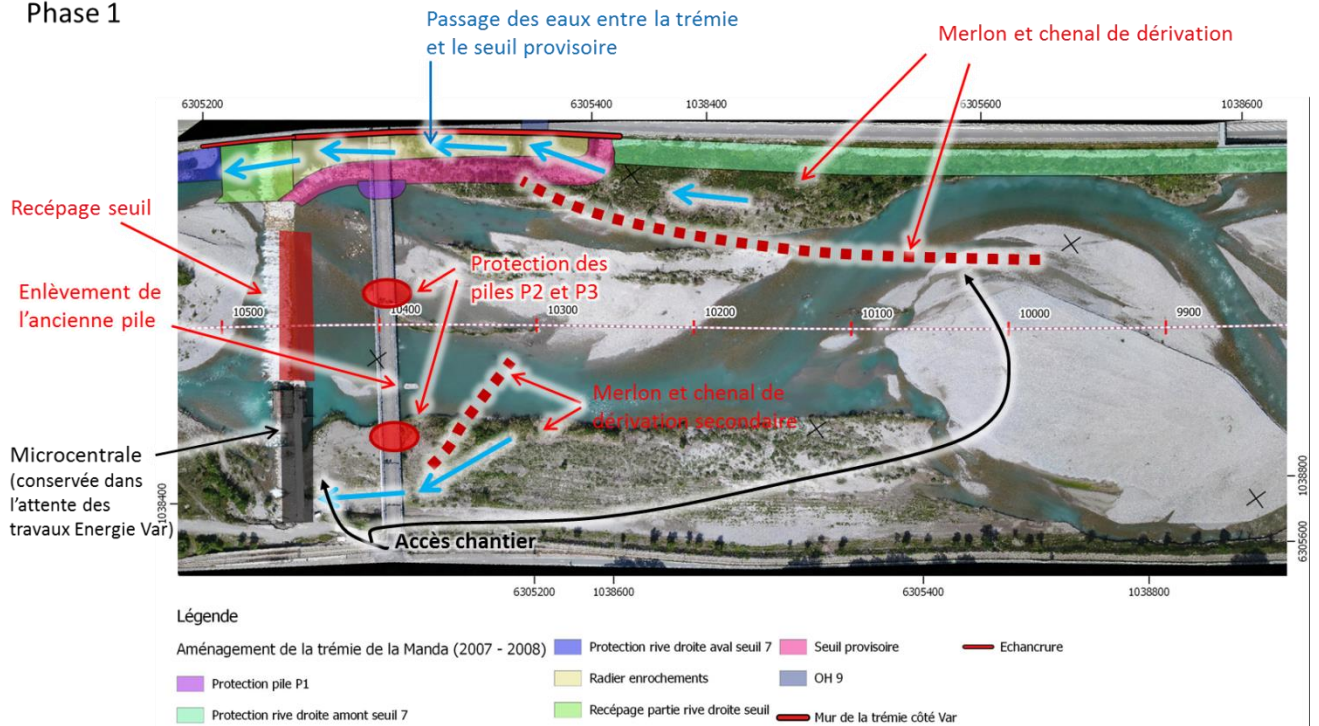
L'accès au chantier se faisant en rive gauche en aval immédiat du pont de la Manda, la première phase ne nécessite pas a priori de franchissement de bras en eau du Var. Pour la deuxième phase, un passage provisoire est nécessaire.

Ces éléments sont représentés sur la figure suivante, avec en fond la photo aérienne la plus récente (juin 2017).

**Etude de faisabilité de l'abaissement du seuil 7 de la basse vallée du Var**

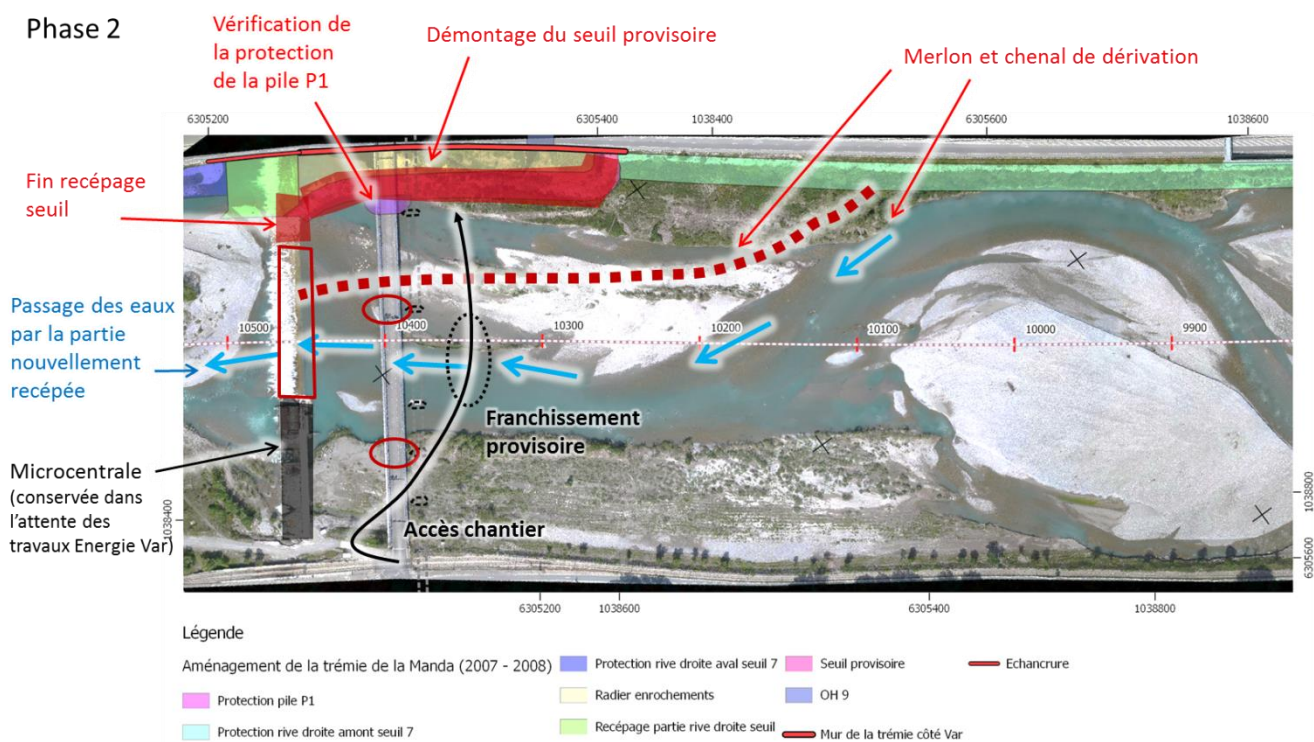
**RAPPORT DEFINITIF**

**Phase 1**



**Figure 122 : Phasage de réalisation : phase 1**

**Phase 2**



**Figure 123 : Phasage de réalisation : phase 2**

### **9.3 PERIODE DE REALISATION**

L'abaissement du seuil 7 devra être engagé dès que possible après l'abaissement du seuil 8, en démarrant les travaux en fin de période estivale, soit à la fin de l'été 2019.