

EDF Hydro Méditerranée

1165, rue Jean René Guilibert Gauthier de la Lauziere  
13290 AIX EN PROVENCE

## EDF Hydro Méditerranée – GU ORAISON

Retenue de l'Escale.

Mobilité des graviers dans la retenue et analyse des  
niveaux en crue au pont de Volonne

Rapport 2022



## NOTE TECHNIQUE

### RETENUE DE L'ESCALE. MOBILITE DES GRAVIERS DANS LA RETENUE ET ANALYSE DES NIVEAUX EN CRUE AU PONT DE VOLONNE

**Projet** Transport Solide Hydro Med

**Référence** H-30575706-2022-000144

**Date** 08/07/2022

**Indice** A

31 page(s)

annexe(s)

<b>Résumé</b>	<p><i>Il était prévu à l'été 2022 de réaliser un curage partiel des dépôts de sédiments grossiers devant l'usine de Salignac, en queue de retenue de l'Escale. Ce curage n'a pas pu être réalisé faute d'autorisation administrative.</i></p> <p><i>Il est donc nécessaire de réévaluer la pertinence de l'étendue du curage en vue de sa réalisation programmée en 2025. Notamment est-il préférable de l'étendre pour curer également les apports du Vançon dans le lit de la Durance. En effet, il y a un risque que les sédiments grossiers du Vançon avancent dans la retenue, éventuellement jusqu'au pont de Volonne. La présente étude a pour objectif de caractériser ce risque, celui de débordement au pont de Volonne et de réaliser des préconisations de curage.</i></p> <p><i>Une analyse des capacités de la retenue de l'Escale à faire transiter les graviers est également regardée.</i></p>
<b>Unité propriétaire</b>	CIH
<b>Sous-Unité</b>	GU ORAISON
<b>Site</b>	ORAISH \ ORAISON
<b>Entité rédactrice</b>	30575706 - SERVICE HYDRAULIQUE DES OUVRAGES ET RIVIERES
<b>Auteur(s)</b>	[ANDRE Aurelie]
<b>EOTP</b>	E115/DUEX07/EHDUTS-ORAIS
<b>Accessibilité</b>	Interne EDF HYDRO
<small>(Classification et règles de protection des informations d'EDF SA, DSIE-2017-000046.)</small>	<p><b>Confidentiel</b> (Lister nominativement en page 2 Diffusion : les personnes destinataires)</p> <p><b>Restreint</b> (Indiquer explicitement en page 2 Diffusion : les destinataires (nom ou fonction) ou de manière implicite le périmètre restreint retenu : Projet, groupe de personnes, ...)</p> <p><b>Interne</b> (Indiquer le périmètre d'accès retenu : EDF SA, Direction, Division, Entité, Projet, Liste de diffusion)</p> <p><b>Libre</b> (Accessible à tout public interne ou externe EDF SA)</p>

SIGNATURES						
Date	Rédacteur(s)		Vérificateur(s)		Approbateur(s)	
	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
30/11/2022	Aurélie ANDRE		Eric VALETTE		Alix BORNECQUE	

LIEU DE CONSERVATION	
Original papier	Original numérique
	Alexandr'hy

DIFFUSION INTERNE AU CIH			
Destinataire	Département / Service	Nb ex.	Format
C. JOURDAIN, P. NEGRELLO	DT/HY	1	@
L. DANG	AMO/MS	1	@
R. TRADOTTI	GC-MS	1	@

DIFFUSION EXTERNE AU CIH			
Destinataire	Organisme	Nb ex.	Format
Julie MOSSERI, Olivier SAVOYE, Géraldine DUVOCHEL	HYDRO Med	1	@
Thibaut VERCEUIL	HYDRO Med	1	@
Kevin CASTELAIN, Jean-Claude BONAITI	GU Oraison, GU Sisteron	1	@

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS		
Ind.	Date	Nature des évolutions

## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE</b> .....	<b>5</b>
1.1 PROBLEMATIQUE.....	5
1.2 MODELES UTILISES .....	6
1.3 SYSTEME DE NIVELLEMENT .....	7
<b>2. TRANSIT DES GRAVIERS AU BARRAGE DE L'ESCALE</b> .....	<b>8</b>
<b>3. ANALYSE DES NIVEAUX EN CRUE CENTENNALE AU PONT DE VOLONNE</b> .....	<b>10</b>
3.1 OBJECTIFS.....	10
3.2 DONNEES ET HYPOTHESES .....	11
3.2.1 Hydrogrammes .....	11
3.2.2 Fonds Initiaux.....	11
3.2.3 Gestion du barrage en crue.....	11
3.2.4 Scénarios testés.....	11
3.2.5 Calage hydraulique .....	12
3.3 RESULTATS OBTENUS .....	12
3.3.1 Lignes d'eau au pic de crue .....	12
3.3.2 Lit majeur .....	15
3.3.3 Limites du modèle.....	16
3.3.4 Synthèse.....	17
<b>4. AVANCEE DES SEDIMENTS GROSSIERS DANS LA RETENUE</b> .....	<b>18</b>
4.1 MODELES HYDROSEDIMENTAIRES GROSSIERS .....	18
4.1.1 Modèle initial mis en place pour le curage de Salignac .....	18
4.1.2 Nouveau calage hydrosédimentaire .....	18
4.1.2.1 2017-2021 .....	20
4.1.2.2 Crue de 2016.....	21
4.1.2.3 2012-2014 .....	22
4.1.2.4 Synthèse du calage.....	22
4.2 RESULTATS OBTENUS .....	23
4.2.1 Scénarios étudiés.....	23
4.2.2 Profil en long .....	23
4.2.3 Volume.....	24
4.2.4 Profil de déclenchement et fréquence de curage.....	27

<b>5. SYNTHÈSE .....</b>	<b>28</b>
<b>6. ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES PROFILS EN TRAVERS .....</b>	<b>30</b>

## 1. CONTEXTE

### 1.1 PROBLEMATIQUE

Les apports sédimentaires grossiers depuis le tronçon court-circuité de la Durance et depuis le Vançon se déposent principalement en queue de retenue de l'Escale et impactent la restitution de l'usine de Salignac (qui turbine les eaux de Saint Lazare). L'usine elle-même est impactée par ces dépôts (infiltrations d'eau courantes, et inondation généralisée de l'usine en crue centennale).

Un curage était prévu à l'été 2022 pour enlever 145 000 m<sup>3</sup> de graviers entre le seuil de Salignac, la restitution de l'usine et la confluence du Vançon et mettre en place un piège à graviers en amont du seuil de Salignac. Ce curage n'a pas été réalisé du fait de l'absence d'autorisation administrative. Ce projet de curage a été dimensionné pour minimiser le volume de graviers à sortir (faisabilité technique du curage, logistique chantier, limitation des coûts et des indisponibilités pour la production), et dans l'attente d'une étude spécifique pour objectiver le besoin pressenti de curage du secteur aval. Un curage dit optimisé (« fonds cible ») a ainsi également été défini qui prévoit en plus le curage de tout le cône du Vançon au niveau de la Durance et des dépôts aval. Ce curage optimisé permet de préserver au maximum le productible et de limiter les apports sédimentaires vers le pont de Volonne.



Figure 1. Curage dit optimisé (« fonds cible ») à gauche et curage prévu en 2022 à droite

Le graphique ci-dessous présente ces 2 projets de curage en profils en long au regard de la bathymétrie levée en aout 2021.

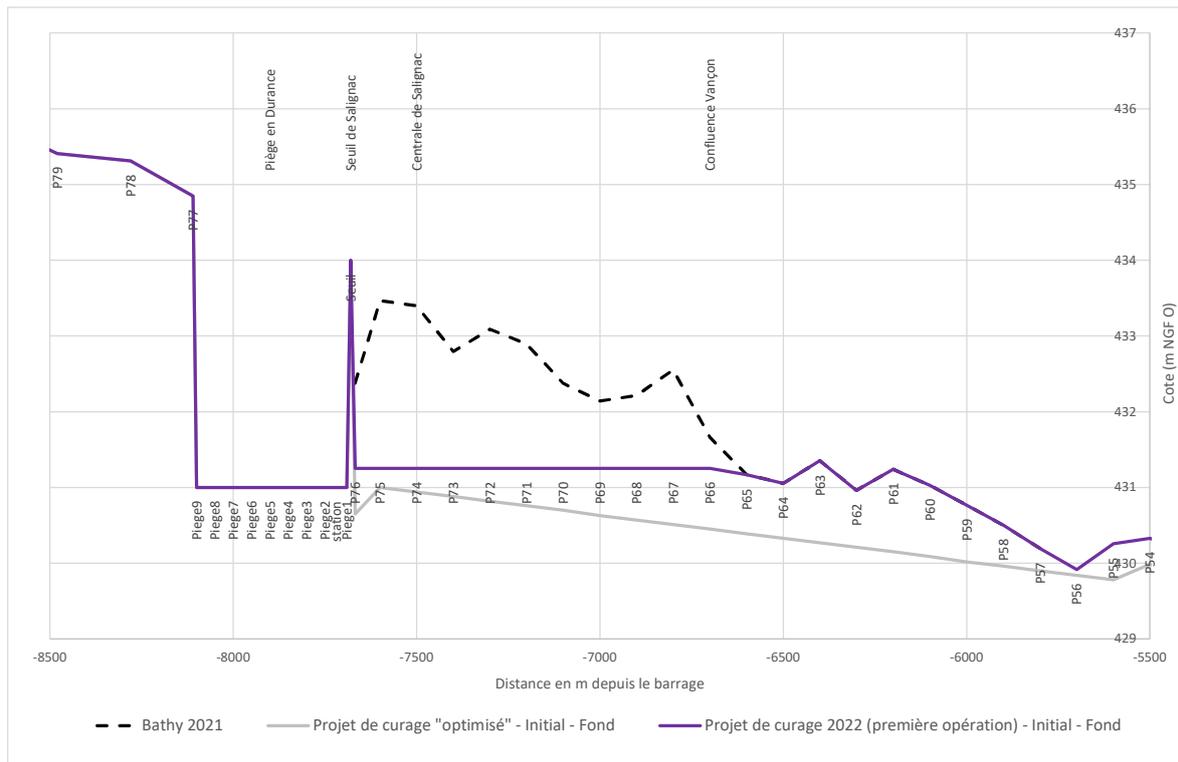


Figure 2. Bathymétrie 2021 et projets de curage

Le curage partiel prévu initialement en 2022 entraîne la nécessité de mieux connaître l'impact notamment sur les enjeux présents en aval, au pont de Volonne :

- Que deviennent les cailloux apportés par le Vançon s'ils ne sont pas curés ?
- Est-ce qu'ils descendent jusqu'au Pont de Volonne ?

Par ailleurs, les risques de débordement en crue centennale au niveau du Pont de Volonne sont mal connus car ils dépendent de la gestion du barrage de l'Escale, mais également de l'érosion des sédiments fins du fait de l'ouverture du barrage en crue. Les études hydrauliques passées ont été réalisées à fond fixes et avec une bathymétrie qui n'est plus la bathymétrie actuelle.

L'objet de la présente étude est de fournir des éléments techniques sur ces sujets :

- Analyse de la capacité de transit des sédiments grossiers au barrage de l'Escale grâce à des ouvertures en crue.
- Caractérisation du risque de débordement en état actuel au pont de Volonne en prenant en compte l'érosion des sédiments fins en crue (cf. § 3) ;
- Estimation du risque d'apport de sédiments grossiers au pont de Volonne (cf. § 4).

## 1.2 MODELES UTILISES

La difficulté pour répondre à ces questionnements réside dans le type de modélisation à effectuer. Les études précédentes ont montré que la partie aval de la retenue de l'Escale est principalement soumise à un dépôt de sédiment fins. A contrario l'amont subit peu de dépôt de sédiments fins mais des apports de grossiers. Une campagne de prélèvements par plongeurs a été réalisée en 2003. L'analyse de ces prélèvements peut être résumée par une nature de matériaux limoneux en aval du pont de Volonne, et une nature de matériaux graveleux en amont dans un contexte historique où les abaissements en crue de la retenue sont restés limités. L'ensemble des prélèvements réalisés étaient relativement homogènes sur la largeur du lit.

