

EDF Hydro Méditerranée

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

EDF Hydro Méditerranée - GU SISTERON

QUEUE DE RETENUE DE L'ESCALE ET USINE DE SALIGNAC

Modélisations hydro-sédimentaires 1D (sédiments
grossiers)

Rapport 2021



NOTE TECHNIQUE

QUEUE DE RETENUE DE L'ESCALE ET USINE DE SALIGNAC. MODELISATIONS HYDROSEDIMENTAIRES 1D (SEDIMENTS GROSSIERS)

Projet	Transport solide Hydro Med		
Référence	H-30575706-2018-000099		
Date	11/2021	Indice	60 page(s) 0 annexe(s)

Résumé	La présente étude s'inscrit dans le cadre de la mise à jour de l'état cible de la retenue de l'Escale. Elle a pour objectif d'évaluer le risque d'inondation en cas d'arrêt des curages au niveau de la centrale de Salignac et d'optimiser ces curages (volume, cote, emplacement). Cette note présente également le fond cible et le projet de curage retenu pour 2022.
Unité propriétaire	CIH
Sous-Unité	GEH DURANCE
Site	SALIGH \ SALIGNAC
Entité rédactrice	30575706 - SERVICE HYDRAULIQUE
Auteur(s)	Aurélié ANDRE, Camille JOURDAIN
EOTP	E115/DUEX07/EHDUTS-SALIG
Accessibilité (Classification et règles de protection des informations d'EDF SA, DSIE-2017-000046.)	Interne EDF Confidentiel (Lister nominativement en page 2 Diffusion : les personnes destinataires) Restreint (Indiquer explicitement en page 2 Diffusion : les destinataires (nom ou fonction) ou de manière implicite le périmètre restreint retenu : Projet, groupe de personnes, ...) Interne (Indiquer le périmètre d'accès retenu : EDF SA, Direction, Division, Entité, Projet, Liste de diffusion) Libre (Accessible à tout public interne ou externe EDF SA)

SIGNATURES						
Date	Rédacteur(s)		Vérificateur(s)		Approbateur(s)	
	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
08/2021	Aurélie ANDRE		Eric VALETTE			
11/2021	Camille JOURDAIN		Aurélie ANDRE		Alexandre JAFFRE	

LIEU DE CONSERVATION	
Original papier	Original numérique
-	GED

DIFFUSION INTERNE AU CIH			
Destinataire	Département / Service	Nb ex.	Format
Eric VALETTE, Anne CLUTIER	DT/HY	1	@
Emmanuel HOUGRON	AMOA/MS	1	@
Romain TRADOTTI, Christophe COCHET	GC-MS	1	@
Rémi LOIRE	DT/ES	1	@

DIFFUSION EXTERNE AU CIH			
Destinataire	Organisme	Nb ex.	Format
Julie MOSSERI, Olivier SAVOYE, Géraldine DUVOCHEL	UP Med	1	@
Thibaut VERCEUIL	GEH Durance Verdon	1	@
Kevin Castelain, Jean-Claude Bonaiti	GU Oraison, GU Sisteron	1	@
Sébastien LANGLAIS	DTG	1	@

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS		
Ind.	Date	Nature des évolutions
	08/2021	
	11/2021	Mise à jour avec la bathymétrie de l'été 2021

Sommaire

1. CONTEXTE	5
2. SECTEUR D'ETUDE	6
3. METHODOLOGIE RETENUE	8
4. DONNEES UTILISEES	8
4.1 DONNEES DE CALAGE	8
4.2 GEOMETRIE DU LIT	9
4.3 APPORTS LIQUIDES	10
4.3.1 Période 2012-2014	10
4.3.2 Crue de 2016	10
4.3.3 Crue centennale	13
4.4 APPORTS SOLIDES ET CURAGES	14
4.5 NIVEAU D'EAU AU BARRAGE	14
5. CALAGE DES MODELES	15
5.1 CALAGE SEDIMENTAIRE : PERIODE 2012-2014	15
5.2 CALAGE SEDIMENTAIRE : CRUE DE NOVEMBRE 2016	17
5.3 CALAGE HYDRAULIQUE : CRUE CENTENNALE	19
5.4 SYNTHESE DU CALAGE	21
6. ARRET DES CURAGES	21
6.1 MODELISATION LONG TERME	21
6.2 MODELISATION DE LA CRUE CENTENNALE	24
6.2.1 Inondabilité de la centrale de Salignac	24
6.2.2 Modélisation en état actuel (bathy 2017)	27
6.2.3 Modélisation après 7 ans d'apport sédimentaire	29
6.3 CONCLUSIONS ET LIMITES DES MODELISATIONS REALISEES	31
7. OPTIMISATION DES CURAGES	32
7.1 CURAGE DE MISE A NIVEAU EN DURANCE : DEFINITION DU FOND CIBLE	32
7.2 PIEGES A MATERIAUX	34
7.2.1 Piège sur la Durance	35
7.2.2 Modélisation de la Durance avec le piège Durance uniquement	35
7.2.3 Piège sur le Vançon	38

7.3	MODELISATION DE LA DURANCE AVEC LES 2 PIEGES	45
7.3.1	Bathy après 6 ans d'apport.....	45
7.3.2	Crue centennale	48
7.4	PROJET DE CURAGE 2022	50
7.4.1	Contexte du projet	50
7.4.2	Levé bathymétrique été 2021	50
7.4.3	Curage initial en Durance	51
7.4.4	Analyses réalisées	54
7.4.5	Evolution des fonds	55
7.4.6	Ligne d'eau en Durance au droit de la centrale	56
7.4.7	Charge en crue centennale	57
8.	SYNTHESE.....	59
8.1	FONCTIONNEMENT DU SECTEUR D'ETUDE	59
8.2	ETUDE DE L'OPTIMISATION DES MODALITES DE CURAGES ET DE LA MISE EN PLACE DE PIEGES A GRAVIER SUR LA DURANCE ET SUR LE VANÇON	59
8.3	PROJET DE CURAGE POUR 2022	59

1. CONTEXTE

Cette étude est réalisée dans le cadre de la mise à jour de l'état cible de la retenue de l'Escale.

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).

Les objectifs de la présente étude sont :

- Evaluer en l'absence de curage en queue de retenue de l'Escale, le risque de dépôt de matériaux en queue de retenue et d'entraînement des matériaux graveleux vers le pont de Volonne (et les échéances associées), ainsi que la géométrie atteinte à 7, 14 ans et à 21 ans¹ après 2017 (date de la bathymétrie de référence) et les lignes d'eau associées en crue centennale.
- Définir la géométrie cible (volume, cote, emplacement) et la fréquence associée pour optimiser la ligne d'eau et la vitesse de remplissage avec des apports solides courants et en cas de crue et minimiser les coûts de curages.

Pour cela, des modélisations hydrosédimentaires sédiments grossiers ont été réalisées avec le logiciel Cavalcade (développé par ARTELIA).

La note présente le profil de fonds cibles et le projet de curage retenu pour 2022. Cette étude a été réalisée sur la base de la bathymétrie de 2017, puis mise à jour à partir d'un levé bathymétrique actualisé à l'été 2021.

¹ Ces durées ont été choisies par rapport aux données disponibles, cf. § 6.1.

2. SECTEUR D'ETUDE

La centrale hydroélectrique de Salignac restitue les eaux turbinées (prélevées au barrage de Saint Lazare) à l'extrémité amont de la retenue de L'Escale. La retenue de L'Escale reçoit aussi les eaux du Vançon et du TCC de Saint Lazare (et donc du Jabron). Elle alimente une suite d'usine hydroélectrique : Oraison, La Brillanne, Manosque, Le Largue, Ste Tulle 1 et 2, et Beaumont, dont les eaux sont restituées dans la retenue de Cadarache

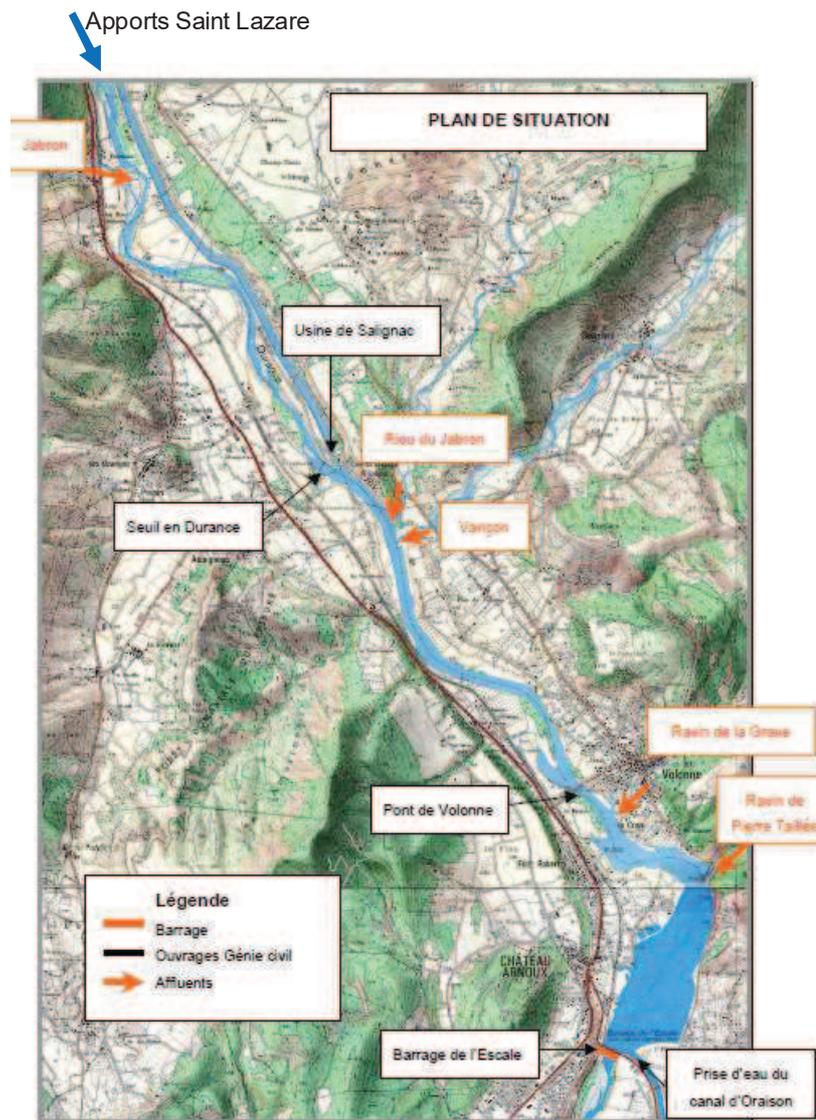


Figure 1. La retenue de l'Escale

Le modèle réalisé s'étend du seuil de Salignac (en Durance au droit de l'usine de Salignac) au barrage de l'Escale. Les évolutions morphologiques de la retenue entre :

- la queue de retenue et 1 km en amont du pont de Volonne (PK 4500) sont quasi-exclusivement en lien avec les phénomènes de dépôt-reprise des sédiments grossiers et donc bien représentés par le modèle sédiments grossiers mis en œuvre dans cette étude ;

- le pont de Volonne et le barrage sont quasi-exclusivement en lien avec les phénomènes de dépôt-reprise des sédiments fins et donc mal représentés dans ce même modèle.

Le modèle réalisé a pour objectif de caractériser le fonctionnement hydrosédimentaire de la queue de retenue en lien avec le transit des sédiments grossiers. **Il n'a donc été calé qu'entre le seuil de Salignac et le pont de Volonne**, cf. *Figure 2* ; la partie aval n'étant modélisée que pour prendre en compte les évolutions du niveau d'eau au barrage (loi aval). Il faut noter que la modélisation est de meilleure qualité au niveau de la queue de retenue que vers le pont de Volonne où les résultats commencent à être largement incertains (transport solide mixte fin et grossier).

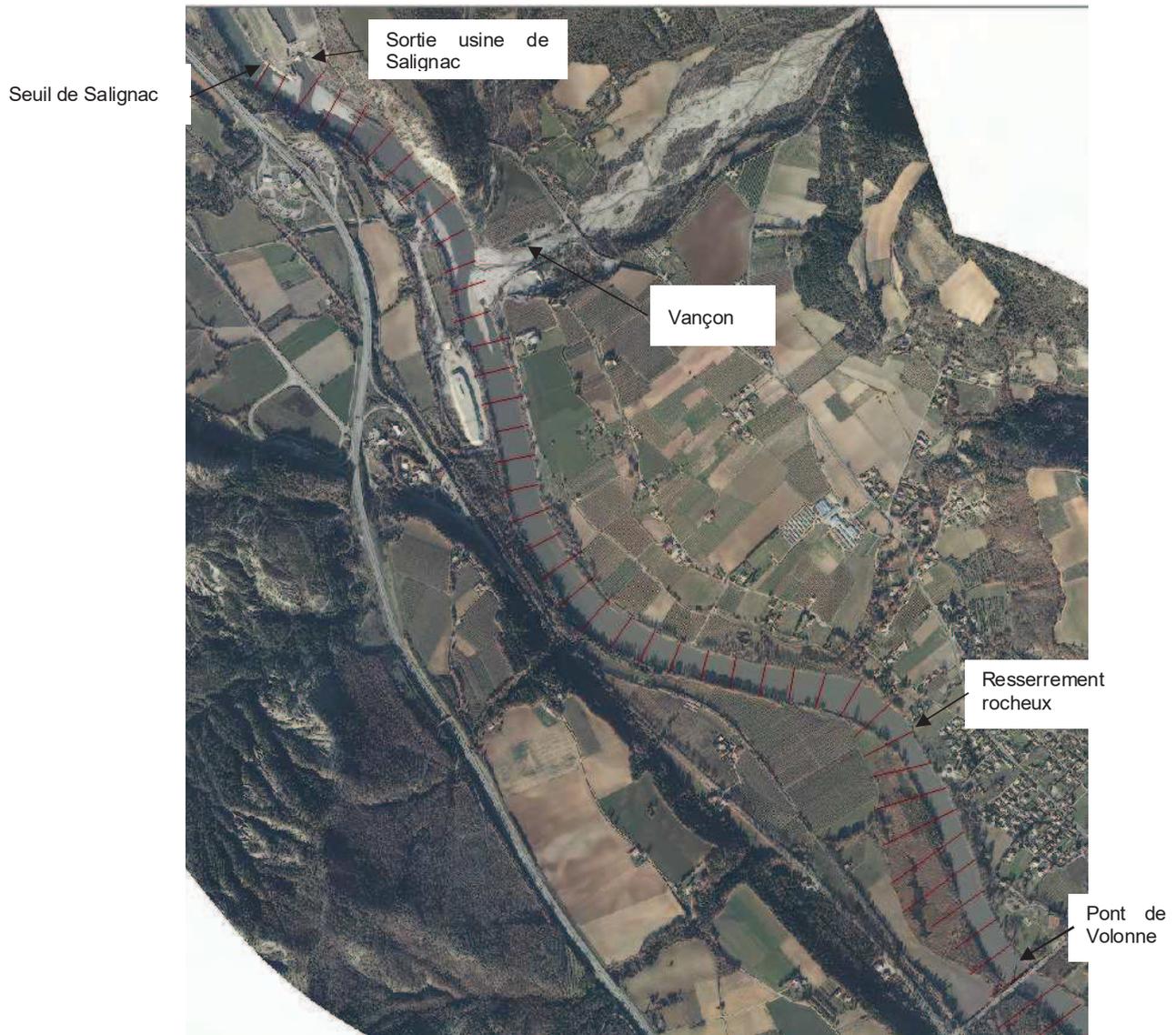


Figure 2. Secteur d'étude du modèle fond mobile

Par ailleurs une modélisation est en cours avec le logiciel Courlis pour prendre en compte l'évolution du lit en lien avec le transit de sédiments fins dans la partie aval de la retenue.

3. METHODOLOGIE RETENUE

L'objectif des modélisations réalisées est de caractériser les évolutions long-terme en queue de retenue du fait des phénomènes de dépôt-reprise des sédiments grossiers, puis de voir quels sont les impacts de ces évolutions long-terme sur la ligne d'eau en crue centennale au droit de l'usine de Salignac.

Pour cela, 2 modèles ont été calés puis utilisés :

- Un modèle long-terme qui doit représenter les évolutions en fonctionnement courant (turbines et apports courants) et en crue. Ce modèle a été calé avec un fond mobile sur la période 2012-2014 (apports courants long terme) et sur la crue de 2016 ;
- Un modèle en crue centennale qui représente les évolutions du fond mais surtout de la ligne d'eau pendant une crue centennale et notamment au pic de crue. Celui-ci a été calé avec un fond fixe sur un modèle existant 2D fond fixe ; puis le fond fixe a été « relâché » pour représenter une crue centennale et ses évolutions de fond.

L'ensemble des calages puis des utilisations des modèles sont détaillés ci-après.

4. DONNEES UTILISEES

4.1 DONNEES DE CALAGE

Le modèle hydro-sédimentaire a été calé sur 2 périodes :

- Modification morphologique du lit en régime courant entre 2012 et 2014. Cette période a été choisie car nous disposons de levés bathymétriques de qualité pour la queue de retenue en 2012 et 2014, ainsi que des données hydrologiques et de niveau. La modélisation intègre le curage réalisé en 2014.
- Modification morphologique du lit court terme lors de la crue de 2016. Celle-ci est récente et est particulièrement riche en données. Les levés bathymétriques disponibles ont été réalisés en 09/2016 et 09/2017. Le levé de 09/2016 correspond au levé réalisé après le curage de 2016 ; il a dû être complété sur la partie amont.

Le modèle a été pourvu d'un lit moyen pour la modélisation de la crue centennale en particulier. En effet, pour le débit de crue centennale, la Durance est débordante du lit vif et la prise en compte du lit vif uniquement impacterait les résultats en termes de ligne d'eau ; cf. *Figure 3*. De plus, l'objectif du modèle en crue centennale est de voir les niveaux atteints au niveau de l'usine de Salignac.

A contrario, pour des questions de rapidité de modélisation, le lit moyen n'a pas été ajouté aux modèles long terme et crue 2016. L'approximation est raisonnable car sur ces modèles, le résultat analysé est l'évolution morphologique du lit et non pas la ligne d'eau comme pour le modèle de la crue centennale. Par ailleurs, les évolutions de fond de lit sont principalement en lien avec les débits morphogènes non débordants du lit vif. Enfin, les crues sont peu débordantes au regard de la crue centennale.

L'ensemble des données utilisées sont détaillés dans les paragraphes suivants.

4.2 GEOMETRIE DU LIT

La géométrie des modèles a été construite à partir de différentes bathymétries selon les modèles : 2012 ou 2017.

Les profils du modèle correspondent aux profils suivis de l'Escale, cf. *Figure 2*.

Le logiciel Cavalcade utilise des sections rectangulaires pour le lit mineur et éventuellement une section rectangulaire pour le lit moyen ou majeur ; les informations à fournir sont donc une cote de fond moyenne et une largeur associée pour chacun des lits.

Les données ont été déterminées grâce au fichier interne EDF visuprofil.xls en moyennant la cote du fond du lit sur la largeur du fond pour chaque profil. La largeur du fond est variable pour chaque profil mais est conservée, pour un profil donné pour toutes les bathymétries, seules les cotes moyennes de fond de chaque profil varient suivant les bathymétries.

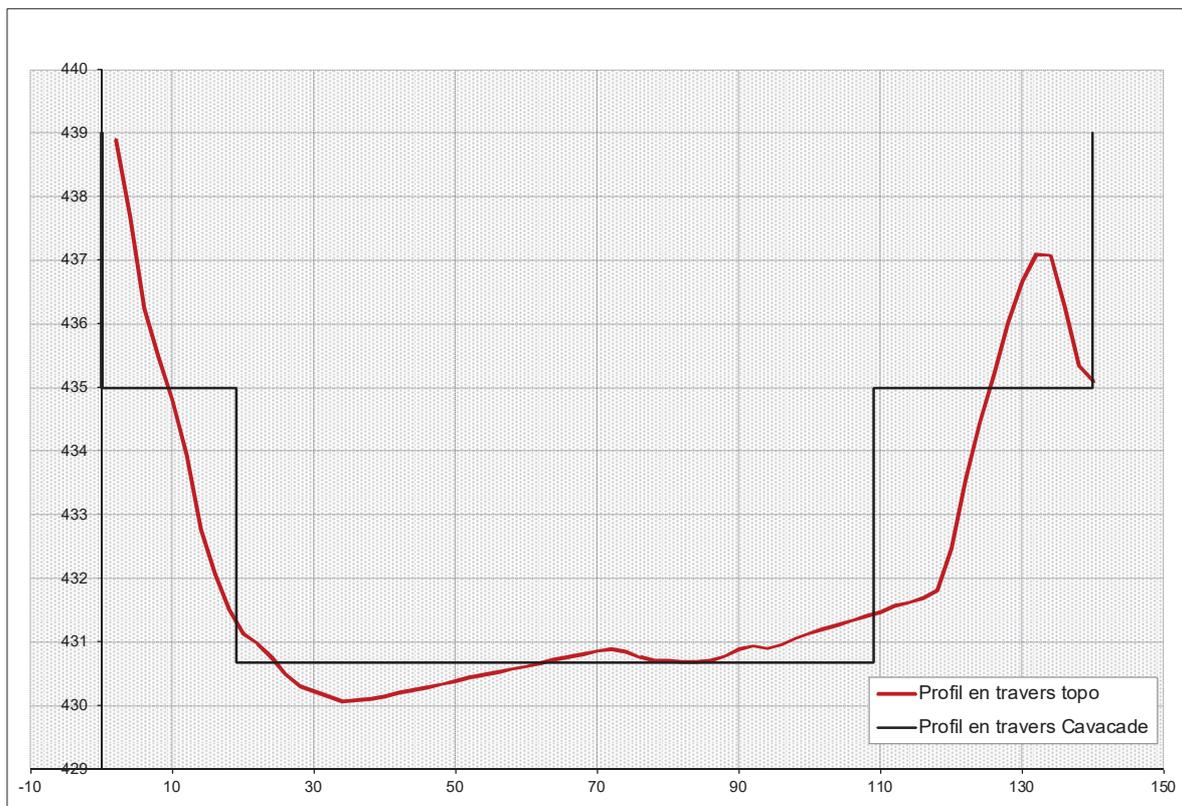


Figure 3. Profil en travers type et profils associés dans Cavalcade

4.3 APPORTS LIQUIDES

4.3.1 Période 2012-2014

La période retenue se tient entre le 05/04/2012 et le 02/12/2014 (date des levés bathymétriques disponibles). La période 2012-2014 a été retenue par rapport à la période 2012-2016 car le levé bathymétrique de 2016 est de mauvaise qualité au niveau de la queue de retenue (nombreuses zones non levées).

Les apports en débit liquide retenus sont les suivants :

- Débits horaires turbinés à l'usine de Salignac
- Débits horaires du Vançon reconstitués à partir des débits mesurés sur le Jabron à la station de PiedGuichard, en prenant en compte le rapport de bassin versant $(205/89)^{0.8}$.
- Débits horaires à Salignac calculés comme étant la somme du débit réservé², du débit du Jabron à la confluence³ et des déversés à Saint Lazare décalés d'une heure.

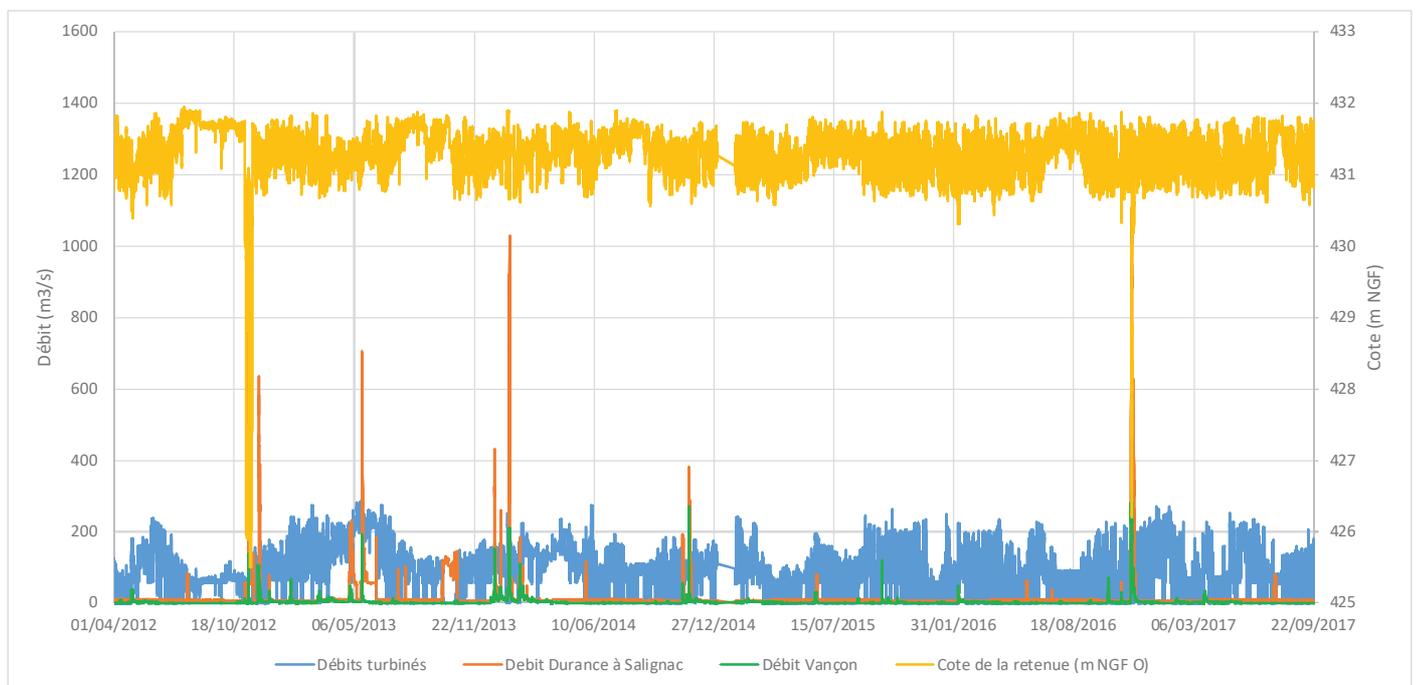


Figure 4. Débits et cote pendant la période d'étude

4.3.2 Crue de 2016

Les données sources disponibles sont les suivantes :

- Les débits déversés à Saint Lazare et à l'Escaie ;
- Les débits mesurés à la station de PiedGuichard sur le Jabron ;
- Les débits mesurés à la station de Salignac (en prenant en compte la courbe de tarage 2018 valable lors de la crue de novembre 2016) ;
- Les débits turbinés à Salignac et à Oraison ;

² Le débit réservé à St Lazare est de 8.3 m³/s entre avril et septembre et de 5.8 m³/s le reste de l'année.

³ Le débit du Jabron à la confluence est issu du débit mesuré à la station de PiedGuichard en prenant en compte le rapport des surfaces de bassin versant $(200/89)^{0.8}$.

- La variation de la cote du plan d'eau pendant la crue (niveau barrage mesuré puis expertisé par le GEH).

Les données utilisées dans le modèle sont :

- Les débits entrants à Saint Lazare ont été recalculés dans le cadre de l'étude de modélisation hydrosédimentaire du piège à graviers du Buech (EDF, 2019). Le calcul est réalisé en sommant :
 - o les débits du Buëch (estimés par rapport aux stations de Serres et de la Méouge),
 - o les débits du Sasse et du BV intermédiaire La Saulce-Saint Lazare estimés grâce à un modèle hydrologique calé sur des mesures de pluies par DTG,
 - o les débits déversés à la Saulce (expertise GEH)
- Les débits du Jabron ont été estimés en utilisant la station de PiedGuichard (avec un coefficient de 2 représentant la différence de bassin versant entre la station et la confluence).
- Le débit à Salignac est ensuite obtenu en sommant le débit calculé pour le Jabron et les déversés Saint Lazare (en intégrant un décalage d'une heure, estimation basée sur l'observation des hydrogrammes).
- En prenant en compte la différence entre les entrants à Salignac versus le débit provoqué par la variation du plan d'eau (de manière simplifiée), le débit sortant du canal d'Oraison (lorsque l'usine d'Oraison est arrêtée mais l'organe de bouchure ouvert), les turbinés Oraison et Salignac et les débits deversés à l'Escale, on peut en déduire un débit entrant via le Vançon (les autres affluents étant considérés comme négligeables au regard des incertitudes).

Tous ces débits ont une incertitude assumée d'environ 20% en crue.

La *Figure 5* présente les différents hydrogrammes obtenus.

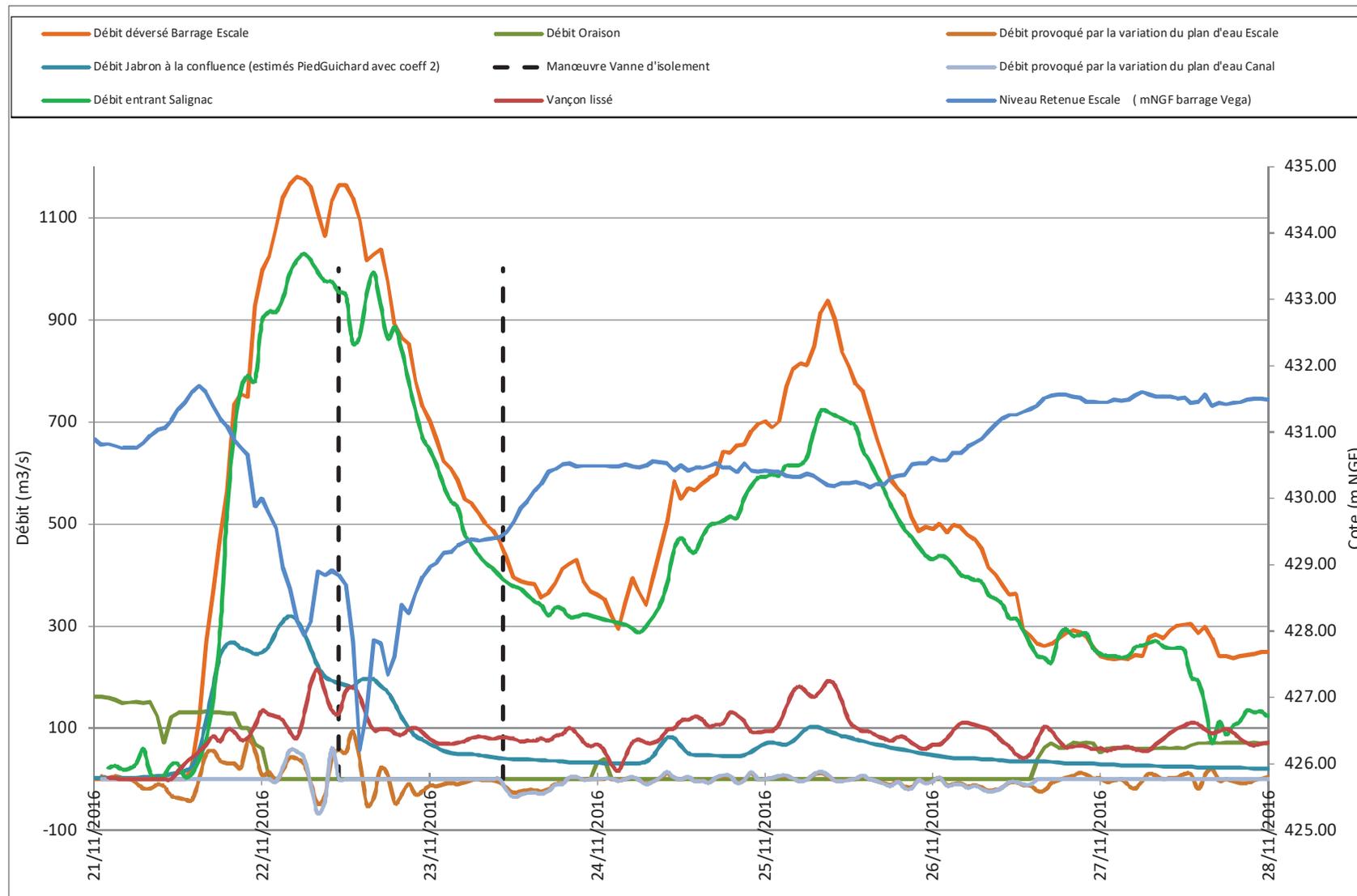


Figure 5. Hydrogrammes de la crue de novembre 2016

4.3.3 Crue centennale

L'hydrologie de référence actuelle est celle de l'étude GRADEX de 2004 : il est retenu un débit de pointe de 2720 m³/s correspondant à une crue centennale du bassin versant intermédiaire entre Serre-Ponçon et l'Escale.