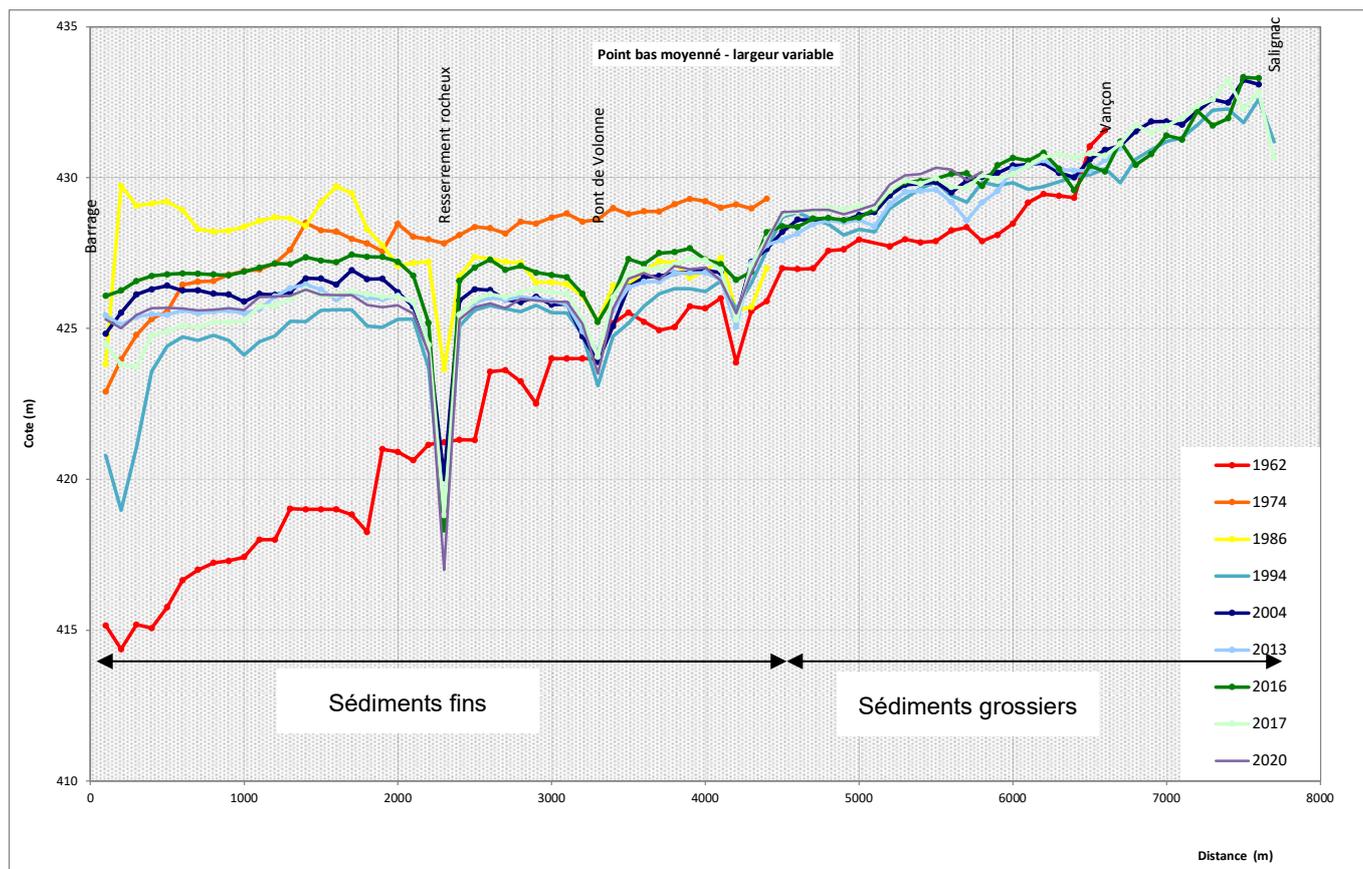


Figure 3. Profil en long des bathymétries de l'Escale (points bas moyennés)

Il n'y a pas de logiciel disponible permettant de modéliser les sédiments fins et grossiers simultanément, il est donc nécessaire d'utiliser 2 modèles différents. Le logiciel Cavalcade (@ARTELIA) a été utilisé pour caractériser le déplacement des sédiments grossiers dans la retenue et le logiciel Courlis pour caractériser l'érosion des sédiments fins en crue centennale avec abaissement de la retenue.

### 1.3 SYSTEME DE NIVELLEMENT

Le système de nivellement de l'aménagement est le système Orthométrique Lallemand (NGF O).

**Tous les niveaux sont exprimés dans ce système qui sera désigné par l'abréviation « NGF », dans la suite du document.**

Pour passer du système IGN 69 au système Lallemand la relation suivante doit être appliquée :

Systeme NGF- IGN 69 (Normal) = Systeme NGF- Lallemand (Orthométrique) + Ecart

La valeur de l'écart est de **0.161 m** au barrage de l'Escale.

## 2. TRANSIT DES GRAVIERS AU BARRAGE DE L'ESCALE

Des calculs ont été réalisés pour évaluer la capacité de transit des sédiments grossiers entrant dans la retenue et au barrage de l'Escale. Pour faire avancer les sédiments grossiers, il est nécessaire que la pente du lit (pente motrice) soit suffisante ; tant que la pente motrice n'est pas atteinte, les dépôts se poursuivent, le lit s'exhausse et la pente augmente. La pente motrice peut être calculée grâce à une formule de capacité de transport. Ici c'est la formule de Lefort 2014, qui est retenue.

Les apports solides dans la retenue ont été évalués en moyenne à 40 000 m<sup>3</sup>/an en provenance de la Durance et du Vançon sur la période 2011-2017 et à 32000 m<sup>3</sup>/an pour la période 2011-2021. La pente actuelle dans le tronçon court-circuité de la Durance est d'environ 0.25% ; la pente dans la partie amont de la retenue est plutôt de 0.15%, et dans la partie aval, quasi nulle. La pente en 1962 a été évaluée à environ 0.25% , cf. *Figure 4*

Les calculs de pente motrice ont été réalisés pour une ouverture en crue à partir de 500 m<sup>3</sup>/s et 300 m<sup>3</sup>/s ; c'est-à-dire que seuls les débits supérieurs à 500 m<sup>3</sup>/s (ou 300 m<sup>3</sup>/s) sont considérés dans les calculs de transport solide. Les autres jours de l'année, la retenue est à RN et les cailloux ne transitent pas. L'objectif des calculs est d'estimer la pente d'équilibre dans la retenue qui permet de faire transiter au barrage les sédiments entrants en queue de retenue.

Il est par ailleurs important de noter que ces calculs sont optimistes, en effet, l'ouverture est ici considérée comme totale et instantanée, de plus les sédiments fins ne sont pas pris en compte (évacués instantanément de la retenue). Enfin, tous les débits horaires supérieurs à 300 m<sup>3</sup>/s ou 500 m<sup>3</sup>/s sont pris en compte même si le débit n'est dépassé que pendant 1h. Ces hypothèses tendent à maximiser la capacité de transport (et donc à limiter la pente d'équilibre) par rapport à une gestion d'abaissement en crue réelle.

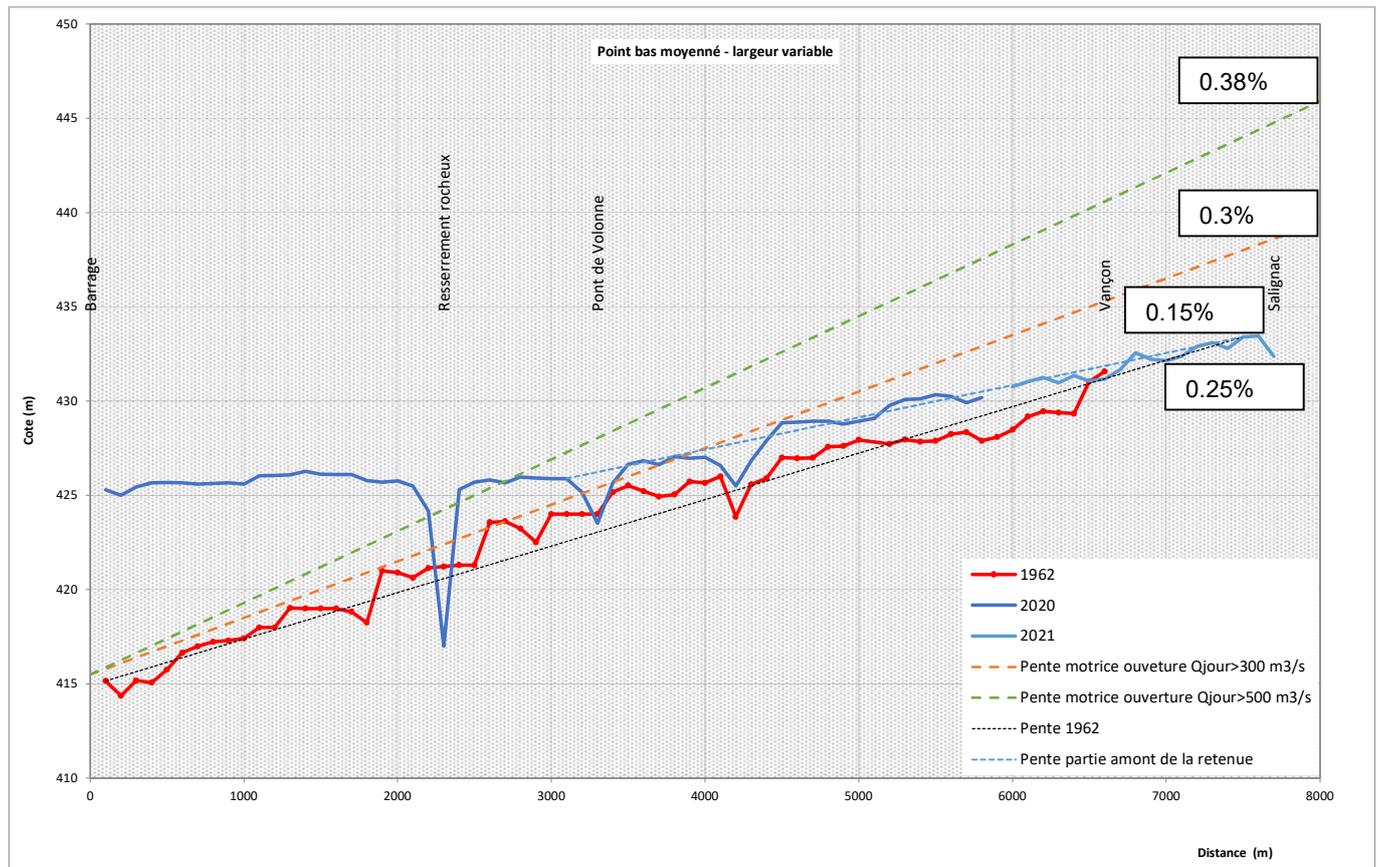


Figure 4. Pentes motrices à l'Escale suivant le débit minimum d'ouverture

Les pentes motrices ont été estimées à 0.38 % pour un débit d'ouverture à 500 m<sup>3</sup>/s et à 0.3% pour une ouverture à 300 m<sup>3</sup>/s. Ces pentes ont été projetées sur un profil en long depuis le seuil des vannes du barrage au pk 0 : 415.5 m NGF O.

La pente nécessaire pour atteindre l'équilibre permettant le transit des sédiments dans la retenue entraînerait un dépôt d'environ 5 m supplémentaires en queue de retenue même pour des ouvertures du barrage pour des débits entrants supérieurs à 300 m<sup>3</sup>/s. Ce dépôt est évidemment non acceptable pour les enjeux présents, notamment l'usine de Salignac.

**Il ne semble donc pas possible techniquement de conserver l'usage des usines hydroélectriques d'Oraison et de Salignac, tout en permettant le transit des sédiments grossiers à travers la retenue et le barrage de l'Escale.**

### **3. ANALYSE DES NIVEAUX EN CRUE CENTENNALE AU PONT DE VOLONNE**

#### **3.1 OBJECTIFS**

L'objectif est de vérifier la sensibilité du secteur du pont de Volonne aux débordements

Les lignes d'eau obtenues seront comparées aux lignes d'eau en crue centennale calculées dans l'étude hydraulique précédente (modélisation, 2004) et ayant servi de base à l'état cible et au PPRI afin d'apprécier l'impact d'une érosion des fonds.

Dans l'étude de 2004, les lignes d'eau ont été obtenues par simulations avec le logiciel MASCARET, à fonds fixes, pour les bathymétries de 1994 (post crue et abaissement historique du niveau de la retenue) et 2004. Pour la présente étude, un modèle hydrosédimentaire à fond mobile a été utilisé (code COURLIS qui intègre une érosion des fonds en crue).

## 3.2 DONNEES ET HYPOTHESES

### 3.2.1 Hydrogrammes

L'hydrologie de référence actuelle est celle de l'étude GRADEX de 2004. Le débit de pointe en crue centennale est estimé à 2720 m<sup>3</sup>/s correspondant à une crue centennale du bassin versant intermédiaire entre Serre-Ponçon et l'Escale.

Le débit entrant Escale pris en compte pour les simulations est construit à partir du débit sortant calculé au barrage de St. Lazare. L'hydrogramme représentant les apports hydrologiques intermédiaires du Vançon est alors ajouté.

### 3.2.2 Fonds Initiaux

Deux hypothèses de fonds initiaux, représentant des états d'envasement différents, ont été testées :

- Les fonds « hauts » : la géométrie 2016 a été utilisée pour représenter cet état d'envasement
- Les fonds « bas » : la géométrie obtenue par modélisation pour la fin de la crue de novembre 2016 a été utilisée. Elle est proche de la géométrie de 2017

### 3.2.3 Gestion du barrage en crue

2 types de gestion sont simulés :

- Scénarios 1 et 3 : ces premiers scénarios font l'hypothèse d'un abaissement très tôt par rapport à l'évènement hydrologique, à partir d'un niveau d'eau de 431.50 m NGF (niveau maximum en état de veille).
- Scénarios 2 et 4 : Au contraire, ces deuxièmes scénarios font l'hypothèse d'un abaissement tardif. Il a été décidé de définir une cote de départ compatible avec l'effacement du barrage, pour cet évènement hydrologique, avec le respect des vitesses maximales d'abaissement. Pour ces scénarios, le niveau initial dans la retenue a donc été fixé à 429.50 m NGF.

Les scénarios 3 et 4 diffèrent des scénarios 1 et 2 par la géométrie initiale prise en compte, cf. § 3.2.2

Le barrage de l'Escale est supposé être géré conformément aux consignes de crue. En particulier :

- L'état de crue, conduisant au début de l'abaissement, est déclaré sur déclaration de l'état de crue à St. Lazare.
- L'abaissement est calculé en fonction de la vitesse maximale d'abaissement définie pour une cote donnée (organe d'isolement fermé) :
  - o 1 m/s jusqu'à 430.00 m NGF;
  - o 0.3 m/s en dessous de 430.00 m NGF.
- Le niveau d'eau initial est variable en fonction des scénarios : 431.50 m NGF pour les abaissements précoces et 429.50 m NGF pour les abaissements tardifs.

La vanne de coupure est considérée comme ayant été fermée, mais la manœuvre à proprement parlé n'a pas été prise en compte.

Le débit entrant Escale pris en compte pour les simulations est construit à partir du débit sortant calculé au barrage de St. Lazare. L'hydrogramme représentant les apports hydrologiques du bassin versant intermédiaire (dont le Jabron et le Vançon) est alors ajouté.

### 3.2.4 Scénarios testés

Le tableau ci-dessous récapitule les 4 scénarios testés sur le modèle :

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Etat initial	Qe (m3/s)	179	179	179	179
	N (m NGF)	431.50	429.50 (préparation du plan d'eau pour être effacé au pic de crue)	431.50	429.50 (préparation du plan d'eau pour être effacé au pic de crue)
	Fonds initiaux	Fonds érodés post crue (fonds "bas")	Fonds érodés post crue (fonds "bas")	Fonds 2016 (fonds "hauts")	Fonds 2016 (fonds "hauts")
Hydrologie	Durance (St. Lazare)	Débit sortant de St Lazare Scénario 1	Débit sortant de St Lazare Scénario 2	Débit sortant de St Lazare Scénario 3	Débit sortant de St Lazare Scénario 4
	BVI (St. Lazare / Escale)	Calculé à partir des hydrogrammes de crue théoriques à St. Lazare et l'Escale			
Gestion du barrage	Loi d'abaissement	Abaissement en vitesse, issu de l'Instruction de Crue (vitesse d'abaissement maximale)			
	Début d'abaissement	Abaissement à 170 m3/s à St. Lazare	Abaissement à 270 m3/s à St. Lazare	Abaissement à 170 m3/s à St. Lazare	Abaissement à 270 m3/s à St. Lazare

Tableau 1 : Synthèse des scénarios testés pour la Q100-BVI

### 3.2.5 Calage hydraulique

La rugosité du lit mineur a été calée sur une crue non débordante :

- Ks = 50 (entre P35 et le barrage), cf. profils en annexe 1.
- Ks = 45 entre P39 et P34

La rugosité du lit majeur n'a pas pu être calée. La valeur retenue est celle utilisée dans l'étude hydraulique précédente de 2004, soit Ks =15.

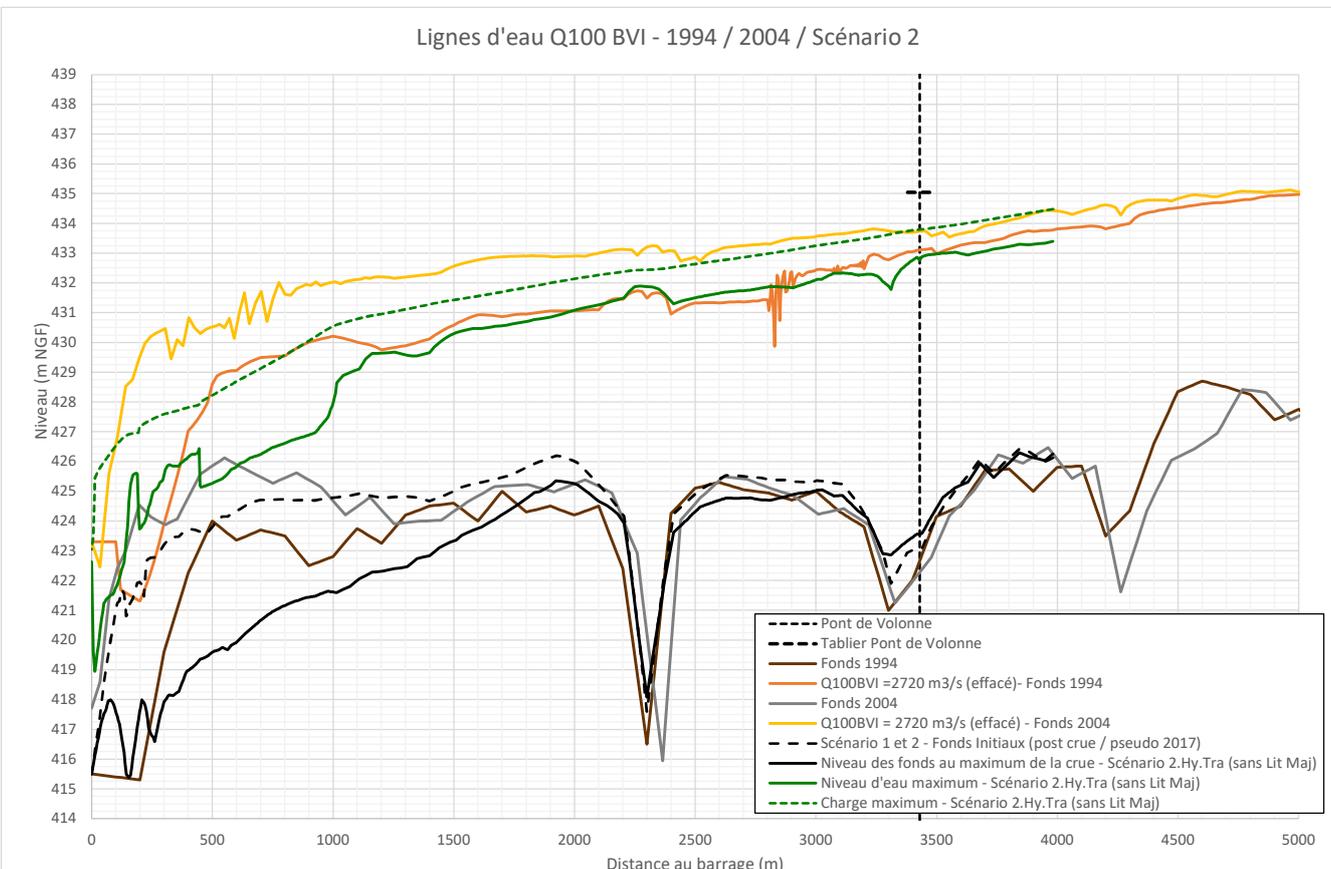
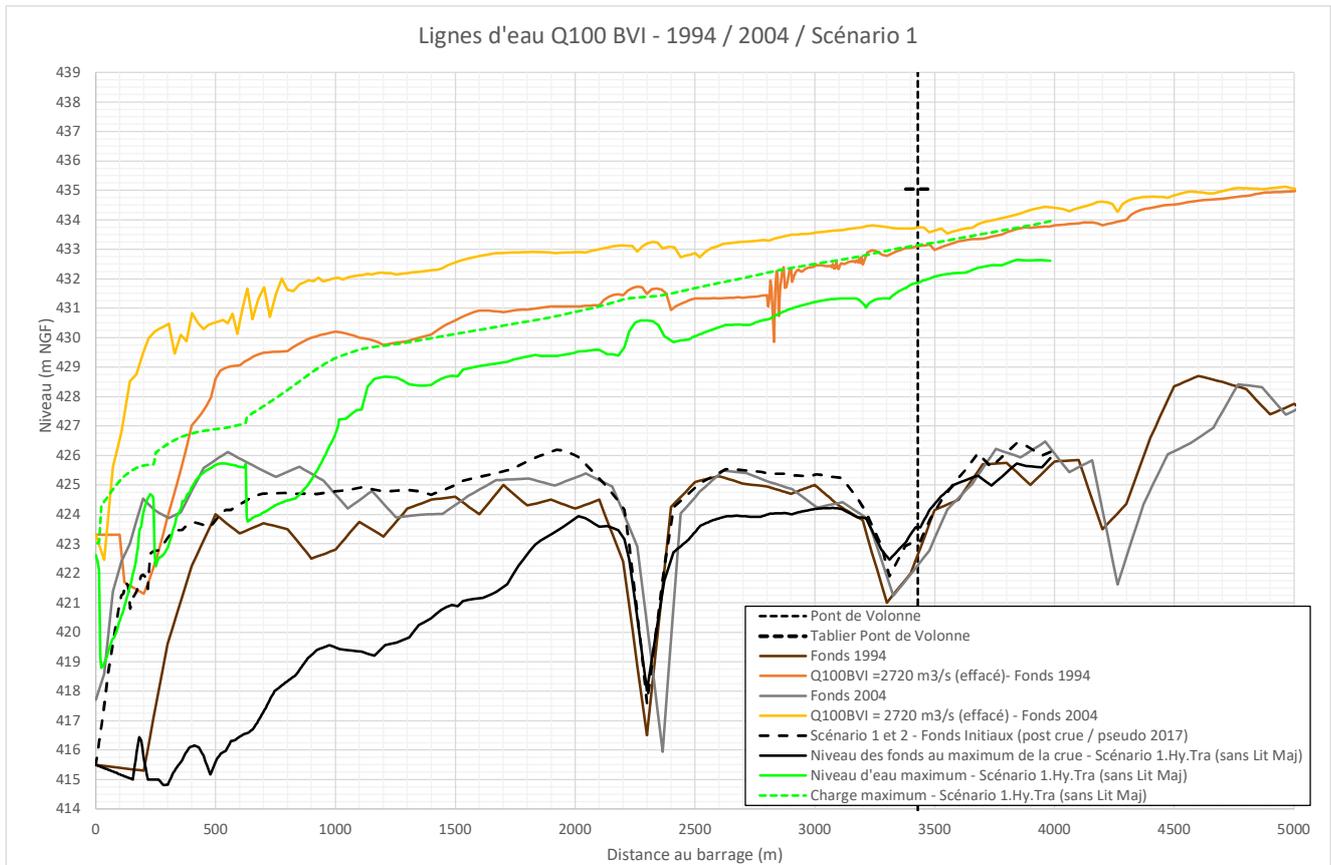
## 3.3 RESULTATS OBTENUS

### 3.3.1 Lignes d'eau au pic de crue

Les graphiques page suivante illustrent les lignes d'eau et ligne de charge obtenues pour chacun des 4 scénarios. Les lignes d'eau issues de l'étude de 2004 sont également représentées sur chacun des profils en long.