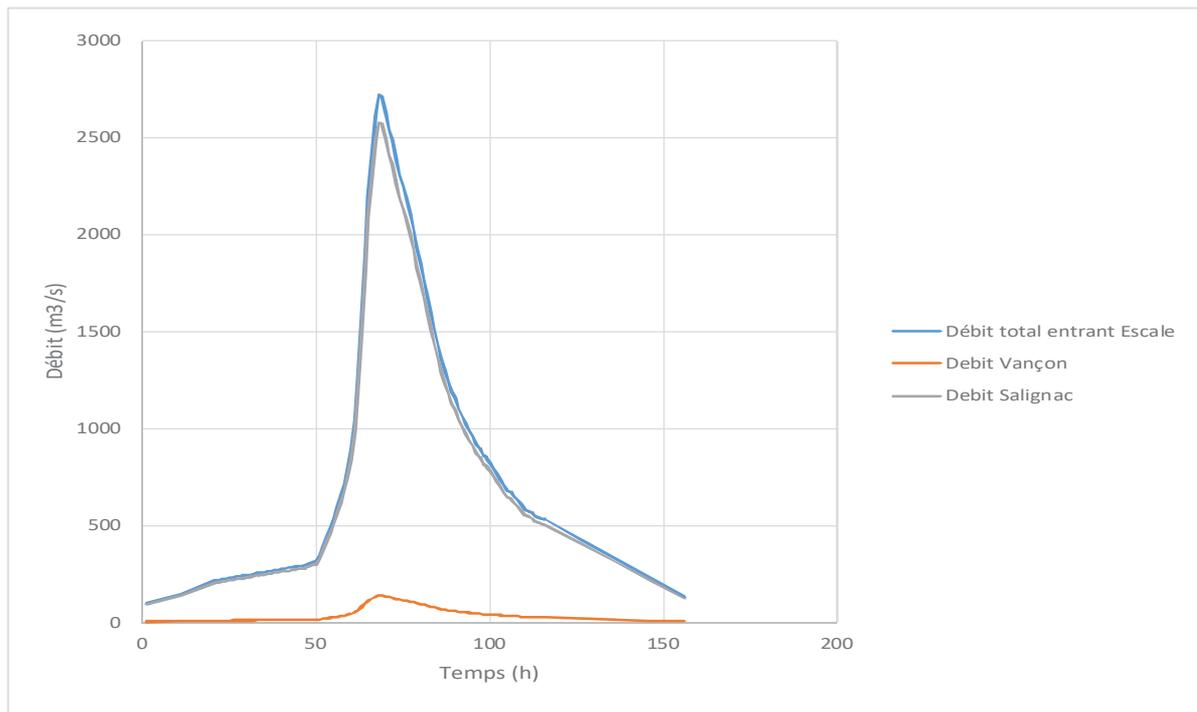


Figure 6. Hydrogrammes en crue centennale

L'hydrogramme a ensuite été réparti en proportion de bassin versant entre le Vançon et la Durance à Salignac.

Le débit de pointe pris en compte pour le Vançon est ainsi de 140 m³/s. Dans l'étude de diagnostic sédimentaire de la moyenne Durance réalisée par SOGREAH (2005) pour le compte du SMAVD, les débits de crue décennaux et centennaux avaient été estimés respectivement à 170 et 340 m³/s. C'est bien une crue centennale de la Durance qui est représentée dans le modèle et pas une crue centennale du Vançon.

4.4 APPORTS SOLIDES ET CURAGES

Les apports solides sont calculés directement par le logiciel à partir des débits liquides en prenant les paramètres suivants :

- Durance : pente =0.25% ; dm = 0.035 m ; largeur = 70m
- Vançon : pente =1.5% ; dm= 0.07 m ; largeur = 130m ;

Pour les sédiments du modèle, il a été considéré un diamètre décroissant de l'amont vers l'aval dans la Durance, de 3.5 cm à 1 cm de l'usine de Salignac au pk 5100 pour prendre en compte le mélange entre sédiments grossiers et fins qui se fait dans le fond du lit. Ce choix est d'autant plus important ici que les curages se font en queue de retenue c'est donc bien les sédiments les plus grossiers (notamment ceux du Vançon) qui sont enlevés et les volumes curés sont de l'ordre des volumes d'apport. En aval du pk 5100, il est modélisé des dépôts excessifs et il aurait sans doute été préférable de diminuer encore le diamètre, toutefois, nous n'avons pas cherché une bonne représentativité du modèle dans ce secteur car hors de la zone d'étude et avec une morphologie qui ne peut être bien représentée avec un logiciel de modélisation hydrosédimentaire sédiments grossiers. Il serait préférable d'utiliser un logiciel de modélisation hydro-sédimentaire permettant de représenter le tri granulométrique qui s'opère dans la retenue mais il n'existe pas à l'heure actuelle de logiciel disponible sur le marché représentant ce tri de manière satisfaisante.

Pour prendre en compte le fait qu'en crue centennale de la Durance, il n'est pas certain que la capacité de transport soit saturée, des estimations avec des apports solides réduits ont été simulés en modulant la pente d'apport (cf. § 5.3).

4.5 NIVEAU D'EAU AU BARRAGE

Le niveau aval est imposé par le niveau mesuré au barrage de l'Escale. Pour la crue de 2016, c'est le niveau expertisé par le GEH qui a été utilisé, cf. *Figure 5*

5. CALAGE DES MODELES

5.1 CALAGE SEDIMENTAIRE : PERIODE 2012-2014

Ce calcul sert à caler les évolutions long terme du fond du lit. La période s'étend du 05/04/2012 au 02/12/2014, soit 23 328 heures. Les données et paramètres utilisés sont indiqués au §4.

Les apports solides modélisés sont d'environ 70 000 m³ apportés par la Durance et 70 000 m³ apportés par le Vançon. Les apports solides moyens annuels ont été estimés à environ 25 000 m³/an depuis la Durance et 20 000 m³/an depuis le Vançon. Les apports modélisés correspondent bien à 2 à 3 ans d'apports moyens.

Les paramètres de calage sont les suivants : largeur du lit vif, coefficient de Strickler, granulométrie, tout en restant pour ces paramètres dans les limites des observations réalisées in-situ.

Le curage de 2014 a été modélisé. Le volume déclaré de 48 000 m³ paraît excessif au vu du calage. Il est probable que le volume enlevé du lit vif soit plutôt de 30 à 40 000 m³ (volume modélisé : 31 000 m³). La différence peut s'expliquer par des mouvements de terre nécessaires au chantier mais non retirés du lit ou par des extractions dans les bancs qui ne sont pas modélisés car hors du lit vif.

Le calage de la modélisation est jugé satisfaisant avec une erreur moyenne de 20 cm par rapport au profil de 2014.

On note les profonds abaissements du lit au droit d'un resserrement rocheux et du pont de Volonne visibles sur les profils en long des bathymétries de 2012 et 2014 et bien modélisés par Cavalcade, cf. *Figure 2* et *Figure 7*. Il n'y a quasiment plus de sédiment qui transite en aval du PK 3000. Il est probable que les dépôts excessifs modélisés en aval du PK 5000 augmentent cet effet.

Les résultats obtenus sont les suivants :

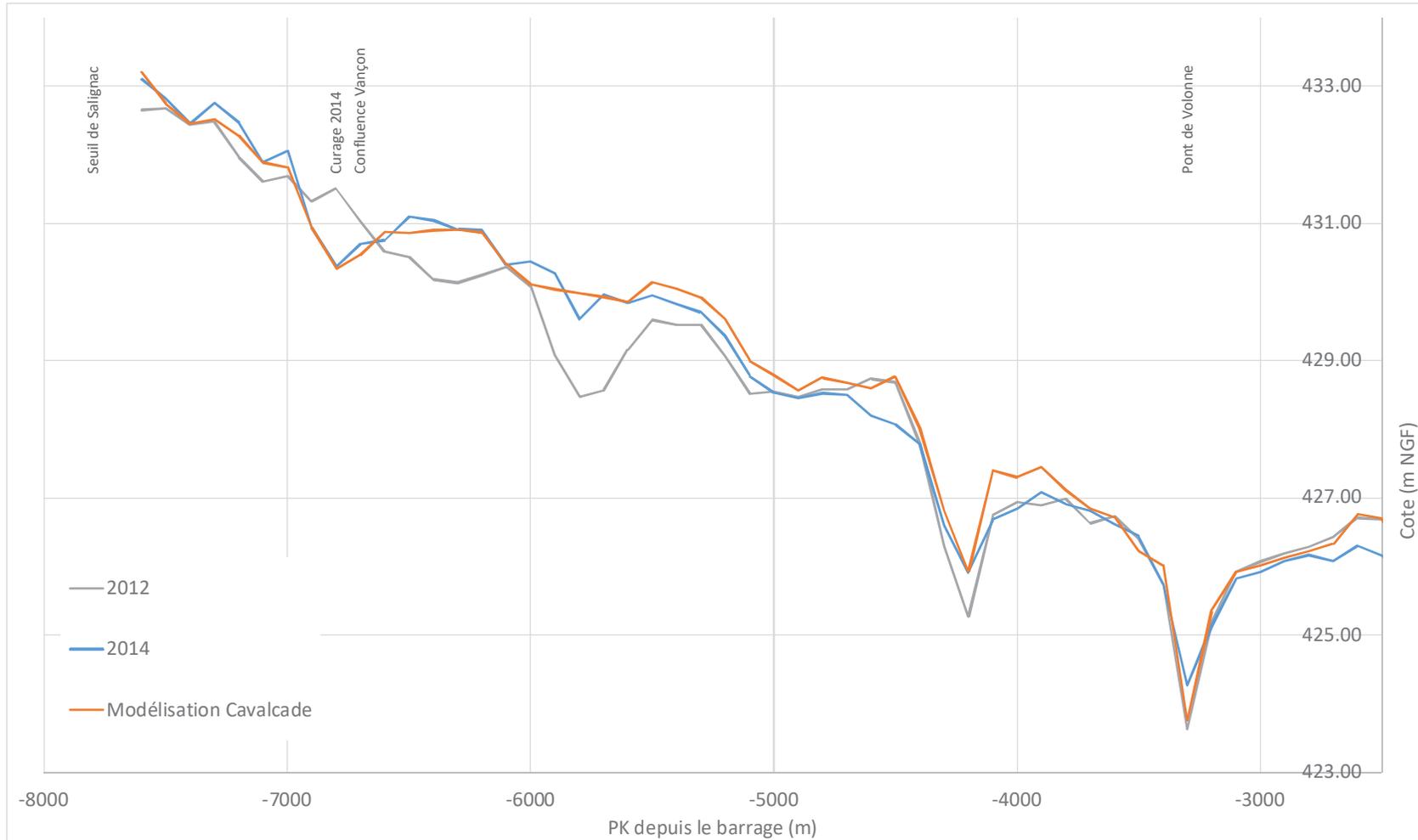


Figure 7. Profils en long pour le calage 2012-2014

5.2 CALAGE SEDIMENTAIRE : CRUE DE NOVEMBRE 2016

Ce calcul sert à caler les évolutions du fond du lit lors d'un épisode de crue. Les bathymétries existantes ne permettaient pas d'encadrer la crue de façon rapprochée. La période de calage s'étend du 14/09/2016 au 24/09/2017, soit 9 023 h. Les données et paramètres utilisés sont indiqués au §4. Pour la période hors crue, les données ont été reconstituées selon la même méthode que pour la période 2012-2014.

Les apports solides modélisés sont d'environ 45 000 m³ apportés par la Durance et 48 000 m³ par le Vançon. Les apports solides moyens annuels ont été estimés à environ 25 000 m³/an depuis la Durance et 20 000 m³/an depuis le Vançon. Les apports modélisés correspondent à 2 ans d'apports moyens.

Les paramètres de calage sont les suivants : largeur du lit vif, coefficient de Strickler, granulométrie, tout en restant pour ces paramètres dans les limites des observations réalisées in-situ.

Le calage est là encore satisfaisant, avec une erreur moyenne de 20 cm entre le profil en long obtenu et celui de 2017.

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 profil en long à t=1841h, correspond à la fin immédiate de la crue (29/11/2016) ; on voit que les évolutions hors crue (il n'y a qu'un événement avec déversés entre le 29/11/2016 et le 24/09/2017 à 50 m³/s) sont importantes notamment en sortie de l'usine de Salignac, en lien avec les turbinés. Les dépôts sédimentaires visibles à la fin de la crue au niveau de l'usine de Salignac et en aval du Vançon, sont ensuite lentement poussés par les turbinés.

Les résultats obtenus sont les suivants :

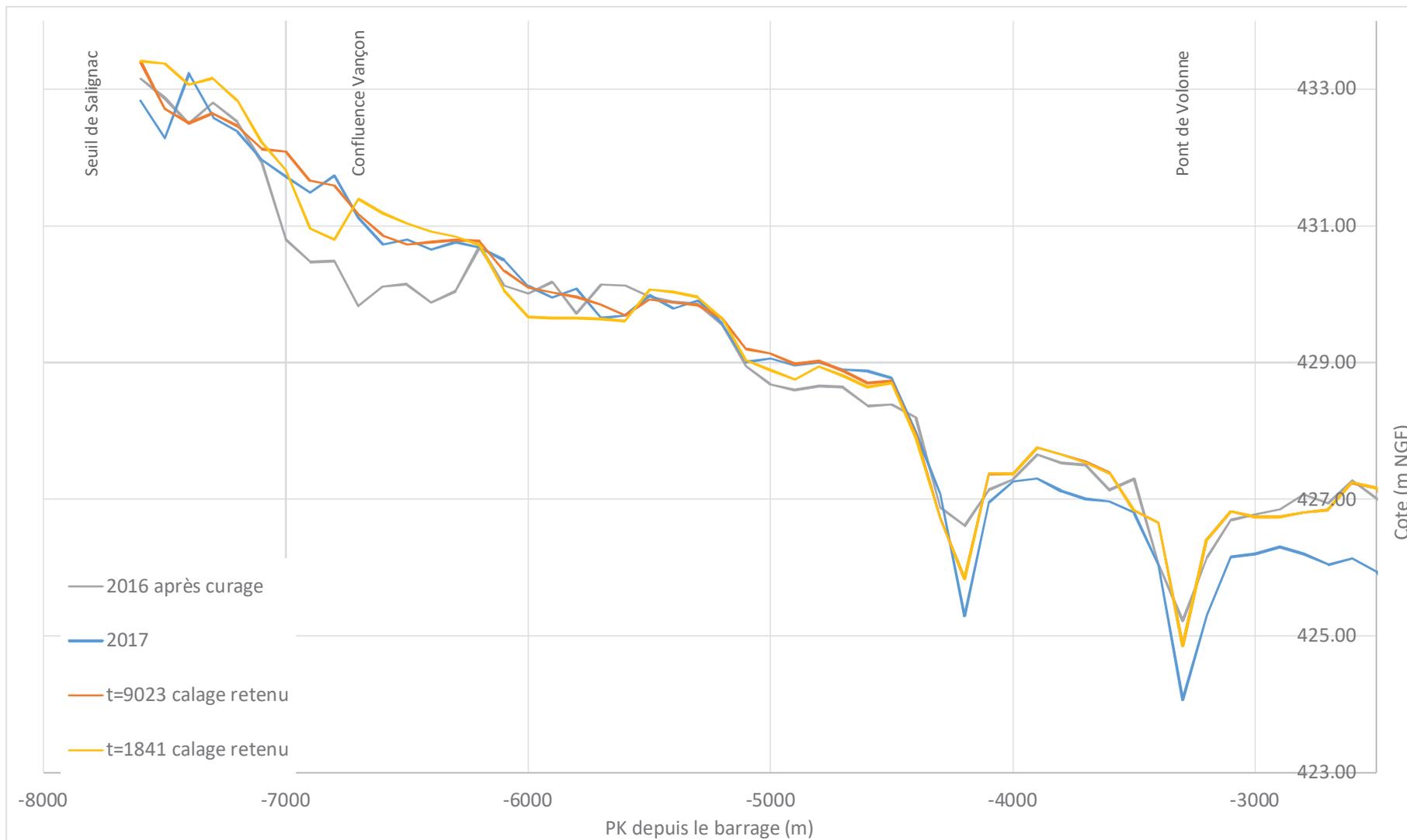


Figure 8. Profils en long pour le calage sur la crue de novembre 2016

5.3 CALAGE HYDRAULIQUE : CRUE CENTENNALE

Le logiciel de modélisation hydraulique Cavalcade est un logiciel hydro-sédimentaire développé pour les rivières torrentielles du type de la Durance. Il prend en compte une géométrie du lit simplifiée et est donc adapté quand les évolutions morphologiques du lit en crue sont supérieures aux incertitudes créées par cette simplification et sont donc déterminantes sur les lignes d'eau atteintes.

L'objectif de la modélisation en crue centennale est de caractériser l'inondabilité de l'usine de Salignac avec un fond du lit type 2017 et après plusieurs années de dépôt en queue de retenue.