Les profils en long des fonds représentent les profils en long des points bas des profils en travers. Sur chacun des graphiques, 4 profils en long des fonds ont été tracés :

- Les fonds 1994 ;
- Les fonds 2004 ;
- Les fonds initiaux avant érosion (en noir pointillés) : il s'agit des fonds initiaux pour les simulations COURLIS. Pour les scénarios 1 et 2, ce sont les fonds équivalent à 2017 (fonds « bas »). Pour les scénarios 3 et 4, ce sont les fonds 2016 (fonds "hauts") ;
- Les fonds au maximum de la crue (en noir plein) : il s'agit des fonds obtenus par calcul COURLIS, pour chacun des scénarios, au maximum de la crue.



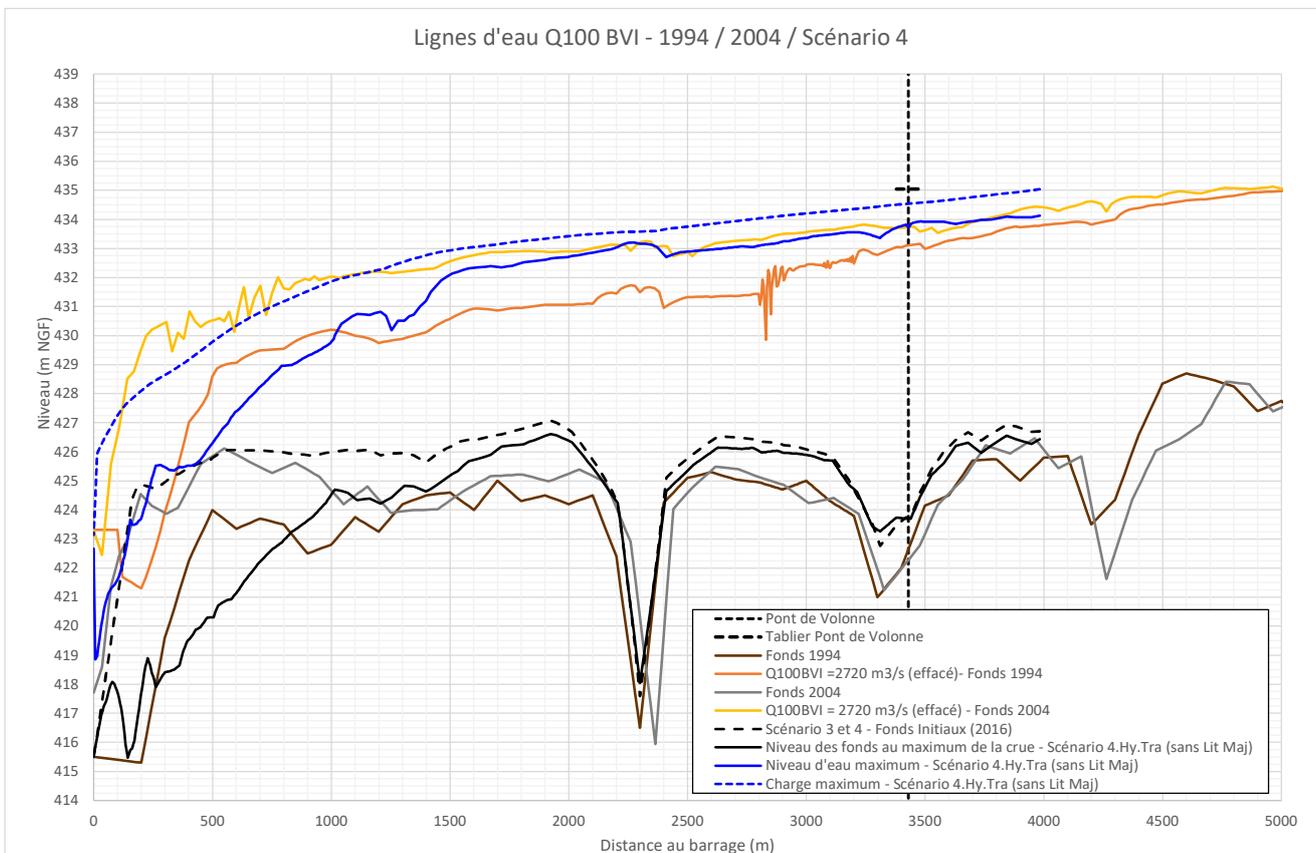
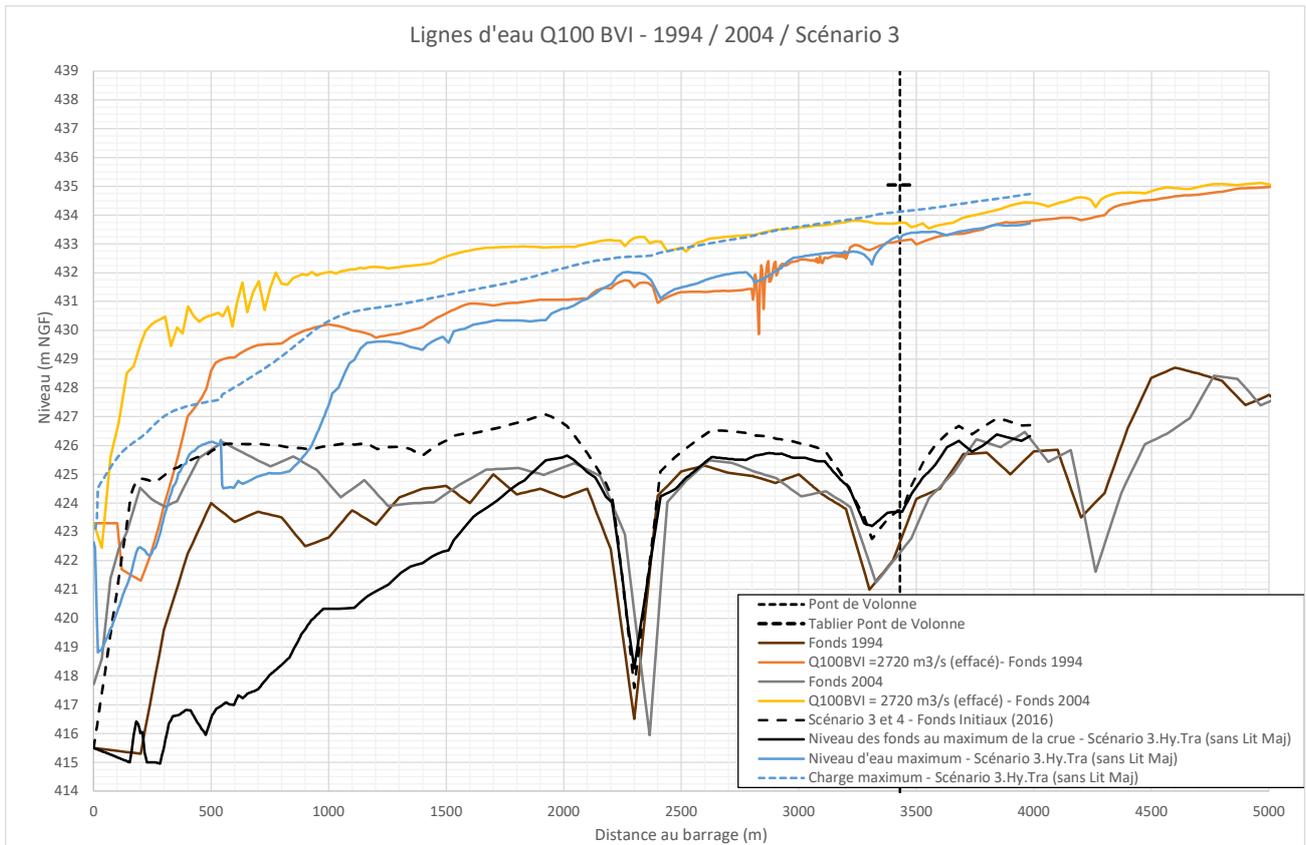


Figure 5 : Lignes d'eau simulées pour Q100 – BVI, pour différents scénarios de gestion

Les lignes d'eau et lignes de charge représentent les valeurs maximales sur le linéaire aux temps proches de la pointe de crue (barrage effacé).

- Les fonds les plus érodés au moment du pic de crue sont ceux obtenus avec le scénario 1, tandis que le scénario 4 représente les fonds les moins érodés sur l'ensemble de la retenue ;
- Le niveau le plus bas est obtenu pour le scénario 1 (abaissement précoce ; fonds « bas »). Ce niveau est plus bas que celui obtenu dans l'étude historique avec les fonds de 1994. Pour ce scénario, les fonds sont érodés sur 1 km à l'aval du Pont de Volonne, à des niveaux des fonds inférieurs aux fonds de 1994, ce qui permet de limiter les niveaux d'eau au pont (fond initiaux érodés et abaissement précoce) ;
- Les scénarios 2 et 3 produisent des niveaux d'eau comparables au Pont de Volonne malgré des fonds très sensiblement différents sur les 3 kilomètres les plus à l'aval de la retenue. Entre l'éperon rocheux et le Pont de Volonne, les fonds de ces scénarios sont proches des fonds de 1994 ;
- Le niveau le plus haut est obtenu pour le scénario 4 (abaissement tardif ; fonds « hauts »). Le niveau d'eau atteint est proche de celui obtenu dans l'étude historique avec les fonds 2004. Le niveau de charge est supérieur d'environ 70 cm au niveau d'eau. Pour ce scénario, les fond à l'aval de l'éperon rocheux sont très bas, alors qu'entre l'éperon rocheux et le Pont de Volonne, les fonds sont supérieurs à ceux de 2004.

L'analyse poussée des résultats hydrauliques montre de nombreux passages en régime torrentiel sur les 2 kilomètres les plus à l'aval de la retenue donc le niveau au barrage n'influence pas le niveau au pont de Volonne. **C'est donc l'état des fonds plus à l'amont, à proximité du Pont de Volonne qui a une influence directe sur les niveaux d'eau au pont, alors que le creusement des fonds sur l'aval de la retenue n'a pas d'influence sur ces niveaux.** Ils ne varient en effet qu'entre 433.00 et 434.00 m NGF alors que le niveau des fonds sur le kilomètre le plus à l'aval de la retenue varie d'une dizaine de mètres.

Globalement, les niveaux d'eau au droit du Pont de Volonne obtenus en testant la sensibilité à l'envasement de la retenue, restent du même ordre de grandeur que ceux obtenus lors de l'étude de 2004, à l'exception du scénario 1 pour lequel les niveaux sont plus bas. Cela s'explique par le fait **qu'au maximum de la crue, l'érosion régressive n'est pas encore remontée de façon significative jusqu'au Pont de Volonne** et que les fonds 2004 et 2017 sont relativement proches à l'aval du pont.

### 3.3.2 Lit majeur

Pour les modèles 1D, le niveau de charge est plus représentatif du niveau d'eau en limite de zone de débordement dans le lit majeur, c'est pourquoi cette grandeur est analysée. Le niveau d'eau, quant à lui est plus caractéristique du niveau sous le pont. Le niveau de charge maximal au droit du pont est de 434.55 m NGF, pour un niveau de 433.84 m NGF obtenu pour le scénario 4 (fonds « hauts » et abaissement tardif). La vue en plan ci-dessous permet d'estimer que ce niveau atteindrait le rond-point en rive gauche qui mène au pont, et arriverait au pied des premières habitations. En rive droite, la roselière et la zone agricole sont majoritairement sous ce niveau.



Figure 6 : Pont de Volonne vue en plan : lignes de niveau (NGF O)

Il ressort des résultats des simulations que les 2 kilomètres aval de la retenue sont érodés massivement et rapidement en début de crue, alors que le linéaire entre l'éperon rocheux (PK2300, P22, cf. carte en annexe) et le pont de Volonne est peu, (ou pas en cas d'abaissement tardif), érodé lors de la survenue de la pointe de crue. Or, au pic de crue, le niveau d'eau au Pont de Volonne, pour ce type d'évènement hydrologique, est directement lié à l'élévation des fonds sur cette portion de linéaire.

### 3.3.3 Limites du modèle

Le modèle n'a pas été calé pour des évènements extrêmes :

- Les débordements en lit majeur sont mal pris en compte (lit majeur avec une rugosité de lit mineur dans COURLIS ; suppression de la section lit majeur dans MASCARET). Les couches de sédiments les plus profondes ne sont pas caractérisées de manière dissociée. Dans le modèle, l'érodabilité de ces couches est vraisemblablement surestimée avec pour conséquences :
  - o une surestimation du creusement (en amplitude et en vitesse) et donc une sous-estimation des niveaux d'eau ;
  - o une incertitude sur les concentrations aval ;
- L'élargissement du lit mineur pour une crue fortement débordante est vraisemblablement sous-estimé

Les lignes d'eau maximales obtenues pour des crues extrêmes ont donc été calculées avec des fonds fixes, issus du calcul d'érosion en crue centennale. Ces calculs permettent uniquement d'estimer la sensibilité des niveaux d'eau à l'état d'envasement de la retenue.

Du fait de ces limites, il est nécessaire de considérer les résultats de calcul, pour cet évènement hydrologique extrême, avec précautions.

### 3.3.4 Synthèse

**Il est noté une sensibilité du secteur du pont de Volonne aux débordements en crue centennale. Il convient donc de limiter l'exhaussement des fonds notamment entre le pont de Volonne et l'éperon rocheux, et donc les dépôts de sédiments fins ou grossiers, de manière à limiter les niveaux atteints au pic de crue et ainsi les débordements en rive gauche.**

## 4. AVANCEE DES SEDIMENTS GROSSIERS DANS LA RETENUE

### 4.1 MODELES HYDROSEDIMENTAIRES GROSSIERS

#### 4.1.1 Modèle initial mis en place pour le curage de Salignac

Un premier modèle Cavalcade a été développé en 2020 pour définir et dimensionner les curages à mettre en place au niveau de Salignac.

Ce modèle a été calé sur la crue de novembre 2016 et sur la période 2012-2014 pour laquelle les données bathymétriques étaient de suffisamment bonne qualité dans la zone d'étude.

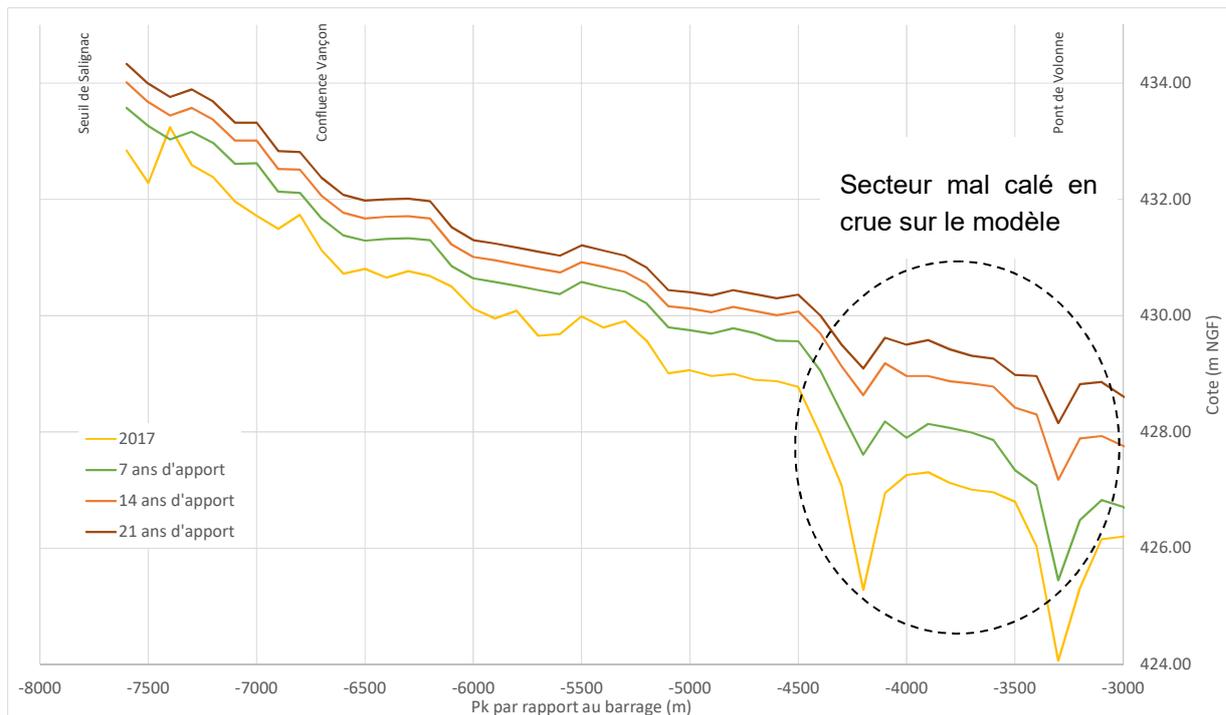


Figure 7. Profils en long de fond du lit en 2017 et après 7, 14 et 21 ans d'apports sédimentaires

*La qualité du calage est plus faible en aval, à partir du resserrement rocheux (pk -4200). L'abaissement du lit lors de la crue est mal représenté car le fond du lit n'est pas exclusivement composé de sédiments grossiers mais d'un mélange de sédiments fins et grossiers. Plus on descend vers l'aval, plus la part de sédiments fins est importante.*

Le calage était suffisant pour définir les curages dans la zone de Salignac, ainsi que l'effet du piège à graviers en amont du seuil de Salignac. Par contre, il est nécessaire de retravailler ce calage pour pouvoir caractériser les avancées de graviers dans la retenue. En effet, les exhaussements constatés en aval du pk-4500 traduisent une avancée importante de sédiments grossiers dans la retenue qui n'est pas nécessairement représentative de la réalité.

#### 4.1.2 Nouveau calage hydrosédimentaire

Un nouveau calage sédimentaire a été réalisé pour les périodes 2012-2014 et la crue de novembre 2016 (périodes déjà utilisées pour le premier calage). Ce calage a été complété en utilisant la période 2017-2021 (non disponible lors de la première étude). Les principales modifications apportées au modèle sont les suivantes :

- Augmentation du diamètre moyen des sédiments du Vançon de 0.07m à 0.09m, ce qui entraîne une diminution des apports moyens de 22 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne à 14 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne pour la période 2011-2017 (cet écart est dans la gamme d'incertitude des apports moyens annuels du Vançon) ;
- Augmentation du diamètre moyen dans la Durance pour les profils en aval du Vançon.

Le diamètre des sédiments de la Durance avait été calé en diminuant le diamètre au fur et à mesure de l'avancée dans la retenue pour traduire « artificiellement » le tri granulométrique qui s'opère lors de l'avancée des graviers dans une retenue. Une moindre diminution peut entraîner une perte de représentativité dans l'évolution des profils en long mais permet de mieux représenter l'avancée des sédiments grossiers dans la retenue qui est l'objectif recherché ici.

Les graphiques des profils en long pour les 3 périodes de calage (cf. § 4.1.2.1, 4.1.2.2, 4.1.2.3) montrent que les résultats obtenus en termes de profils en long sont proches pour les 2 calages et que ce nouveau calage respecte mieux les granulométries des sédiments grossiers et est donc plus fiable pour représenter l'avancée des sédiments dans la retenue.

Il est toutefois important de noter que le calage comporte une marge d'incertitude de plus en plus forte vers l'aval de la retenue. Il semble que le calage soit toutefois suffisant pour estimer des volumes de sédiments avançant jusqu'au pont de Volonne selon différents scénarios de curage en queue de retenue.

#### 4.1.2.1 2017-2021

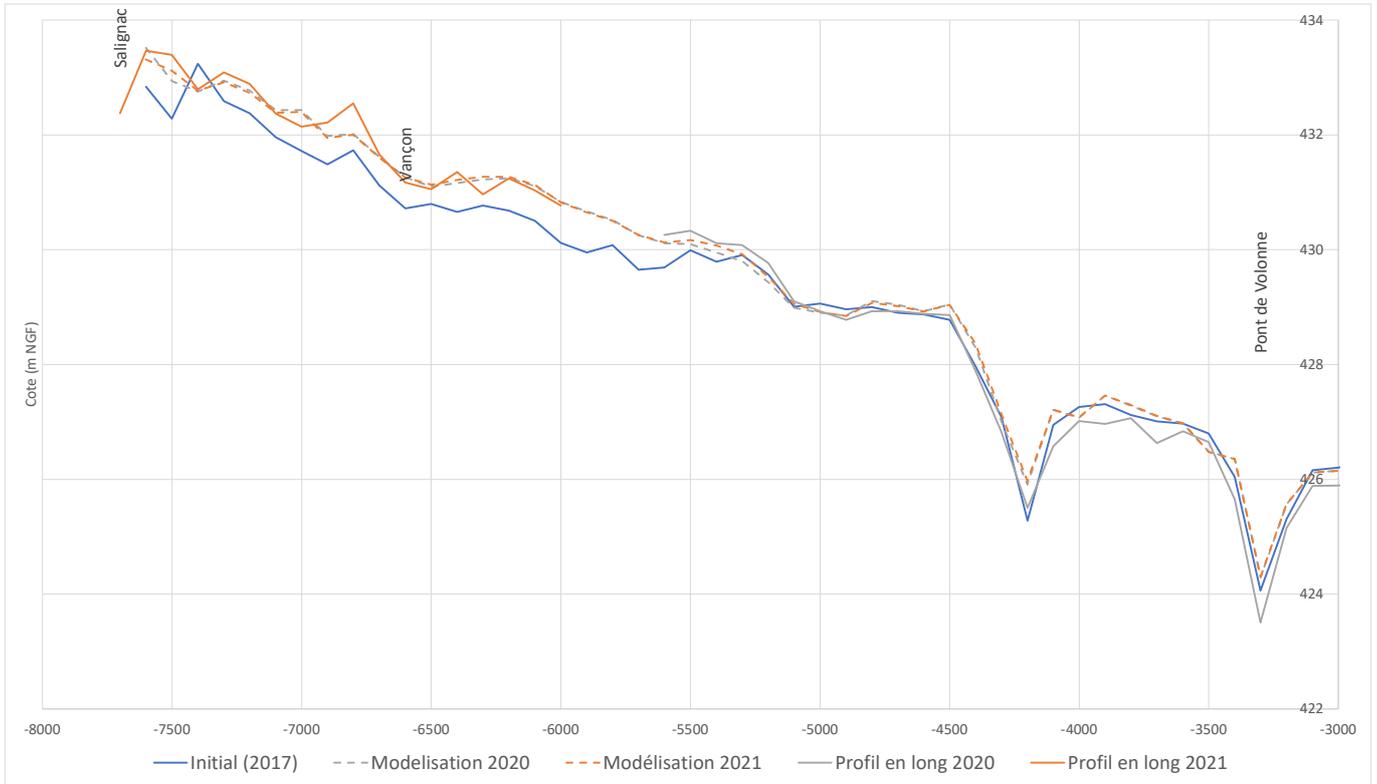


Figure 8. Nouveau calage sur la période 2017-2021



Figure 9. Calage (paramètres du calage initial) sur la période 2017-2021

Le nouveau calage sur la période 2017-2021 est jugé très correct et meilleur que celui avec les paramètres initiaux du modèle, notamment en aval du pk -5000.