Les résultats obtenus sont les suivants :

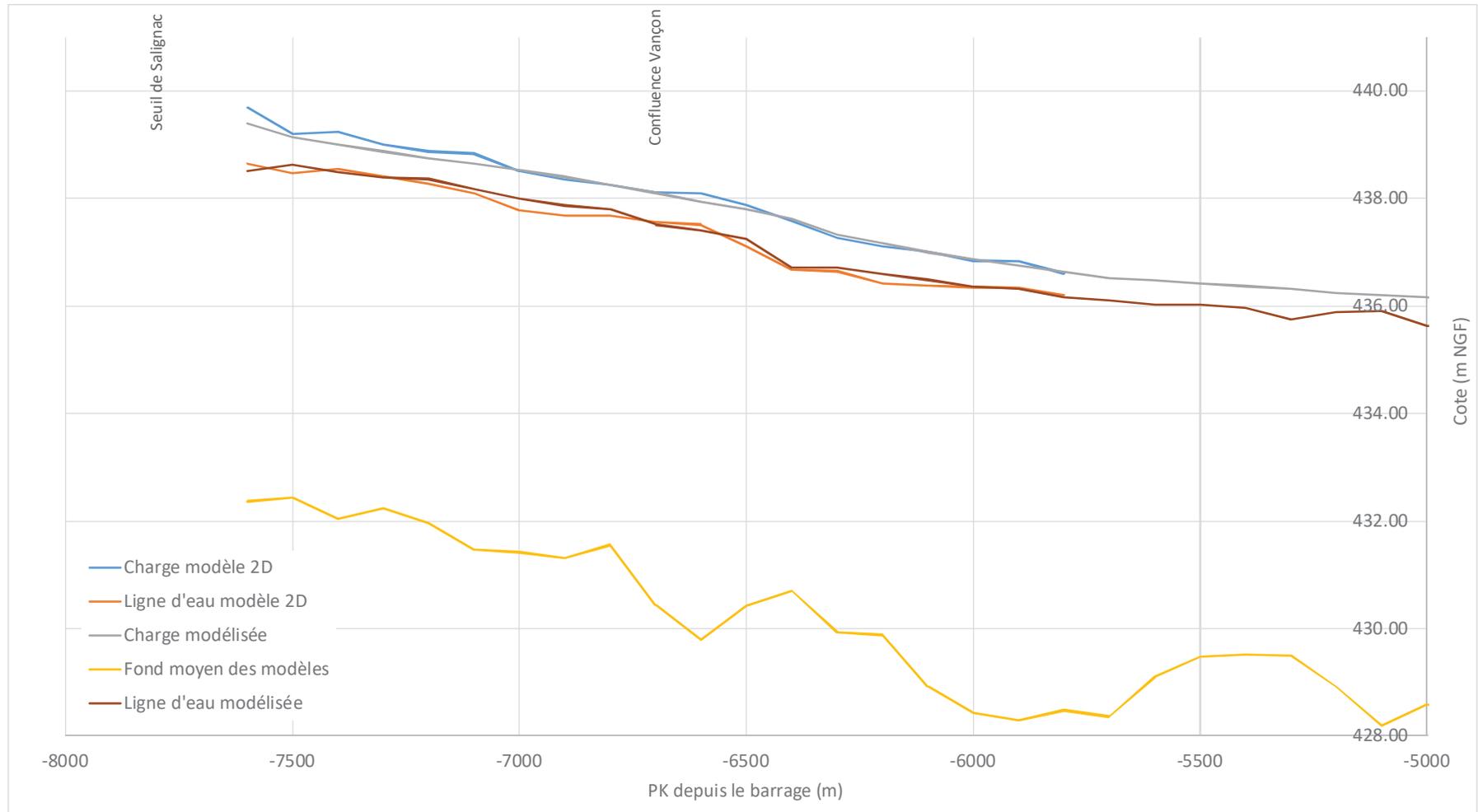


Figure 9. Lignes d'eau et charges en crue centennale

L'écart entre la ligne d'eau calculée dans le modèle 2D et dans le modèle Cavalcade est en moyenne de 9 cm. Ce calage est donc satisfaisant.

5.4 SYNTHÈSE DU CALAGE

Le modèle retenu à l'issue du calage permet de représenter de façon satisfaisante l'évolution morphologique en crue et en fonctionnement courant. Ce modèle ainsi calé sera réutilisé pour répondre aux questions posées :

- Evaluer en l'absence de curage, le risque d'entraînement des matériaux graveleux vers le pont de Volonne (et les échéances associées), ainsi que la géométrie atteinte à 7, 14 ans et à 21 ans (et les lignes d'eau associées en crue).
- Définir la géométrie cible (volume, cote, emplacement) pour minimiser les besoins de curage (volume et fréquence) et optimiser la ligne d'eau et la vitesse de remplissage avec des apports solides courants et en cas de crue type novembre 2016.

6. ARRÊT DES CURAGES

6.1 MODELISATION LONG TERME

Le modèle calé a été repris pour modéliser l'arrêt des curages :

- basé sur la bathymétrie levée en 2017,
- l'hydrologie et le niveau au barrage correspondent à la période du 01/01/2011 au 30/11/2017,
- les turbines de la période 01/01/2011 au 30/11/2017,
- sans aucun curage.

Par conséquent, c'est une gestion du barrage de l'Escale sans transparence systématique en crue qui est simulée. Seuls les abaissements partiels de 2012 et 2016 sont représentés. Il est donc probable que l'avancée des graviers dans la retenue soit minimisée par rapport à ce qui va réellement être réalisé dans les années à venir du fait de l'application de la nouvelle consigne de crue. En effet, les abaissements en crue au barrage auront un effet direct (ligne d'eau plus basse pendant la crue) et indirect (érosion du chenal au fur et à mesure des différents abaissements). Cette érosion du chenal est plutôt en lien avec les mouvements de sédiments fins. Toutefois, il est probable que cela ne change pas ou peu, les résultats en queue de retenue, au niveau de Salignac.

La période a ensuite été rejouée 2 fois en partant des résultats obtenus, soit 21 ans au total.

Les apports solides modélisés correspondent pour une période d'un peu moins de 7 ans, à 145 000 m³ et 135 000 m³ respectivement pour la Durance et le Vançon, ce qui correspond à peu près aux apports moyens annuels de 25 000 et 20 000 m³/an.

Les résultats obtenus sont les suivants :

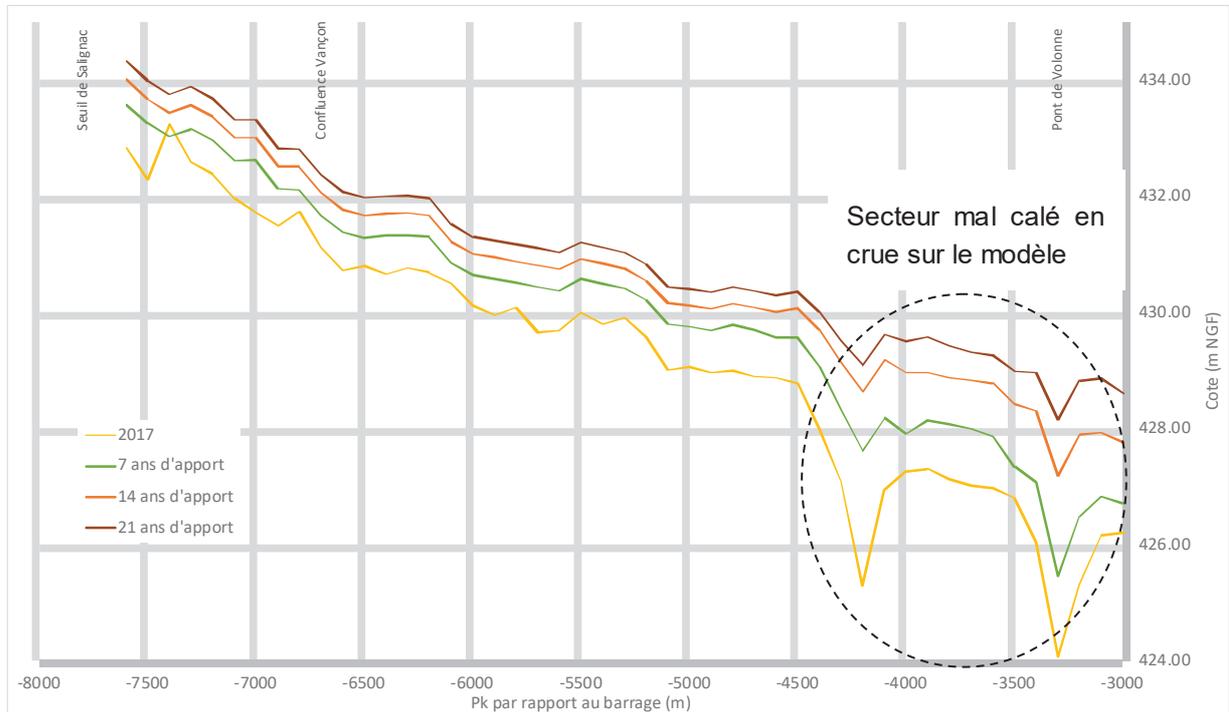


Figure 10. Profils en long de fond du lit en 2017 et après 7, 14 et 21 ans d'apports sédimentaires

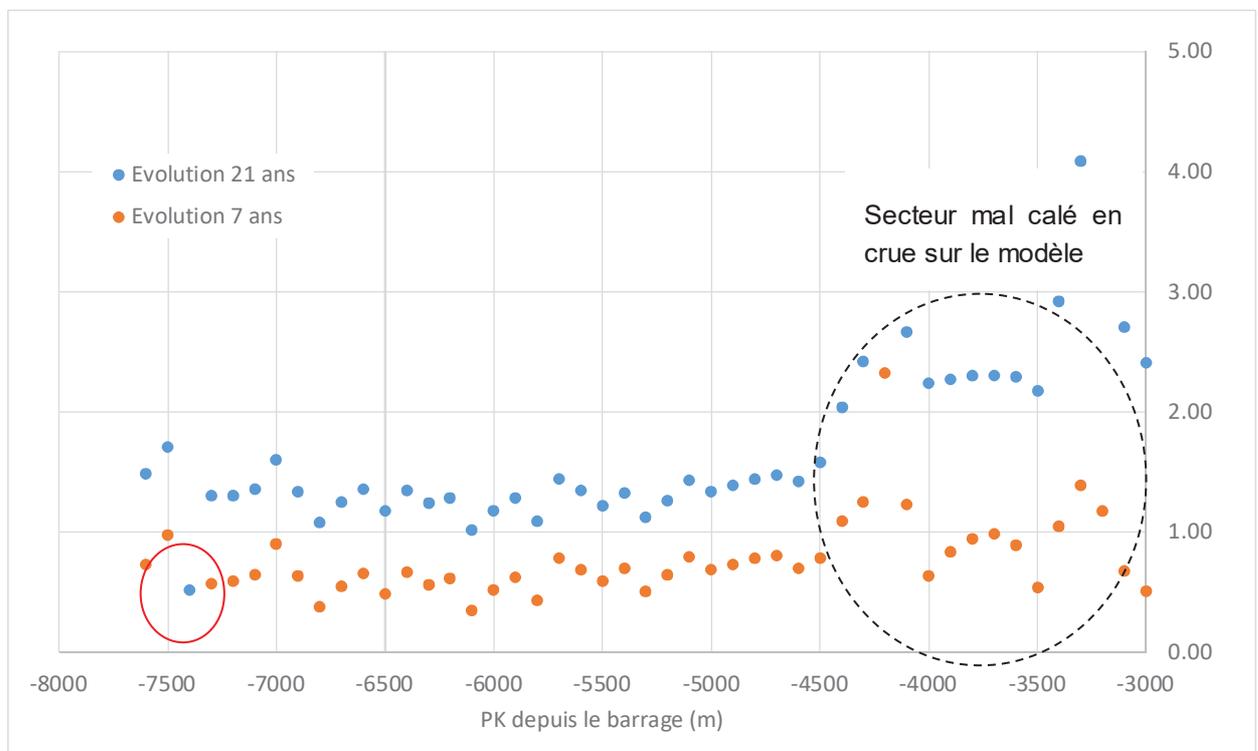


Figure 11. Exhaussements après 7 et 21 ans d'apports sédimentaires

Les exhaussements constatés restent relativement contenus sur la partie amont, entre 0.5 à 1 m en 7 ans auquel s'ajoute un exhaussement du même ordre de grandeur 14 ans après. L'impact

de ces exhaussements sur l'inondabilité de la centrale de Salignac sera étudié au paragraphe suivant.

Par contre, en aval du premier resserrement rocheux (pk - 4200), l'exhaussement augmente nettement pour atteindre 3 à 4 m en 20 ans. Cette modélisation montre que les quelques abaissements permettent de faire transiter une partie des graviers jusqu'au pont de Volonne et semble montrer des dépôts importants dans cette zone, toutefois en crue, le modèle est mal calé dans le secteur du pont de Volonne, cf. §5.2. Par ailleurs, comme expliqué ci-dessus, la modélisation réalisée ne prend en compte que des abaissements limités au barrage (2012 et 2016). La succession des abaissements tels que prévus dans la nouvelle consigne de crue devrait permettre d'éroder un chenal dans la partie aval de la retenue et ainsi faciliter le transit des graviers vers l'aval. **Il n'est donc pas possible avec cette modélisation de statuer sur les évolutions à attendre au droit et en amont immédiat du pont de Volonne.**

Il est important de noter que ces modélisations, comme on l'a vu dans la phase de calage, sont entachées d'une certaine incertitude et que les résultats sont des ordres de grandeur des exhaussements à attendre, notamment au niveau du pont de Volonne où le mélange sédiments fins-grossiers qui s'opère dans la retenue rend la modélisation particulièrement incertaine.

6.2 MODELISATION DE LA CRUE CENTENNALE

6.2.1 Inondabilité de la centrale de Salignac

Le critère d'inondabilité de la centrale de Salignac était jusqu'à présent fixé à 438 m NGF, cote des hublots de l'usine.

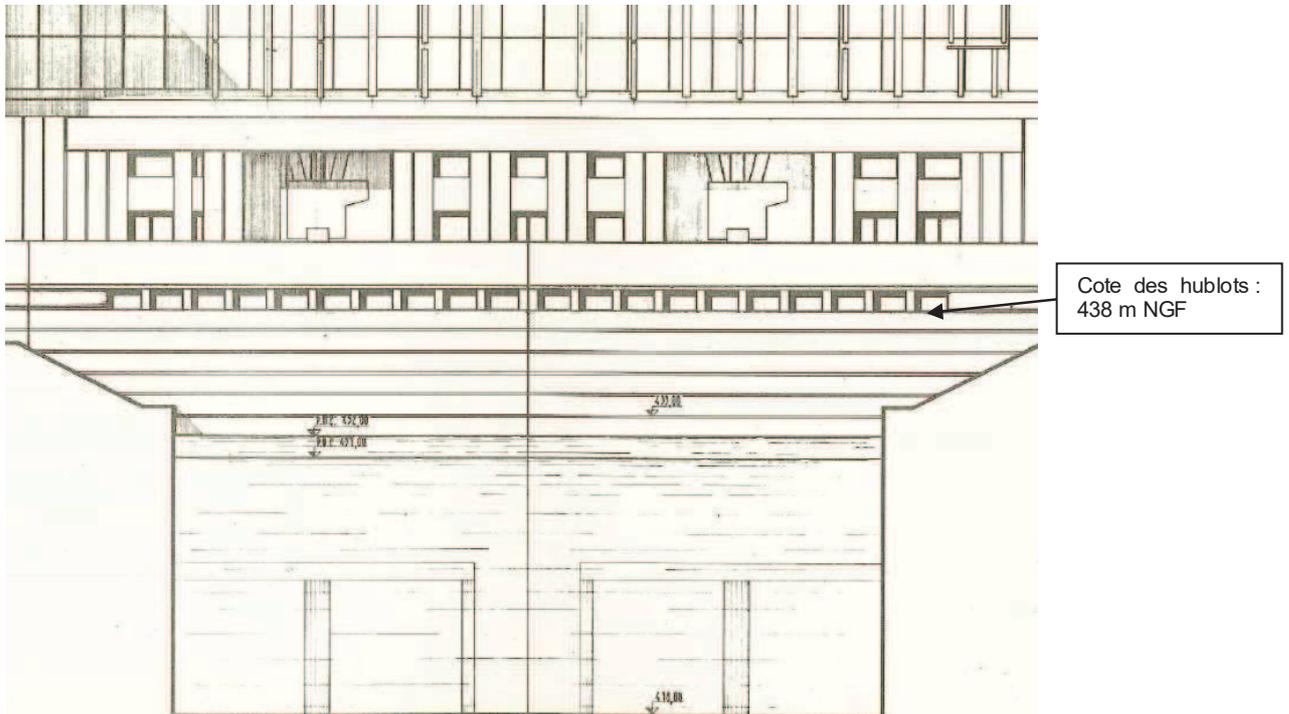


Figure 12. Vue de face de l'usine de Salignac

Toutefois depuis les hublots ont été renforcés par des carreaux de verre.



Figure 13. Hublots de la centrale de Salignac

Une étude de stabilité du mur à la poussée a été réalisée pour évaluer le risque lié au dépassement de la cote 438 m NGF (fixée comme la cote maximale admissible lors du dimensionnement de l'usine).

L'étude de stabilité confirme l'absence de risque de rupture du mur aux cotes 438 et 440.2 m NGF. Par contre, faute d'information, la résistance des hublots n'a pas été considérée (hypothèse d'un mur « continu » en béton).

Par ailleurs, l'atteinte de niveaux trop hauts au regard du dimensionnement de l'usine entraîne des contraintes sur l'exploitation lors des turbinés même hors crue, avec le noyage complet des exhautes et du passage aval (cf. photo ci-dessous).



Figure 14. Turbinés à 180 m³/s le 05/10/2018

Enfin, du fait de l'exhaussement des bancs de graviers dans le lit de la Durance en aval de l'usine et donc de leur exondement, le GU note la présence de plus en plus fréquente de personnes sur ces bancs. Cette présence entraîne un risque pour les personnes en cas de démarrage de l'usine.