#### 4.1.2.2 Crue de 2016

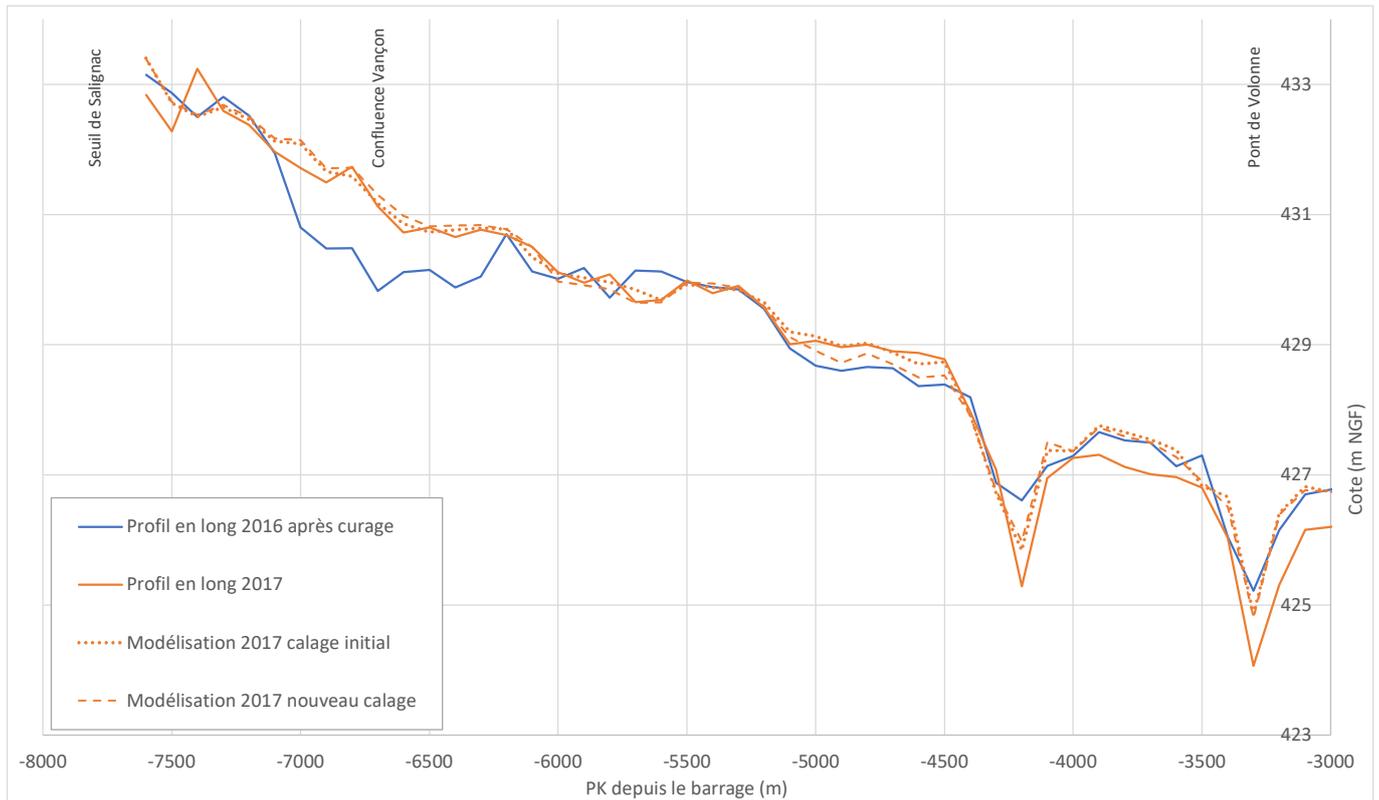


Figure 10. Calage sur la crue de 2016

Le calage sur la crue de 2016 est proche de celui obtenu initialement.

### 4.1.2.3 2012-2014

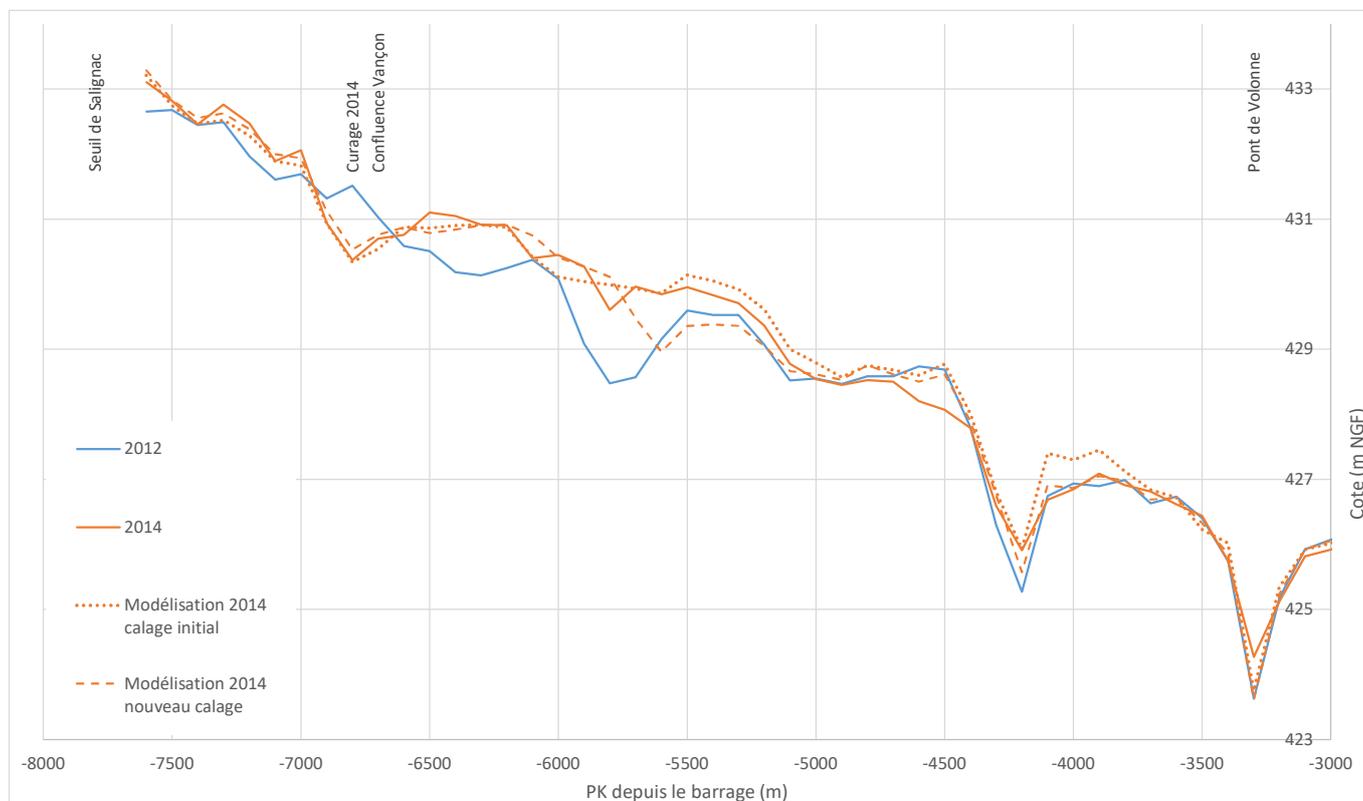


Figure 11. Calage sur la période 2012-2014

Le calage sur la période 2012-2014 est un peu moins bon notamment autour du pk -5500 (mais il est probable que la bathymétrie 2012, point de départ de la simulation comporte quelques incertitudes) ; par ailleurs, il est meilleur autour du pk -4000.

### 4.1.2.4 Synthèse du calage

Le nouveau calage conserve des marges d'erreur dans l'évolution des profils même s'il est globalement jugé très correct. Toutefois, il permet de mieux conserver les diamètres des sédiments grossiers que le précédent calage, indispensable pour suivre l'évolution de leur avancée dans la retenue.

Les résultats des modèles présentés aux paragraphes suivants ont donc une incertitude relativement importante mais celle-ci est plus limitée lors de la comparaison entre différents scénarios, ce qui est l'objectif ici.

## 4.2 RESULTATS OBTENUS

### 4.2.1 Scénarios étudiés

L'objectif de l'étude est de caractériser l'avancée des graviers à long terme dans la retenue de l'Escale selon différents scénarios de curage (cf. Figure 2) :

- Sans curage ;
- Avec le curage prévu initialement en 2022 et le curage du piège à graviers en Durance en moyenne tous les 2 ans ;
- Avec le curage dit optimisé (fonds cibles) et le curage du piège à graviers en Durance en moyenne tous les 2 ans.

Pour chacun de ces scénarios, les résultats ont été calculés à 6, 12 et 18 ans avec éventuellement un nouveau curage réalisé conformément au curage initial au bout de 12 ans.

### 4.2.2 Profil en long

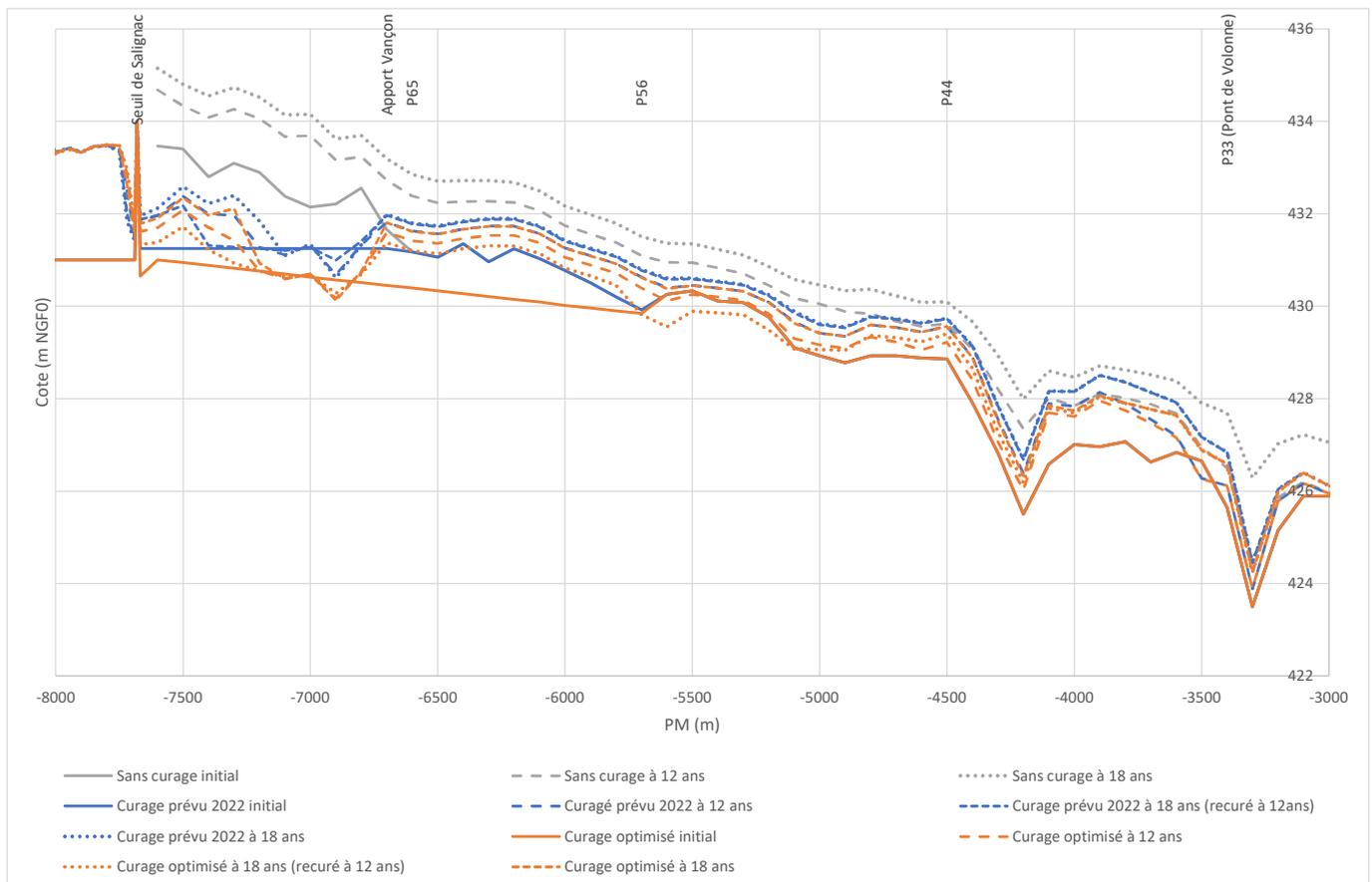
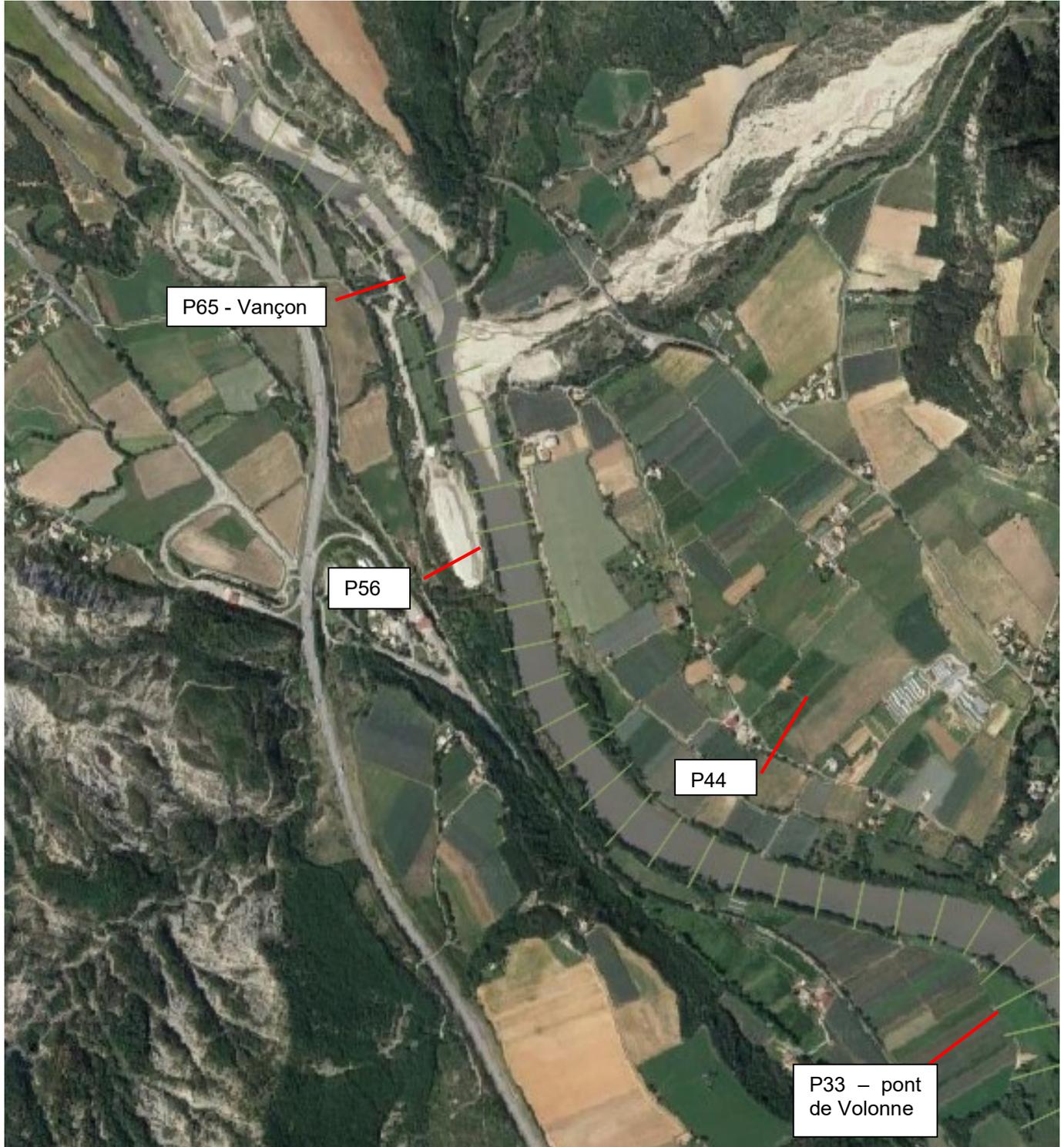


Figure 12. Evolution des profils en long suivant les scénarios étudiés

Le graphique Figure 12 montre qu'avec le curage optimisé (« fonds cibles ») les niveaux aval s'ils s'exhaussent régulièrement restent toujours bien en deçà des niveaux atteints avec le curage prévu en 2022 et à fortiori sans curage. Les différences ont tendance à s'atténuer en allant vers l'aval.

### 4.2.3 Volume

Les apports totaux (Durance à Salignac + Vançon) sont estimés à 40 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne annuelle. Les graphiques *Figure 14* et *Figure 15* montrent l'évolution du volume moyen annuel en transit en 4 points : au P65 (aval immédiat confluence Vançon), au P56 (profil aval du curage optimisé), au P44 (profil intermédiaire) et au P33 (Pont de Volonne). Ces 4 profils sont en rouge sur la carte *Figure 13*.



*Figure 13. Profils étudiés*

L'objectif est d'estimer pour chacun des projets de curage, le volume en transit en aval de la zone de curage et la part résiduelle arrivant au pont de Volonne au regard des apports. Le secteur du pont de Volonne est important du fait de sa sensibilité aux débordements (cf. § 3) ; toutefois tous les sédiments passant le profil 56 doivent être quantifiés car en aval de ce profil, il devient compliqué techniquement de les curer. **De plus, les sédiments, même s'ils ne sont pas encore présents à la fin des simulations (18 ans) au pont de Volonne, finiront nécessairement par descendre au gré des abaissements de la retenue en crue.**

**Les sédiments grossiers se déposant au pont de Volonne ont un double impact : rehausse du profil en long mais également diminution de l'érosion des sédiments fins lors des abaissements de la retenue en crue.**

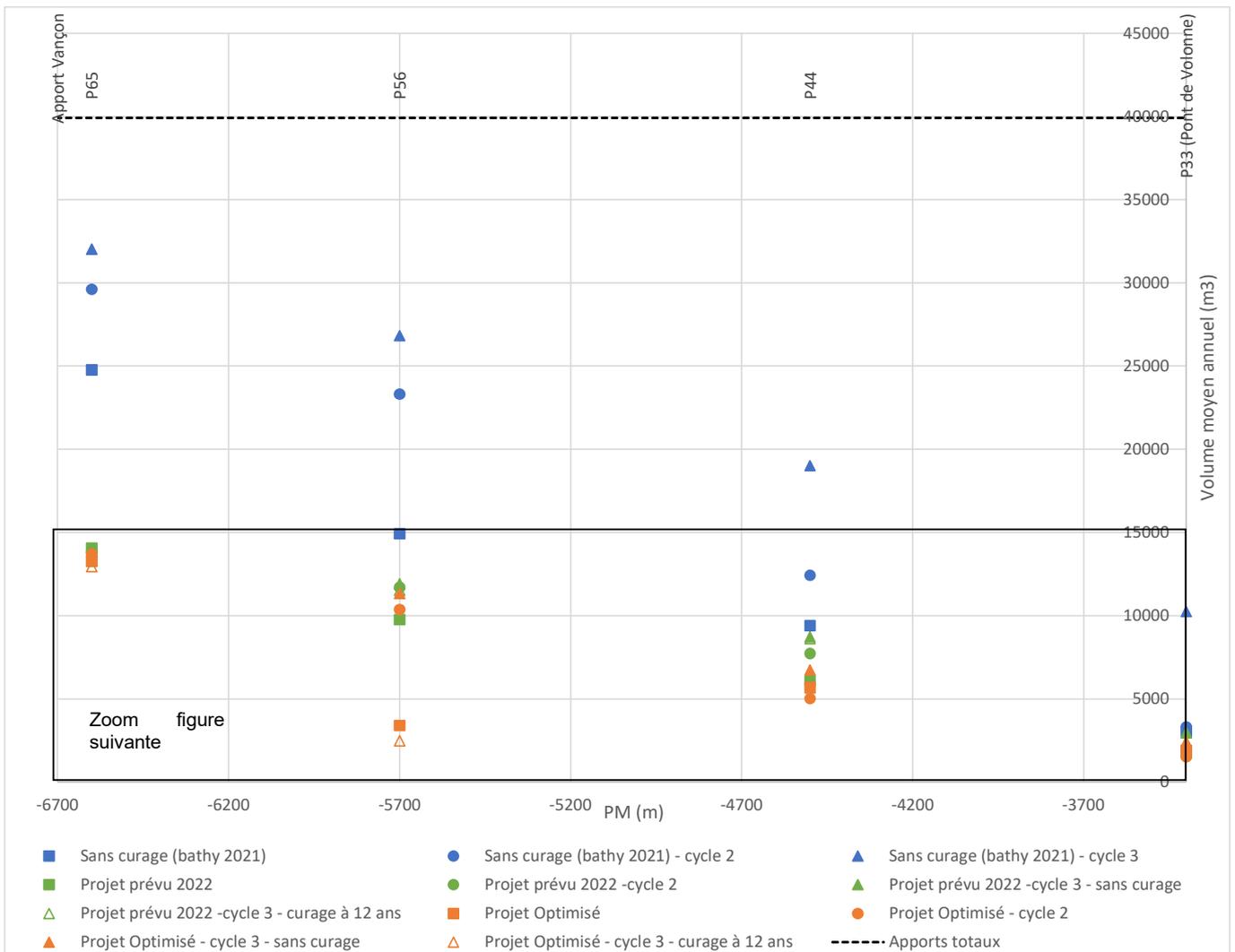
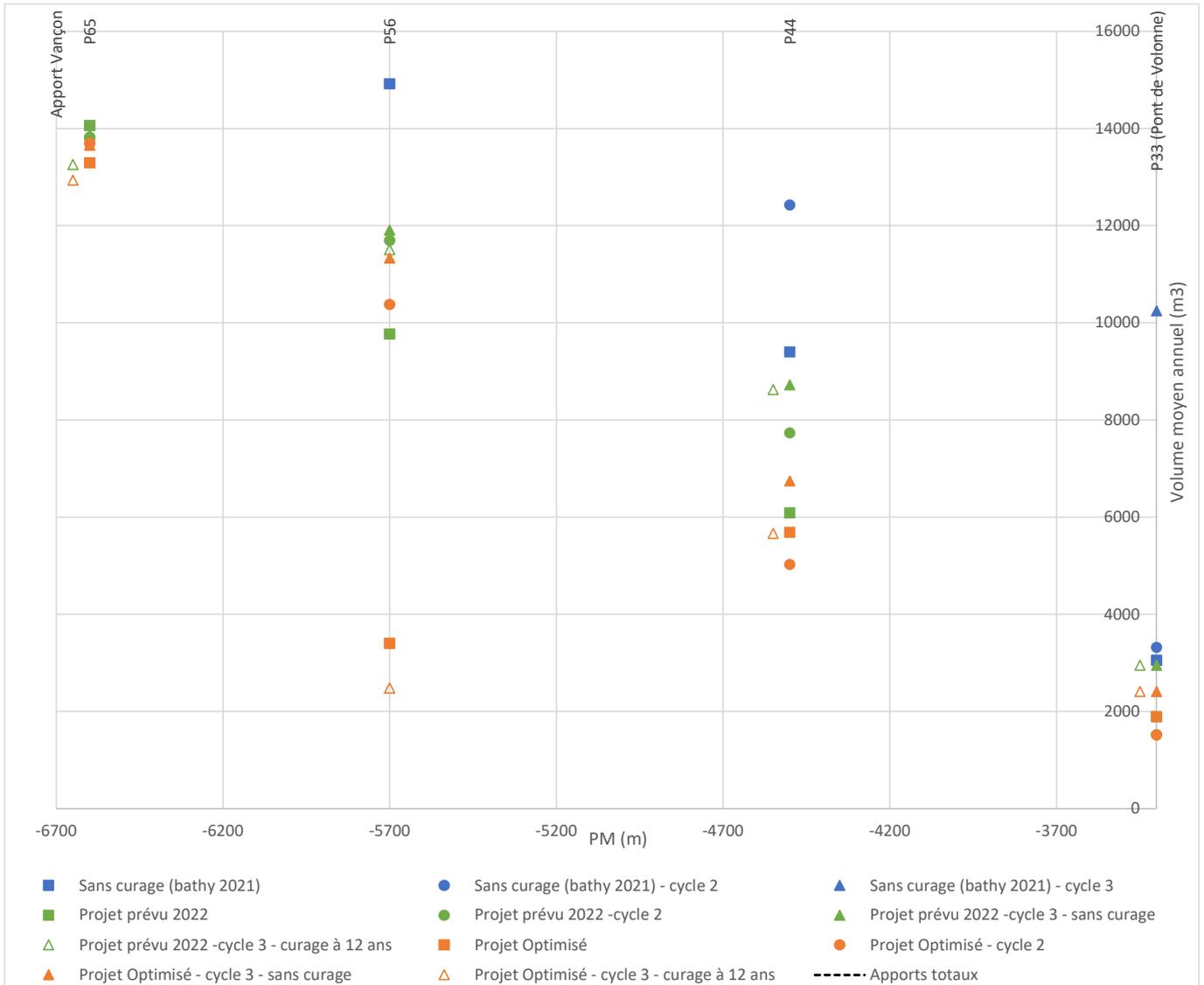