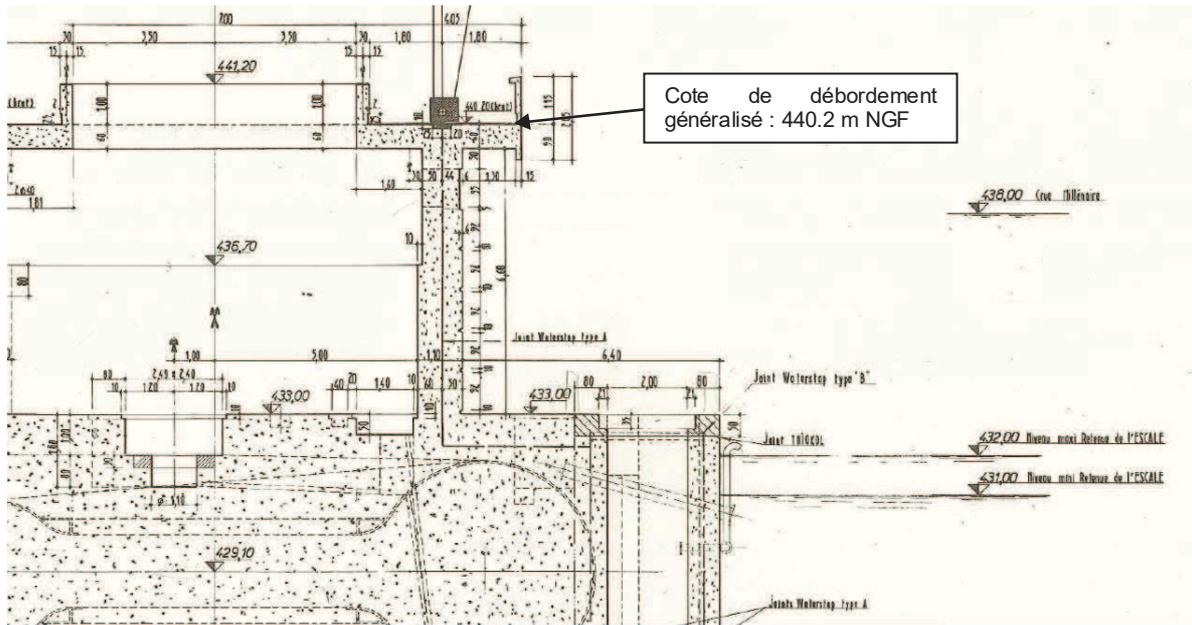


Figure 15. Vue en coupe de l'usine de Salignac



Figure 16. Vue sur le parapet

Nous proposons d'analyser les niveaux en crue centennale au regard de 2 références :

- le niveau d'inondation généralisée de l'usine de 440.2 m NGF.
- le niveau des hublots de 438 m NGF.

6.2.2 Modélisation en état actuel (bathy 2017)

Le modèle a été repris pour intégrer les paramètres retenus :

- Hydrogramme de crue centennale (cf. § 4.3.3) ;
- Bathymétrie de 2017 ;
- Le niveau au barrage est donné directement par la débitance des vannes. L'hypothèse est donc que le barrage est entièrement ouvert (très probable en crue centennale).
- Fond mobile.

Les apports sédimentaires ont été estimés à 75 000 m³ depuis la Durance et 15 000 m³ depuis le Vançon, en conservant les mêmes paramètres de pente et de granulométrie et avec l'hydrogramme de crue centennale défini en 4.3.3.

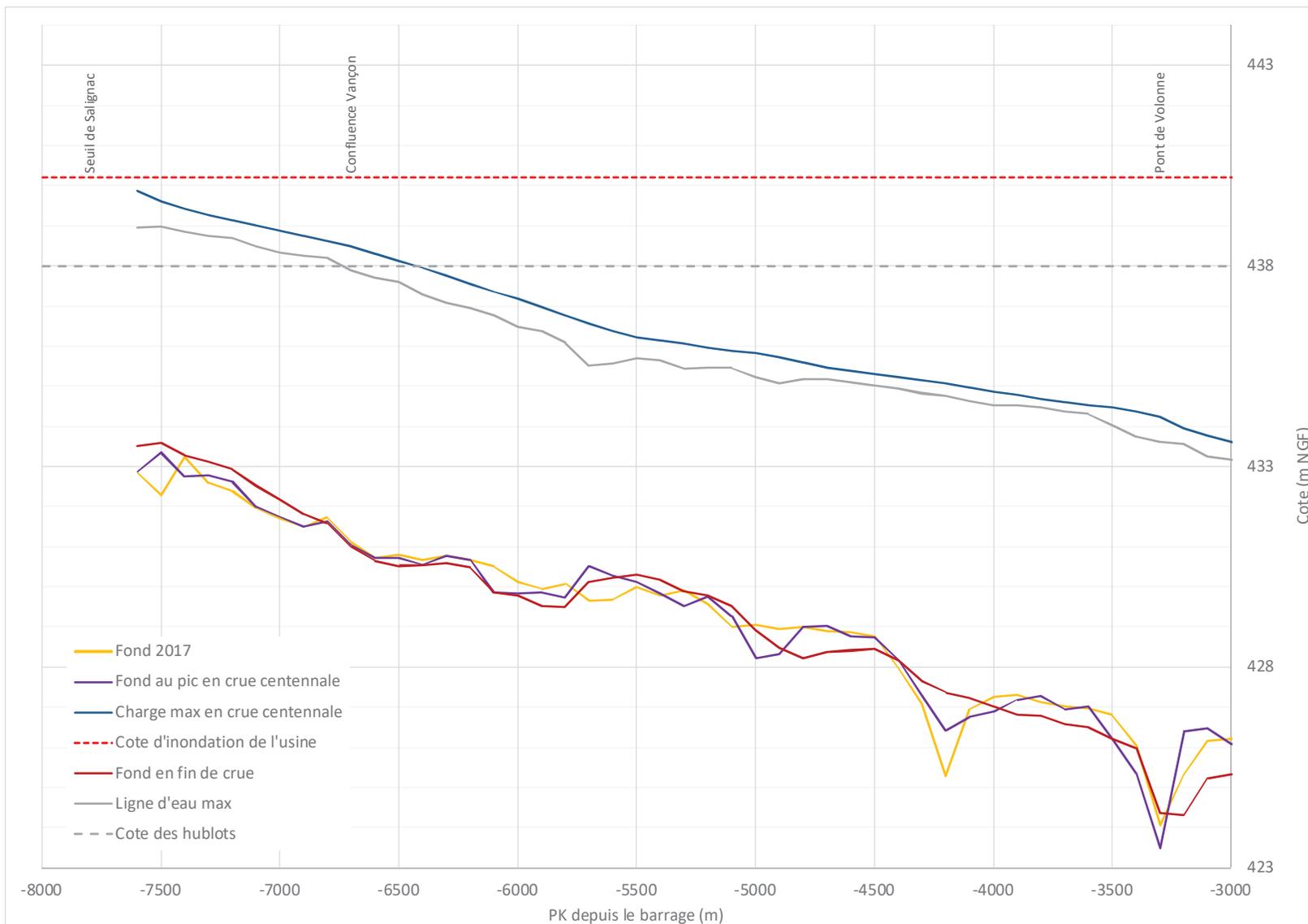


Figure 17. Lignes d'eau et de charge en crue centennale

C'est le niveau de charge au PK -7500, qui est représentatif du niveau atteint au droit de l'usine. On voit qu'en crue centennale avec la bathymétrie de 2017, le niveau de charge atteint est proche de 440 m NGFO, largement au-dessus des hublots (438 m NGF O) mais ne devrait pas entraîner l'inondation généralisée de l'usine (440.2 m NGF O).

6.2.3 Modélisation après 7 ans d'apport sédimentaire

L'impact de l'arrêt des curages a été analysé en termes de ligne d'eau atteinte en crue centennale. Les résultats de fond du lit obtenus après 7 d'apports sans curage ont été introduits dans le modèle de crue centennale.

Cf. *Figure 18*, Après 7 ans d'apport sans curage depuis 2017, une crue centennale entraîne l'inondation généralisée de l'usine de Salignac. A fortiori, si on modélise une crue centennale sur le niveau des fonds après 14 ou 21 ans sans curage.

On note les dépôts en crue centennale au droit de l'usine de Salignac.

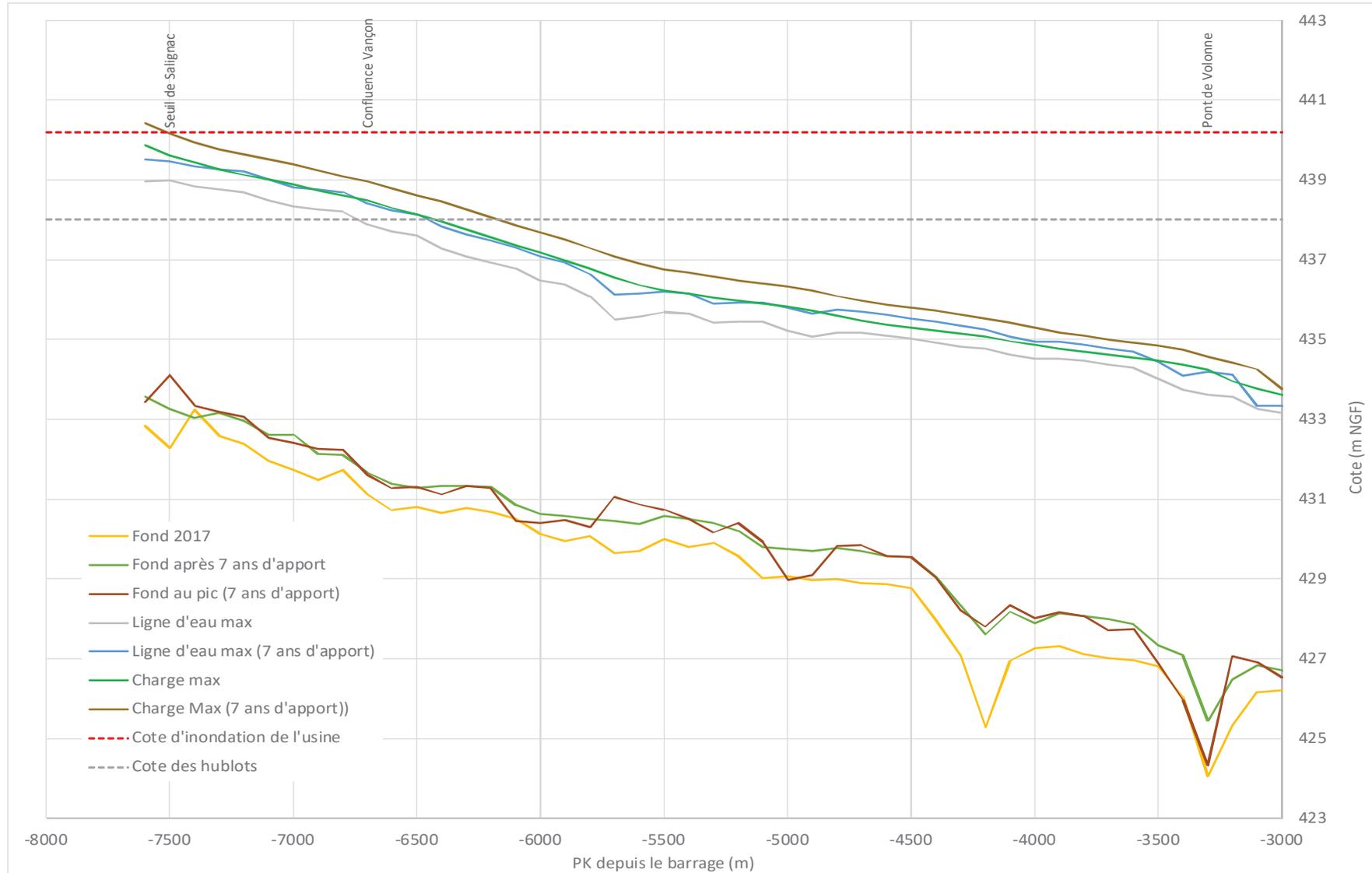


Figure 18. Ligne d'eau et de charge en crue centennale après 7 ans d'apport

6.3 CONCLUSIONS ET LIMITES DES MODELISATIONS REALISEES

Il est important de noter que ces modélisations, comme on l'a vu dans la phase de calage, sont entachées d'une certaine incertitude et que les résultats sont des ordres de grandeur des évolutions du lit à attendre et des niveaux d'eau atteints en crue. Le logiciel utilisé est un logiciel hydrosédimentaire 1D donc il ne peut pas modéliser finement le processus de dépôt au droit de la sortie du canal de Salignac toutefois la problématique est plutôt 1D et cela représente un compromis entre temps de travail et résultats. Par ailleurs les données de calage existantes ne permettaient pas d'envisager la réalisation d'un modèle 2D suffisamment fiable.

On voit que l'état des fonds levés lors de la bathymétrie de 2017 est limite pour permettre une protection de la centrale de Salignac en cas de crue centennale de la Durance (le niveau de charge est plus haut que le niveau des hublots mais inférieur au seuil d'inondation généralisée). Si on laisse le lit s'engraver sans réaliser de curage pendant 7 ans ou plus, l'usine devient inondable pour une crue centennale. Il faut noter que c'est le débit de crue centennale du bassin versant intermédiaire Serre Ponçon-Escale qui a été utilisé.

Sans curage en queue de retenue, le niveau aura tendance à s'exhausser avec une menace pour l'usine de Salignac en crue centennale, mais aussi pour les enjeux situés au niveau du pont de Volonne où les exhaussements seront à priori plus importants. Remarque : c'est une gestion du barrage de l'Escale sans transparence systématique en crue qui est simulée. Il est donc probable que l'avancée des graviers dans la retenue soit minimisée, cf. § 6.1.

Il faut par ailleurs noter que les curages apportent une amélioration :

- pour la protection de l'usine en crue centennale mais également pour des crues plus faibles pour lesquelles on note des infiltrations dans l'usine et des difficultés à évacuer l'eau du fait du noyage des exhaures ;
- en fonctionnement courant car le niveau haut du lit entraîne des difficultés d'exploitation (noyage des exhaures et de la passerelle aval) ;
- lors des turbinés en limitant la perte de chute et donc les pertes d'exploitation.

Par ailleurs, du fait de l'exhaussement des bancs de graviers dans le lit de la Durance en aval de l'usine et donc de leur exondement, le GU note la présence de plus en plus fréquente de personnes sur ces bancs. Cette présence entraîne un risque pour les personnes en cas de démarrage de l'usine.

La suite de l'étude consiste donc à modéliser les curages pour les optimiser.

7. OPTIMISATION DES CURAGES

L'optimisation des curages a fait l'objet d'une étude préliminaire EDF. Trois types de solutions de curage ont été analysés avec pour objectif d'identifier les potentielles pistes d'amélioration des curages tels que réalisés à ce jour. Les gains recherchés sont les suivants :

- accroître la hauteur de chute entre chaque crue morphogène,
- simplifier les conditions d'extraction des matériaux,
- diminuer l'impact des curages.

Les 3 familles de solution sont les suivantes :

- curages en Durance tels que réalisés actuellement,
- réalisation de pièges à graviers sur la Durance et sur le Vançon,
- réalisation d'une rivière de contournement.

Il faut noter que pour les familles 2 et 3, il est nécessaire de prévoir un premier curage en Durance pour revenir à un niveau des fonds acceptable.

La famille 2 (pièges à graviers) ressort comme étant une piste intéressante permettant de limiter :

- l'engravement à l'aval de l'usine entre chaque crue morphogène,
- les impacts sur la production pendant les travaux d'extraction,

7.1 CURAGE DE MISE A NIVEAU EN DURANCE : DEFINITION DU FOND CIBLE

Le premier test réalisé consiste à tester l'impact sur les niveaux d'eau en crue centennale du curage tel que réalisé en 2006. Pour modéliser l'impact du curage de 2006, il a été utilisé la bathymétrie de 2007, représentative de la bathymétrie obtenue en post-curage, dans la zone du curage et la bathymétrie de 2017 en aval.

Dans un second temps, le curage est optimisé en imposant une pente constante (0.6 ‰) sur toute la queue de retenue avec une cote basse (431 m NGF) au niveau de l'arrivée du canal de Salignac de manière à limiter la cote de fond au niveau de Salignac et à favoriser l'évacuation des sédiments. La partie aval est toujours représentée par la bathymétrie 2017.

Les résultats obtenus sont comparés avec ceux obtenus avec la bathymétrie de 2017, cf. § 6.2.2.