Figure 14. Volume moyen annuel de sédiment en transit suivant les scénarios étudiés

NB :

Cycle 2 correspond aux résultats au bout de 12 ans de simulation

Cycle 3 correspond aux résultats au bout de 18 ans de simulation



Les triangles vides oranges et verts ont été décalés sur la gauche quand ils se superposaient avec d'autres pour être visibles.

Figure 15. Volume moyen annuel de sédiment en transit suivant les scénarios étudiés – Zoom valeurs basses

Au pont de Volonne, jusqu'à 12 ans de simulation, les apports solides sont faibles 2 à 8 % des apports totaux (Durance + Vançon) suivant les scénarios de curage. Par contre, à 18 ans, pour le scénario sans curage, le volume atteint 26% (10 000 m³) au lieu de 3 à 7 % (2000 à 3000 m³) avec les curages.

Il est également nécessaire de voir ce qu'il se passe au P56, en effet les cailloux passant au P56 ne seront plus curables et descendront inexorablement jusqu'au pont de Volonne après s'être accumulés dans l'ensemble du secteur. A ce profil, les différents projets sont bien différenciés :

- Avec le projet optimisé si le curage est réitéré au bout de 12 ans, le volume en transit est très faible (env. 3000 m³).
- Avec le projet prévu en 2022, le volume est d'environ 10 000 m³ ;
- Sans curage, le volume est entre 15 et 30 000 m³ et ne cesse d'augmenter.

Les curages sont indispensables pour la protection de l'usine de Salignac. Le scénario sans curage a été étudié pour donner une référence.

Les sédiments s'accumulent dans tout le secteur jusqu'au pont de Volonne. Quand ils descendent en aval du P56, ils deviennent difficilement curables (contraintes techniques et environnementales fortes), ils pourront engendrer à terme des problématiques de débordements qu'il sera compliqué voire impossible de gérer pour un coût raisonnable. Il est donc nécessaire de limiter au maximum les volumes de sédiments sortant de la zone de curage.

Par ailleurs, le curage dit optimisé (« fonds cibles ») permet de préserver au maximum le productible de l'usine de Salignac.

Il est donc préconisé de réaliser au plus tôt le curage optimisé et ensuite de curer régulièrement la zone tous les 10 à 20 ans en fonction des apports et des volumes en jeu (cf. ; § 4.2.4 pour la gestion de ces fréquences de curage).

#### 4.2.4 Profil de déclenchement et fréquence de curage

Il est ainsi préconisé pour limiter les cailloux descendant dans la retenue en aval de la zone de curage mais aussi pour maximiser les turbines de l'usine de Salignac de réaliser le curage dit optimisé et ainsi de curer la Durance de l'usine de Salignac à l'aval du cône du Vançon. Ce curage doit se faire au plus vite.

La mise en place du piège en Durance qui sera curé en moyenne tous les 2 ans permettra de limiter la rehausse des fonds en aval de l'usine. Toutefois, cette rehausse est inéluctable, il sera donc nécessaire de retourner curer en Durance mais à une fréquence beaucoup plus faible qu'actuellement sans piège en Durance. Cette fréquence est difficile à définir puisqu'elle dépend des apports et donc de l'hydrologie.

Il a donc été défini un profil de déclenchement de curage dimensionné pour limiter le transit des cailloux vers l'aval, cf. *Figure 16*. Si celui-ci est dépassé par le profil en long du fond moyen sur plus de 500 m, il sera nécessaire de procéder à un nouveau curage selon le profil optimisé.

Le profil de déclenchement de curage correspond aux niveaux atteints au bout de 12 ans après le curage optimisé du pk -6700 à -5700 (entre P66 et P56) puis de la cote actuelle (bathy 2021) du pk -5600 au pk -5200 (entre P55 et P51).

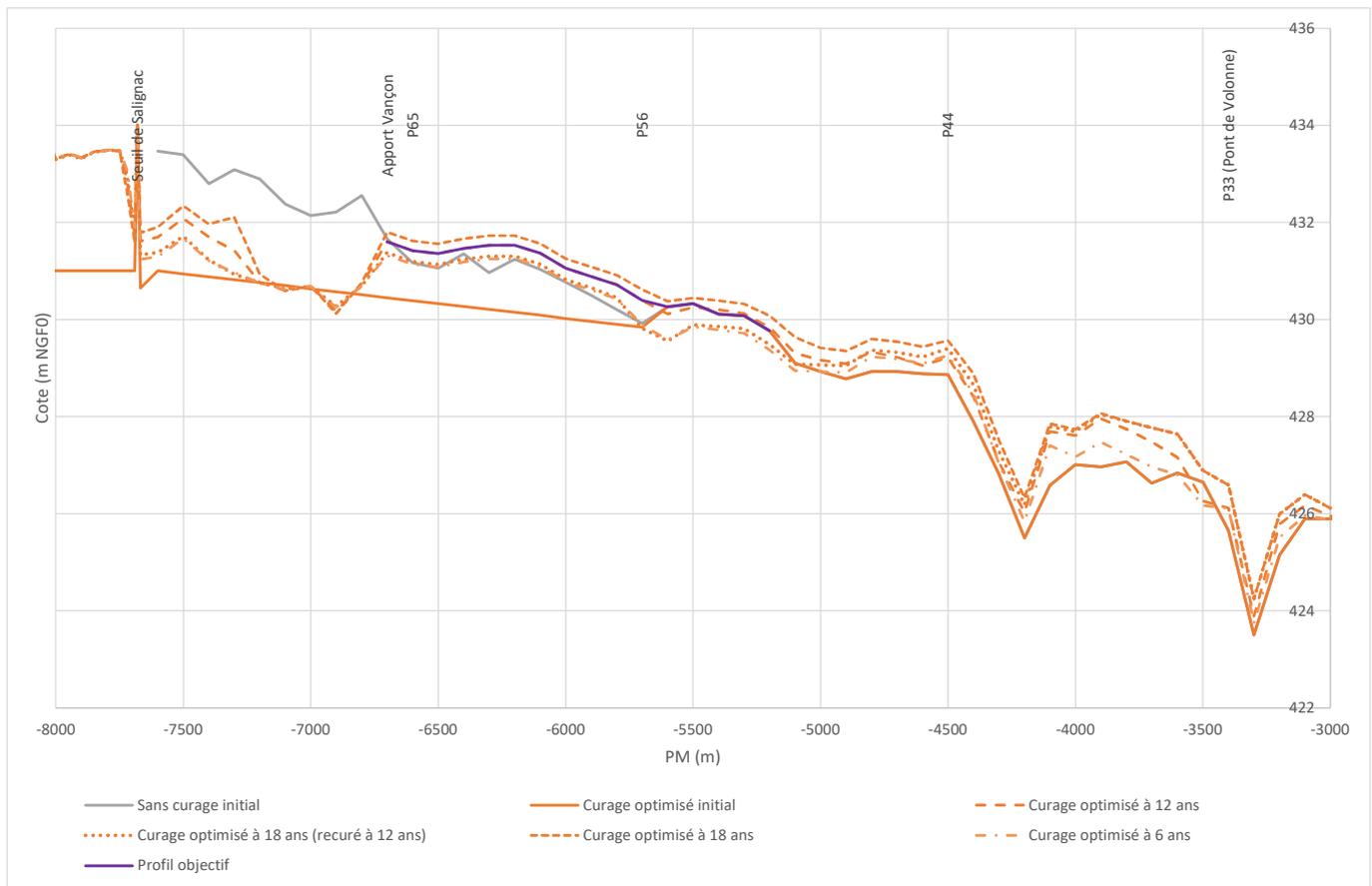


Figure 16. Profil objectif pour réitérer le curage optimisé en Durance

Il est probable que ce nouveau curage intervienne 10 à 20 ans plus tard, sauf en cas d'apport exceptionnel.

Un suivi régulier du profil en long du fond moyen en aval permettra de vérifier que celui-ci ne subit pas un exhaussement trop important.

## 5. SYNTHÈSE

Il a été vérifié que le transit des apports sédimentaires grossiers amont au barrage de l'Escale n'était pas compatible avec le maintien de l'hydroélectricité et des enjeux existants. En effet, la pente nécessaire pour atteindre l'équilibre permettant le transit des sédiments dans la retenue entraînerait un dépôt d'environ 5 m supplémentaires en queue de retenue même pour des ouvertures du barrage pour des débits entrants supérieurs à 300 m<sup>3</sup>/s (et avec une méthode de calcul optimiste des ouvertures en crue).

Il est noté une sensibilité du secteur du pont de Volonne aux débordements en crue centennale. Il convient donc de limiter l'exhaussement des fonds notamment entre le pont de Volonne et l'éperon rocheux (PK2300) de manière à limiter les niveaux atteints au pic de crue et ainsi les débordements en rive gauche.

Les sédiments grossiers se déposant au pont de Volonne ont un double impact : rehausse du profil en long mais également diminution de la capacité d'érosion des sédiments fins lors des abaissements de la retenue en crue (effet de masquage). Du fait du risque de débordement actuel au pont de Volonne en crue centennale, il est nécessaire d'éviter que des graviers descendent dans la retenue jusqu'au pont de Volonne.

Il est ainsi préconisé pour limiter les cailloux descendant dans la retenue en aval de la zone de curage mais aussi pour préserver au maximum le productible de l'usine de Salignac de réaliser le curage dit optimisé et ainsi de curer la Durance de l'usine de Salignac à l'aval du cône du Vançon.

Il a également été défini un profil de déclenchement de curage dimensionné pour limiter le transit des cailloux vers l'aval, permettant de savoir quand réitérer le curage. Il est probable que ce nouveau curage intervienne 10 à 20 ans plus tard, sauf en cas d'apport exceptionnel. Un suivi régulier du profil en long du fond moyen en aval permettra de vérifier que celui-ci ne subit pas un exhaussement trop important.

## **6. ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES PROFILS EN TRAVERS**