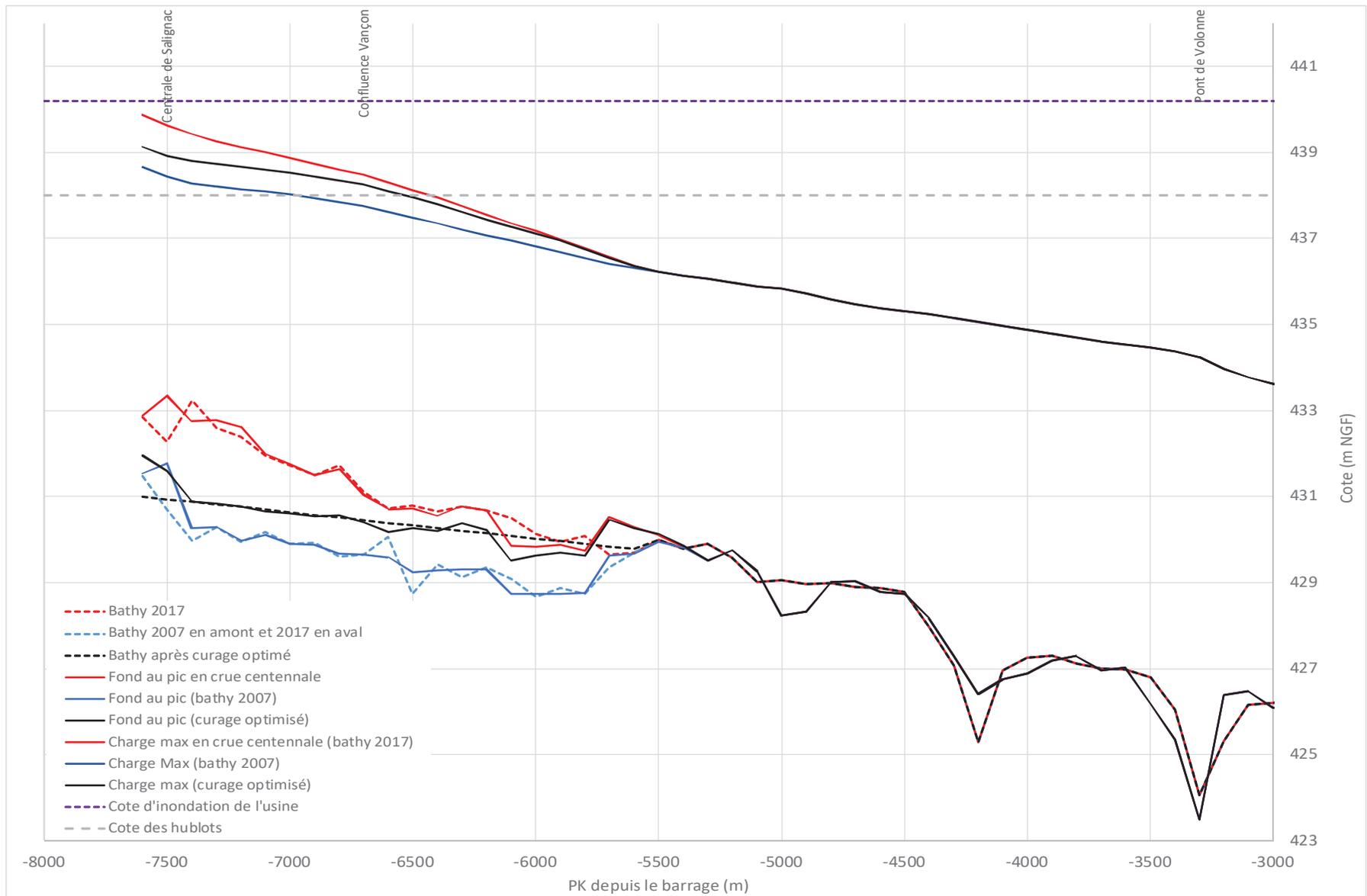


Figure 19. Ligne de charge en crue centennale pour 3 niveaux de fond

Le curage tel que réalisé en 2006 (volume de 380 000 m³ environ) permet de limiter les niveaux atteints en crue centennale et ainsi d'éviter l'inondation généralisée de l'usine selon le critère défini au § 6.2.1 (mais le niveau d'eau est au-dessus du niveau des hublots). Toutefois la remontée du fond au pk 5500 est préjudiciable à la limitation des dépôts.

Si on souhaite curer jusqu'à la cote 430 m NGF (cote du rocher au droit de l'usine de Salignac), il est nécessaire d'aller curer jusqu'au PK 5000 pour éviter une remontée des fonds en aval du curage. Cette option n'a pas été étudiée, à ce jour, car entraînerait un impact très fort sur la production pendant la période de curage.

Le curage optimisé (volume de 200 000 m³ environ) permet de limiter le volume de curage tout en respectant le critère d'inondation de l'usine. Le curage optimisé est ainsi défini comme fond cible à atteindre.

On note qu'avec l'ensemble des bathymétries avant crue, les dépôts au niveau de l'arrivée du canal de Salignac sont importants au pic de crue et provoquent une rehausse de la ligne d'eau. Ces dépôts ont tendance à s'étaler après la crue. Mais c'est bien le niveau du fond dans la queue de retenue avant la crue qui est déterminant sur la ligne d'eau atteinte en crue.

7.2 PIEGES A MATERIAUX

La famille de solutions 2 consiste en la réalisation de pièges à graviers en Durance en amont du seuil de Salignac et sur le cône du Vançon. Ces pièges viennent en complément d'un premier curage en Durance de mise à niveau et permettent de limiter le réengrèvement de la Durance par des curages fréquents (fréquence envisagée : annuelle ou une fois tous les 2 ans) mais plus faciles à mettre en œuvre que les curages massifs dans le lit et sur un linéaire plus limité.

Des investigations complémentaires ont été réalisées par EDF, notamment concernant la profondeur du rocher dans la Durance en amont du seuil de Salignac, pour le dimensionnement du piège à graviers en Durance.

Deux cas ont été modélisés et les résultats comparés : avec ou pas un piège complémentaire sur le Vançon.

7.2.1 Piège sur la Durance

Le piège testé fait 430 m de long en amont du seuil :

- Le fond est horizontal à la cote 431 m NGF O (410 m de long)
- Largeur en fond variant entre 34 et 56 m de l'amont vers l'aval,
- Le volume maximal stockable est d'environ 45000 m³.



Figure 20. Piège à graviers sur la Durance

7.2.2 Modélisation de la Durance avec le piège Durance uniquement

La modélisation a été réalisée pour la période 01/01/2011-01/01/2017, avec un curage du piège réalisé le 01/01/2013 et le 01/01/2015. Les apports depuis la Durance en amont du piège sont de 143000 m³ soit 6 ans d'apport moyens annuel (estimés à 25 000 m³/an) au total :

- 61 000 m³ avant le premier curage
- 45 000 m³ avant le 2^{ème}
- 37 000 m³ avant le 3^{ème}.

Les apports du Vançon dans la Durance sont inchangés puisqu'il n'y a pas de piège, soient 135 000 m³.

La bathymétrie retenue au départ de la modélisation est la bathymétrie du curage optimisé (cf. § 7.1, « fond cible »).

Les résultats obtenus sont les suivants :

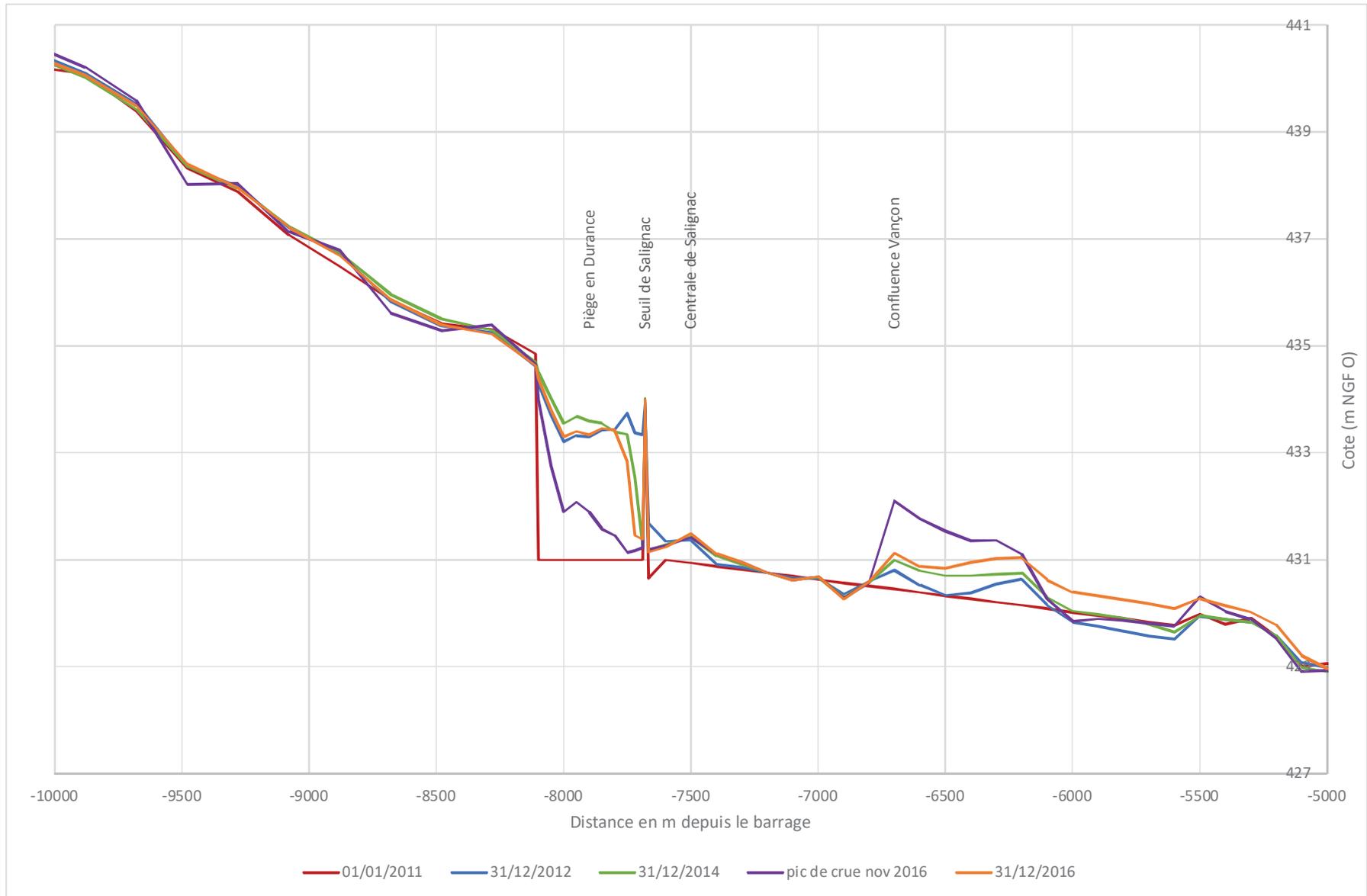


Figure 21. Evolution du lit au droit et en aval du piège sur la Durance

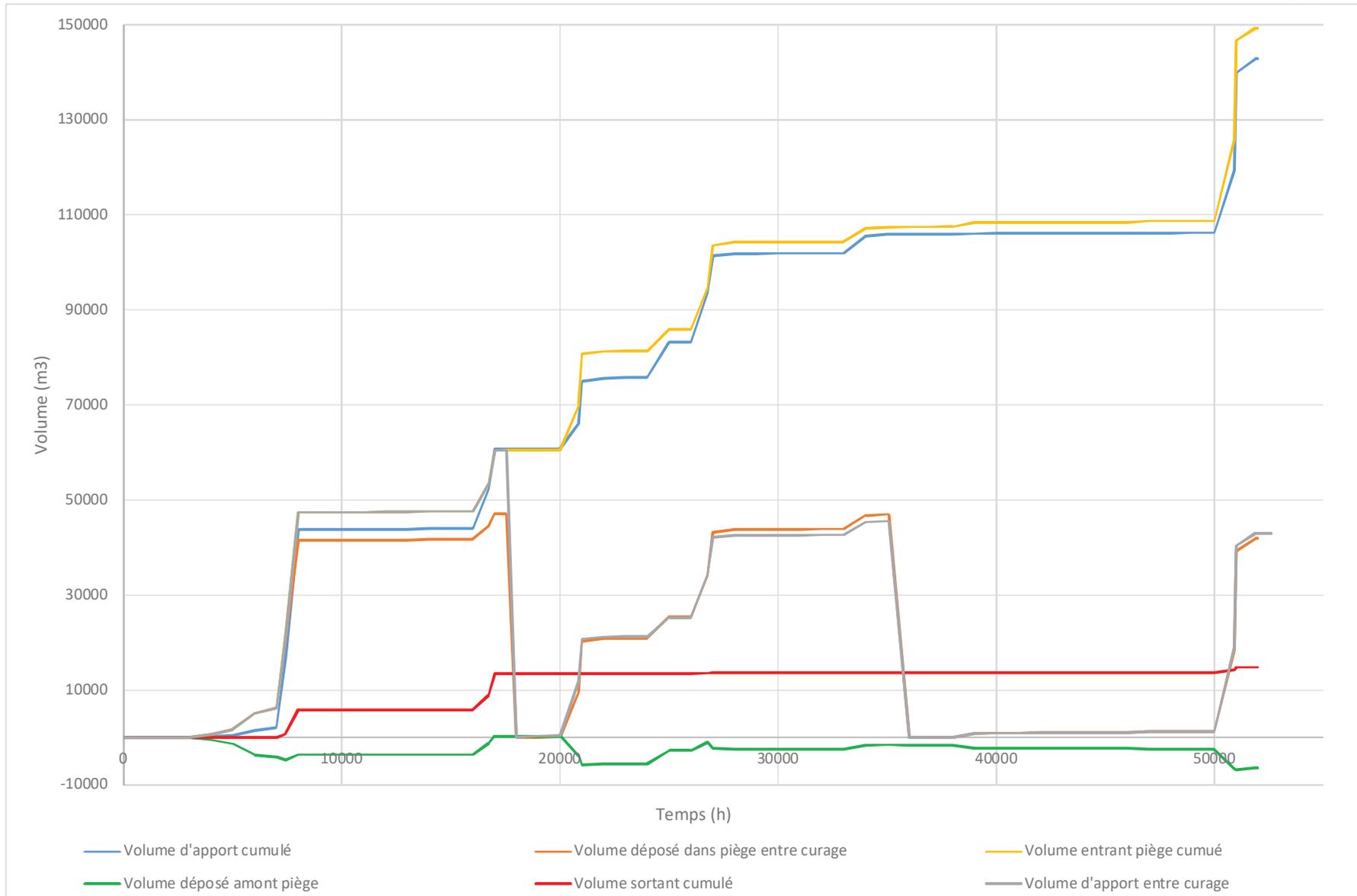


Figure 22. Résultats en volume de la modélisation du piège sur la Durance

Le piège a été dimensionné de manière à ce que l'incision régressive en amont soit limitée, elle est quasi nulle à la fin de la période modélisée.

Une petite partie du volume de sédiment passe le seuil, notamment lors des crues quand le piège est déjà partiellement rempli, ce volume a été estimé à 15 000 m³ sur les 145 000 m³ entrant, soit environ 10% uniquement du volume solide entrant.

Le volume de stockage est au maximum de 47 000 m³, il est donc nécessaire de curer tous les 2 ans environ.

Ce test a été réalisé sans piège à graviers sur le Vançon, entraînant des dépôts sédimentaires à la confluence Vançon-Durance. Ceux-ci impactent les niveaux au droit de l'usine en crue. Les modélisations en crue centennale avec et sans piège sur le Vançon seront analysées au § 7.3.2.

Par ailleurs, il est important de noter que la modélisation a tendance à surestimer la reprise des sédiments du Vançon par la Durance du fait de la différence granulométrique non prise en compte (les sédiments du Vançon sont plus grossiers que ceux de la Durance).

7.2.3 Piège sur le Vançon

Le linéaire étant court entre le seuil sur le Vançon situé en aval du pont et la confluence avec la Durance, la mise en place d'un piège à graviers entraîne un approfondissement rapide du lit en amont et le seuil devient un infranchissable piscicole.

Pour limiter les incidences ;

- le piège a été positionné sur la partie aval du cône du Vançon ;
- un test avec un arasement du seuil à la cote 436.5 m NGF-O a été réalisé (la cote actuelle du seuil est de 438 m NGF O).

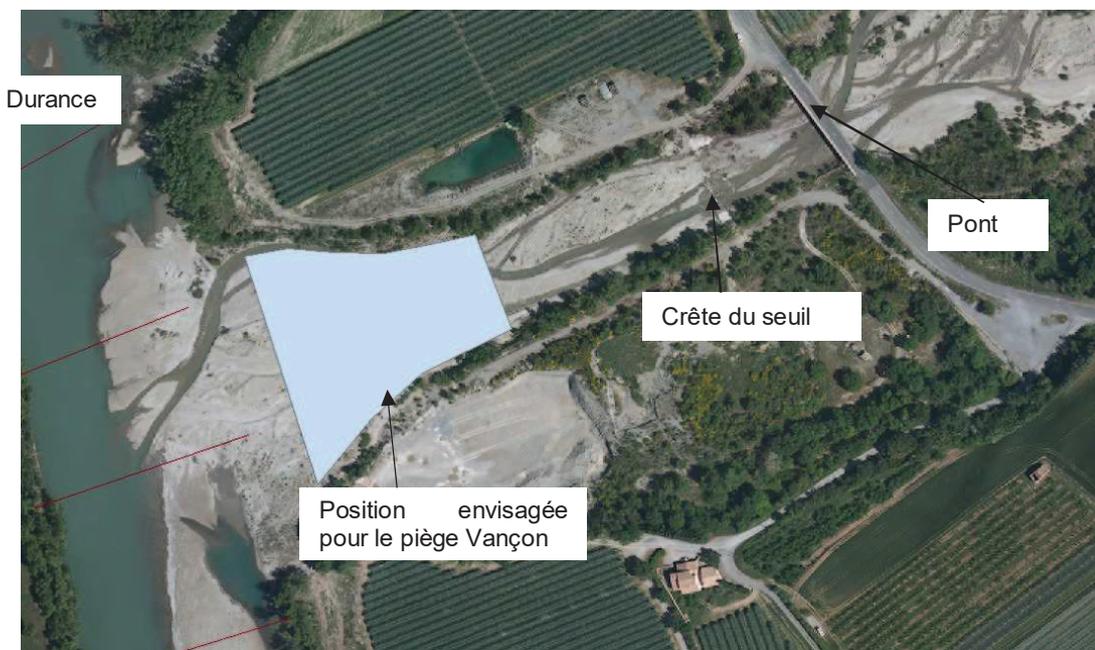


Figure 23. Position envisagée pour le piège sur le cône du Vançon

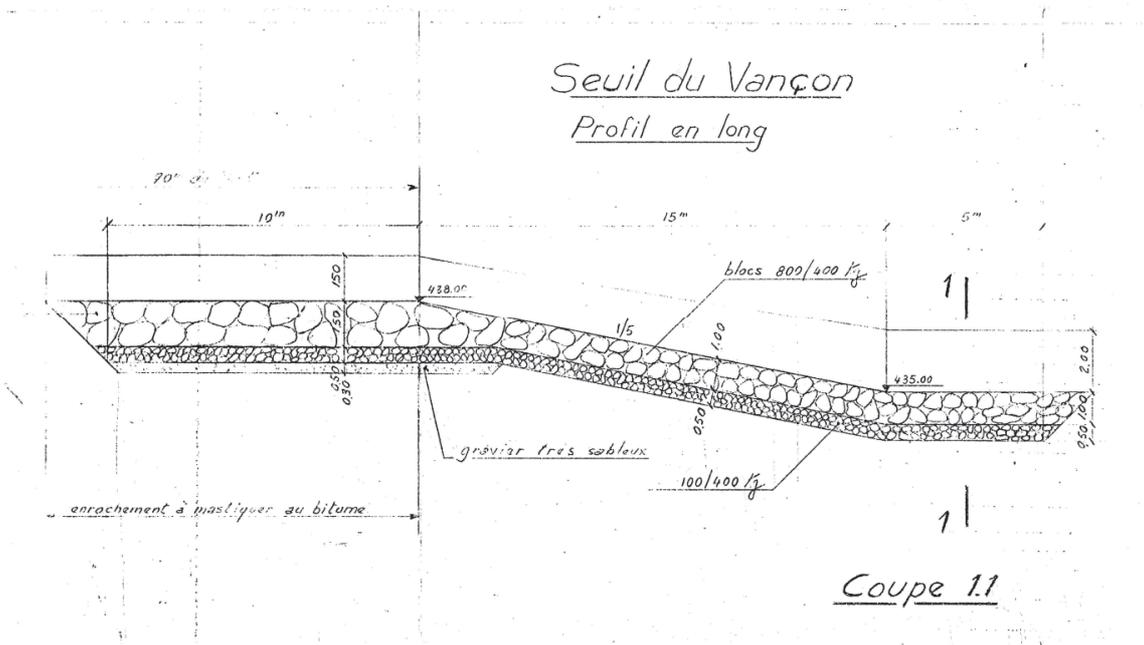


Figure 24. Coupe du seuil actuel du Vançon

Le piège testé fait 150 m de long en amont de la confluence :

- Le fond est horizontal à la cote 432 m NGF O (120 m de long)
- Largeur en fond variant entre 36 et 120 m de l'amont vers l'aval,

A ce jour, l'état d'engravement du Vançon est caractérisé par les altitudes de matériaux suivantes :

- 434,00 m NGF sur sa partie terminale en arrivant sur la Durance,
- 438,00 m NGF sur sa partie amont au niveau du seuil du Vançon.

La modélisation a été réalisée pour la période 01/01/2011-01/01/2017, avec un curage du piège réalisé le 01/01/2013 et le 01/01/2015. Les apports depuis le Vançon en amont du piège sont de 134 000 m³ soit 6 ans d'apport moyens annuel (estimés à 20 000 m³/an) au total :

- 29 000 m³ avant le premier curage
- 49 000 m³ avant le 2^{ème}
- 56 000 m³ avant le 3^{ème}.

7.2.3.1 Piège Vançon avec arase de seuil

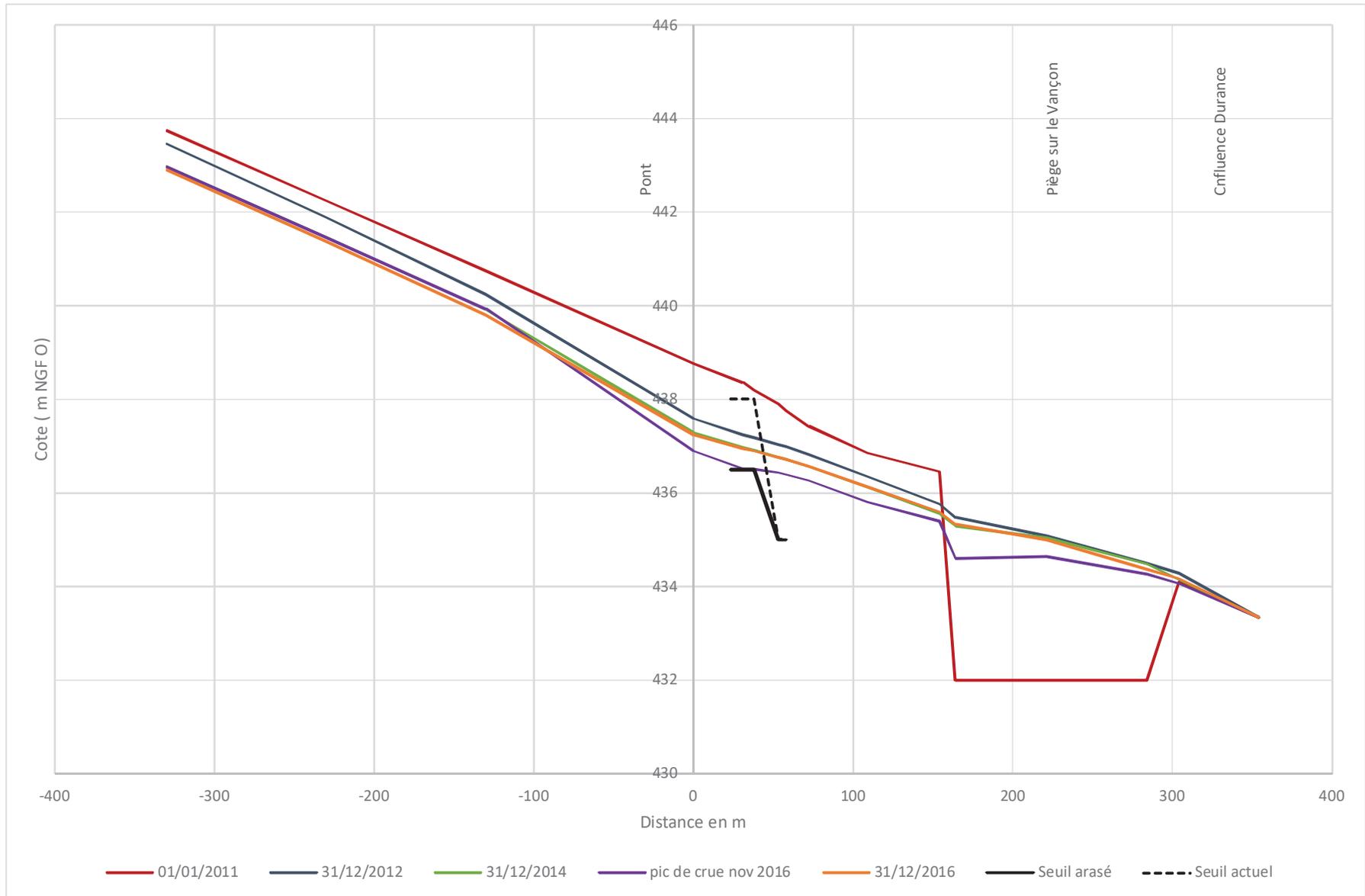


Figure 25. Evolution du lit au droit et en aval du piège sur le Vançon

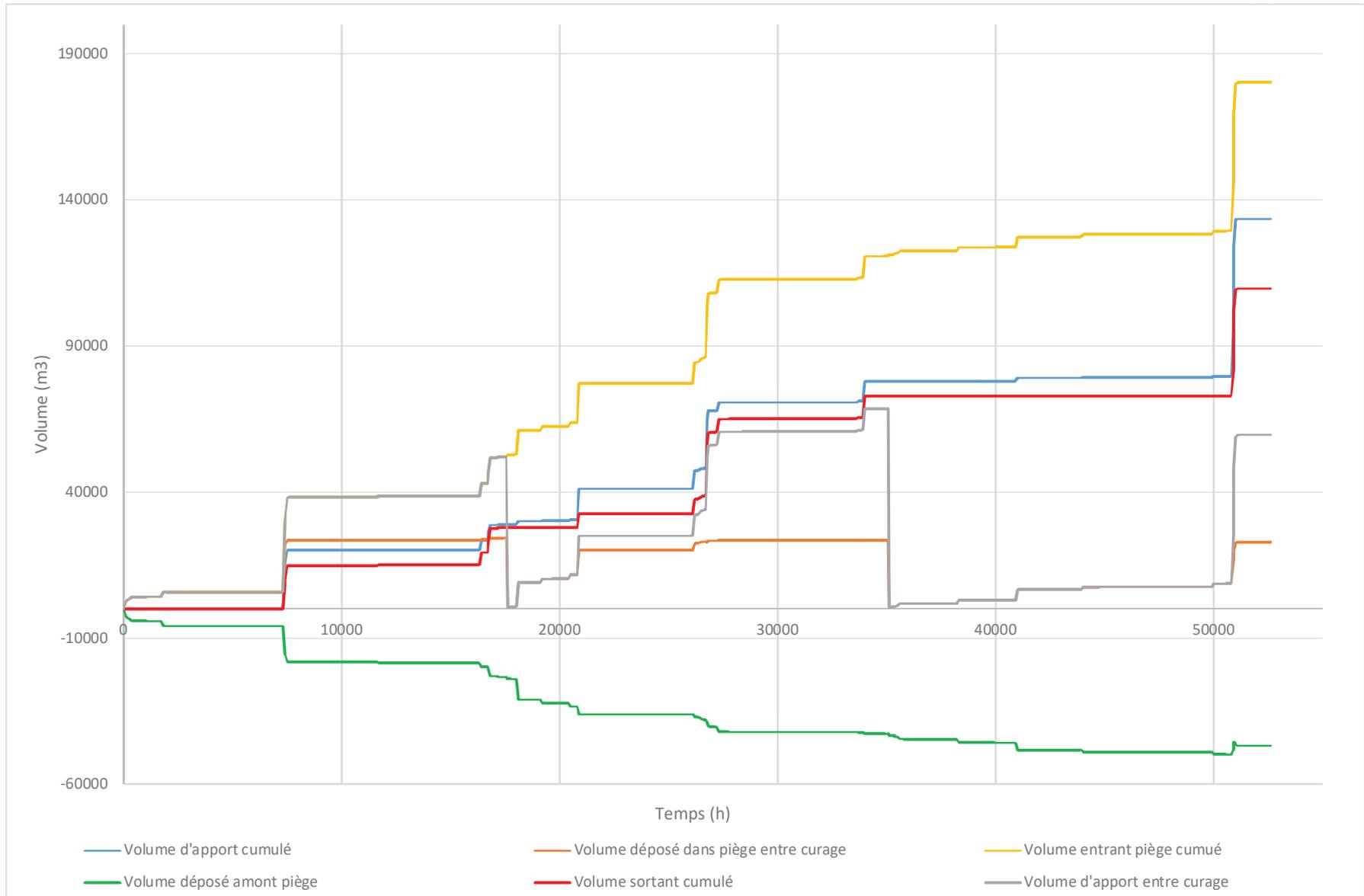


Figure 26. Résultats en volume de la modélisation du piège sur le Vançon

L'arase du seuil a été dimensionné de manière à éviter de créer un infranchissable au niveau du seuil. L'incision observée à l'amont du modèle à la fin de la période modélisée est estimée à 90 cm. Cette incision entraîne un surplus de sédiment dans le piège, ainsi le volume d'apport est estimé à 180 000 versus 135 000 m³ entrant dans le modèle.

On note une stabilisation de l'incision en amont au bout de 6 ans mais le surplus d'apport devrait se poursuivre plus longtemps car le modèle n'est pas assez long pour reproduire l'évolution du lit sur toute la zone impactée par le piège.

Le volume de sédiment sortant du piège et donc arrivant en Durance a été estimé à 110 000 m³ sur les 135 000 m³ entrant. Le volume d'apport en Durance est donc proche avec ou sans le piège. Seuls 15% des apports amont sont réellement stockés dans le piège et curés du fait du déstockage sédimentaire de la rivière en amont.

Il n'est pas possible de réaliser un piège plus profond (cote de fond 431 m NGF) car cela impliquerait un abaissement du lit trop important en amont.

Le volume de stockage est au maximum de 25 000 m³, il faudrait donc le curer tous les ans pour avoir moins d'apport en Durance.

Sur les 6 ans de modélisation, le piège a donc un intérêt très limité. Par ailleurs, l'incision provoquée dans le lit amont pourrait avoir des conséquences sur les ouvrages, notamment le pont sous la RD 4.

7.2.3.2 Piège Vançon avec maintien du seuil actuel

Du fait des résultats peu probants avec arase de seuil, il a été testé de ne pas araser le seuil, au risque de créer un infranchissable.

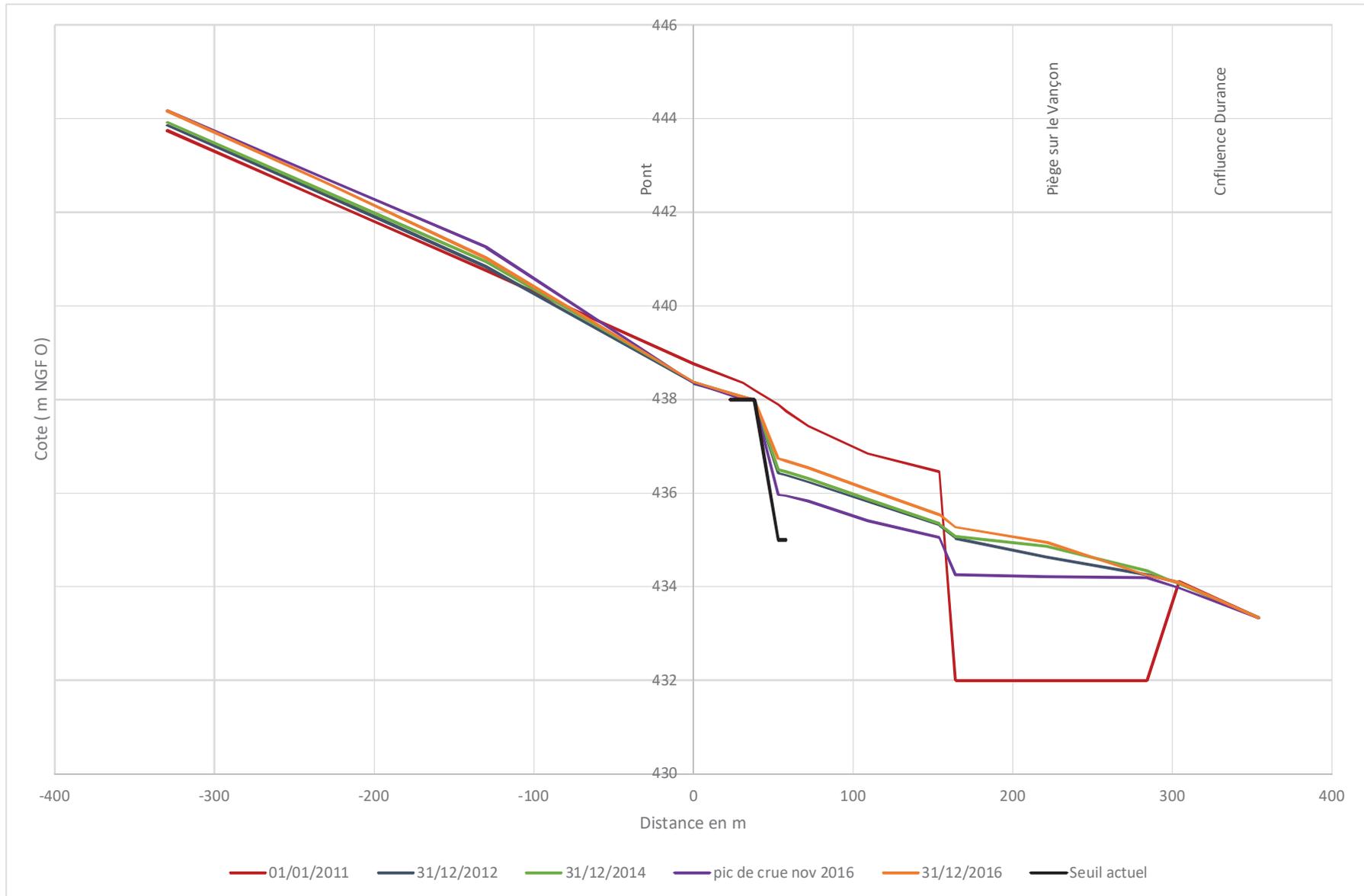


Figure 27. Evolution du lit au droit et en aval du piège sur le Vançon

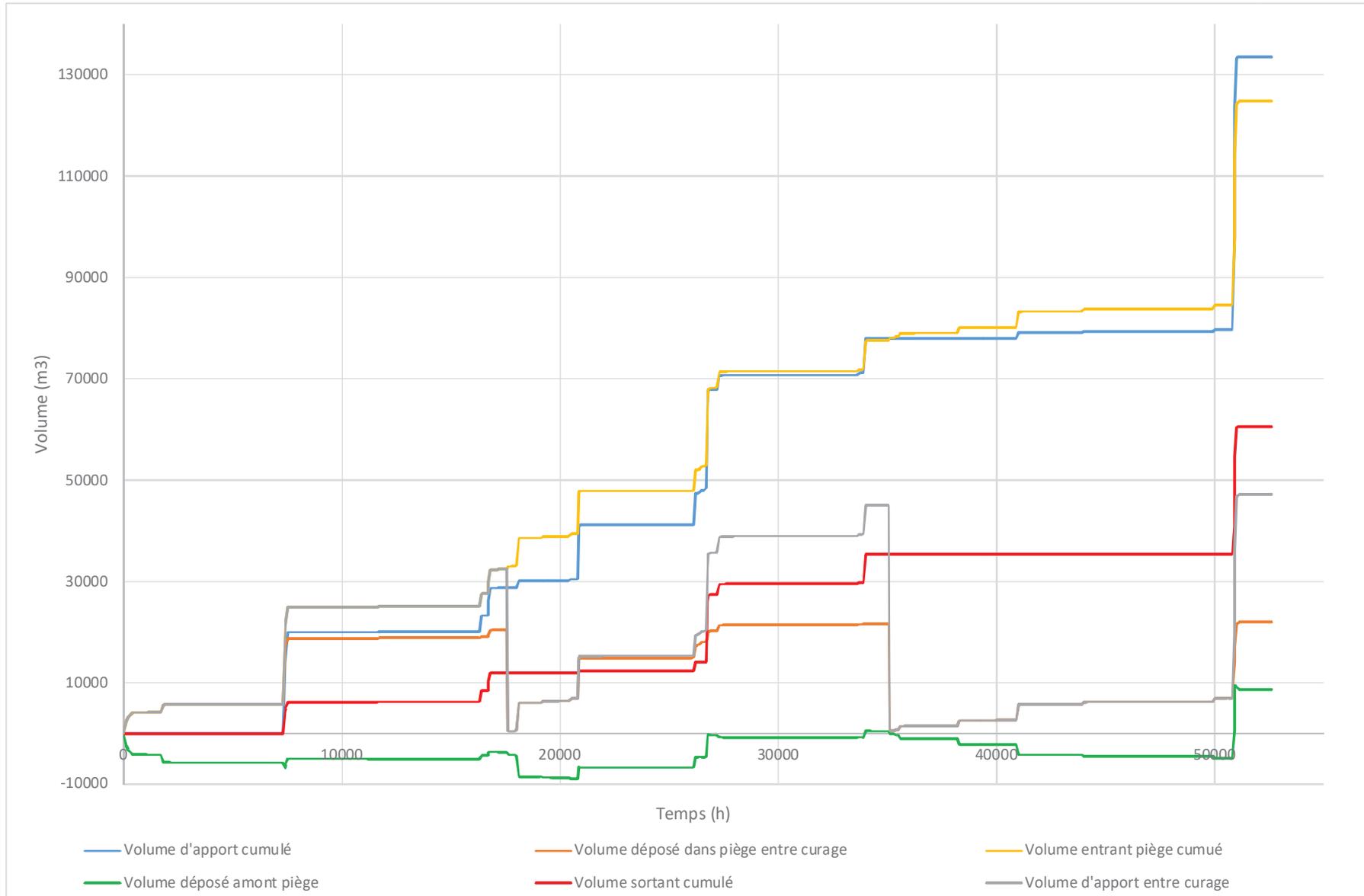


Figure 28. Résultats en volume de la modélisation du piège sur le Vançon

Sans arase de seuil, le profil en amont du pont reste stable. Par contre, il se crée un infranchissable au droit du seuil qui semble se stabiliser vers 1.5 m de chute.

La création d'un infranchissable piscicole paraît inacceptable. Il serait donc nécessaire d'équiper le seuil d'un dispositif de franchissement piscicole qui serait difficile à garder en état du fait du fort transit sédimentaire du Vançon. Toutefois cela paraît la seule option envisageable pour gérer les apports du Vançon au droit du Vançon et non en Durance.

Une analyse du gain par rapport à une configuration avec uniquement un piège en Durance est étudiée dans la suite du rapport.

7.3 MODELISATION DE LA DURANCE AVEC LES 2 PIEGES

La modélisation de la Durance a été réalisée avec les pièges sur la Durance en amont du seuil et sur le Vançon de manière à voir quelle était l'évolution du lit et le comparer avec les résultats obtenus avec uniquement un piège en Durance. La bathymétrie retenue au départ de la modélisation est la bathymétrie du curage optimisé (cf. § 7.1. « fond cible »).

Ces résultats sont également comparés avec la configuration sans piège avec le curage optimisé.

Enfin, la modélisation de la crue centennale est réalisée avec chacun des fonds obtenus.

7.3.1 Bathy après 6 ans d'apport

On voit que le niveau des fonds avec le piège sur le Vançon est plus bas au niveau de la confluence Vançon-Durance au bout de 6 ans d'apport. On évite alors l'exhaussement observé avec uniquement un piège sur la Durance et à fortiori avec aucun piège.

Au bout de 6 ans d'apport, le niveau des fonds au droit de la centrale de Salignac est directement influencé par les apports de la Durance mais ne l'est pas par les apports du Vançon. Le piège sur le Vançon n'apporte pas de protection supplémentaire pour l'exploitation de la centrale de Salignac hors crue. A contrario, le piège sur la Durance, permet de limiter l'exhaussement des fonds au droit de la centrale (-2 m en 6 ans).

Le niveau des fonds au droit de la confluence du Vançon peut quand même influencer les niveaux d'eau en crue centennale au niveau de la centrale de Salignac. Ce point est examiné au § 7.3.2. Par ailleurs, ces cailloux auront du mal à transiter jusqu'au barrage et ils pourraient se stocker à proximité du pont de Volonne. Il risque alors d'y avoir un exhaussement des lignes d'eau dans ce secteur en crue centennale. Les apports du Vançon, si ils sont non gérés par un piège, devront au moins pour partie être curés en Durance.

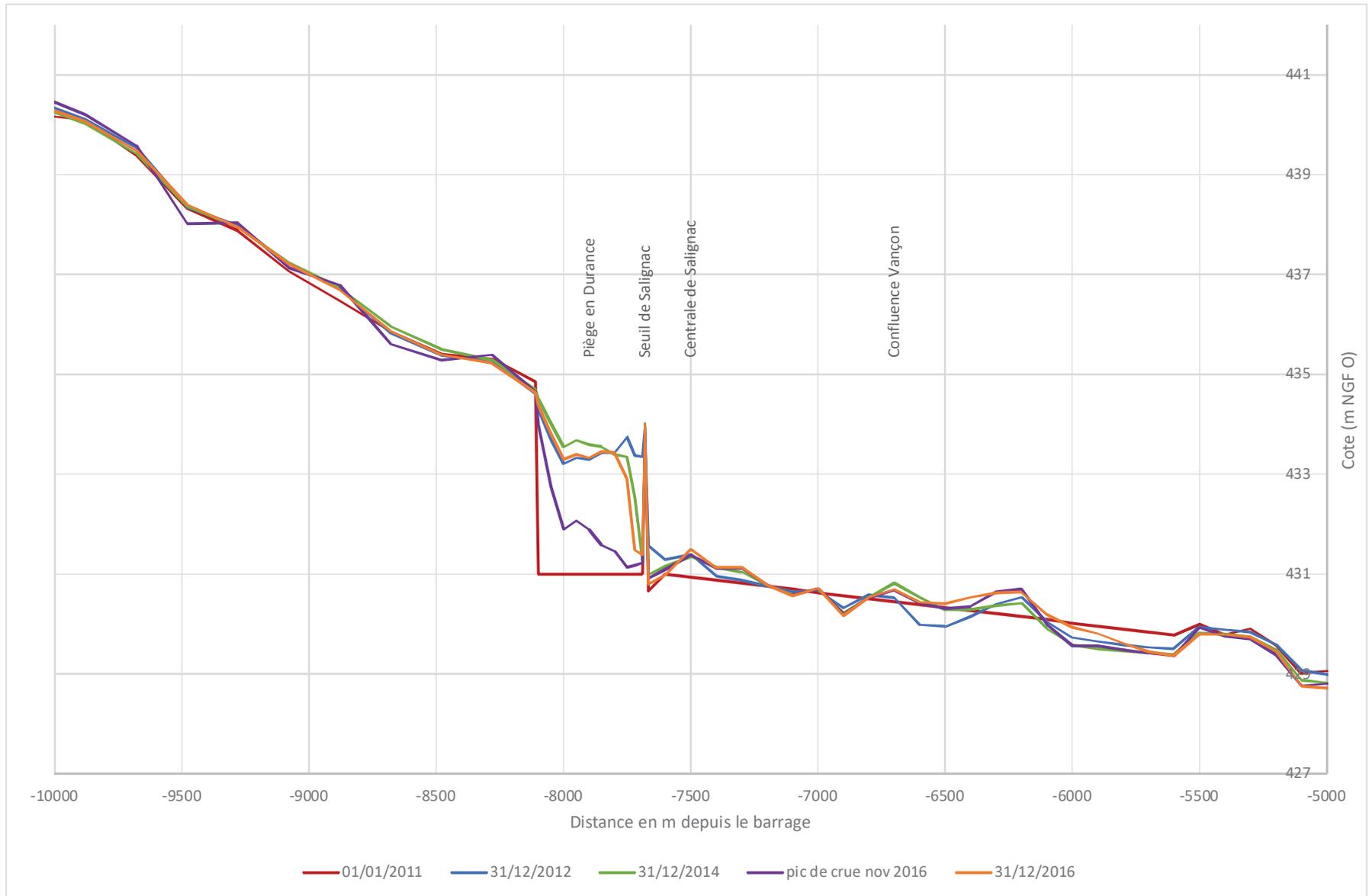


Figure 29. Niveaux de fond avec les pièges Durance et Vançon

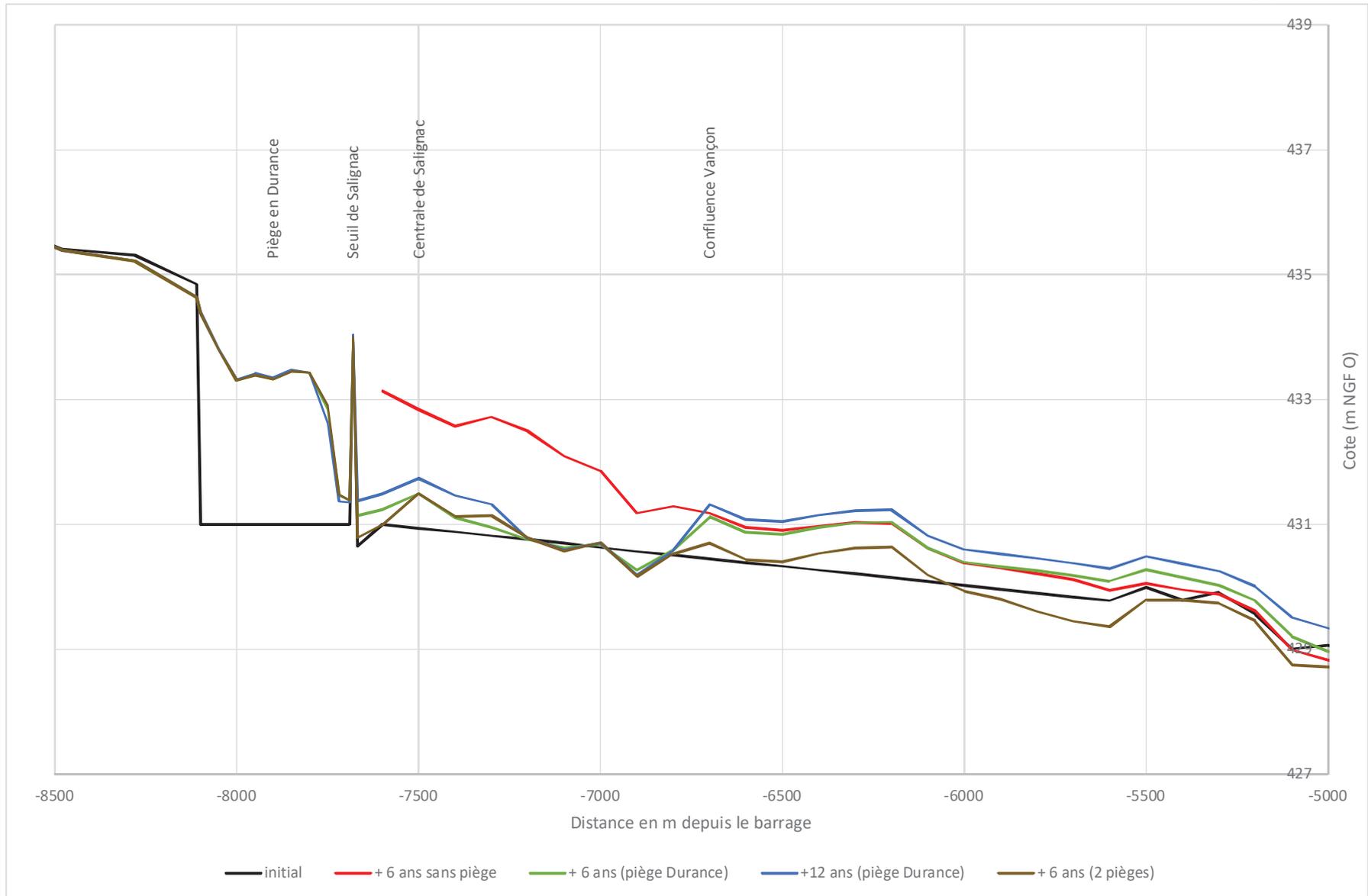


Figure 30. Comparaison des niveaux de fond avec ou sans les pièges Durance et Vançon au bout de 6 et 12ans

7.3.2 Crue centennale

On voit sur le graphique ci-dessous (*Figure 31*) que le niveau d'eau au droit de la centrale de Salignac est plus bas avec le piège sur le Vançon. Grâce à celui-ci, les niveaux d'eau évoluent très peu même après 6 ans d'apport.

Toutefois, les niveaux atteints en crue centennale avec un piège sur la Durance restent inférieurs au niveau actuel en crue centennale (bathy 2017) et au niveau de débordement généralisé même après 12 ans d'apport (avec la crue centennale prenant en compte l'influence de Serre Ponçon).

Il a été vu au § 7.2.3 que le piège sur le Vançon était très compliqué techniquement. Les résultats en crue centennale montrent qu'il apporte un abaissement du niveau de fond au droit de la confluence et du niveau d'eau au droit de l'usine. **Pour maintenir un niveau de protection de l'usine de Salignac en crue centennale, sans piège sur le Vançon, il sera nécessaire de curer plus régulièrement en Durance, notamment au droit de la confluence avec le Vançon.** La fréquence de ces curages dépend de l'objectif en termes de protection et de l'hydrologie.

Dans tous les scénarios modélisés au bout de 6 ans, ainsi que juste après le curage, les niveaux sont au-dessus de la cote des hublots et en dessous de la cote d'inondation généralisée de l'usine. Toutefois, sans piège, on voit qu'au bout de 6 ans d'apport suite au curage optimisé, les niveaux en crue centennale deviennent supérieurs aux niveaux avec la bathy 2017 et au bout de 12 ans d'apport, le niveau est supérieur au niveau de débordement généralisé. Par ailleurs, tous les cailloux qui passent le seuil de Salignac se déposent au niveau de l'usine et devront nécessairement être retirés autrement les fonds seront de plus en plus hauts.

Le piège en Durance permet de :

- retirer les sédiments sans contrainte de production,
- limiter les niveaux de fond devant l'usine, contraignants pour l'exploitation (cf. § 6.2.1)
- limiter le niveau atteint en crue centennale.

NB : la crue centennale a été modélisée sans les pièges mais sur la base de la bathymétrie obtenue au bout de 6 ans avec les pièges curés tous les 2 ans. Par sécurité les pièges sont considérés comme plein ou d'un volume négligeable par rapport aux apports pendant la crue. Les résultats des modélisations avec piège en Durance seraient ainsi plus favorables si ceux-ci venaient d'être curés.

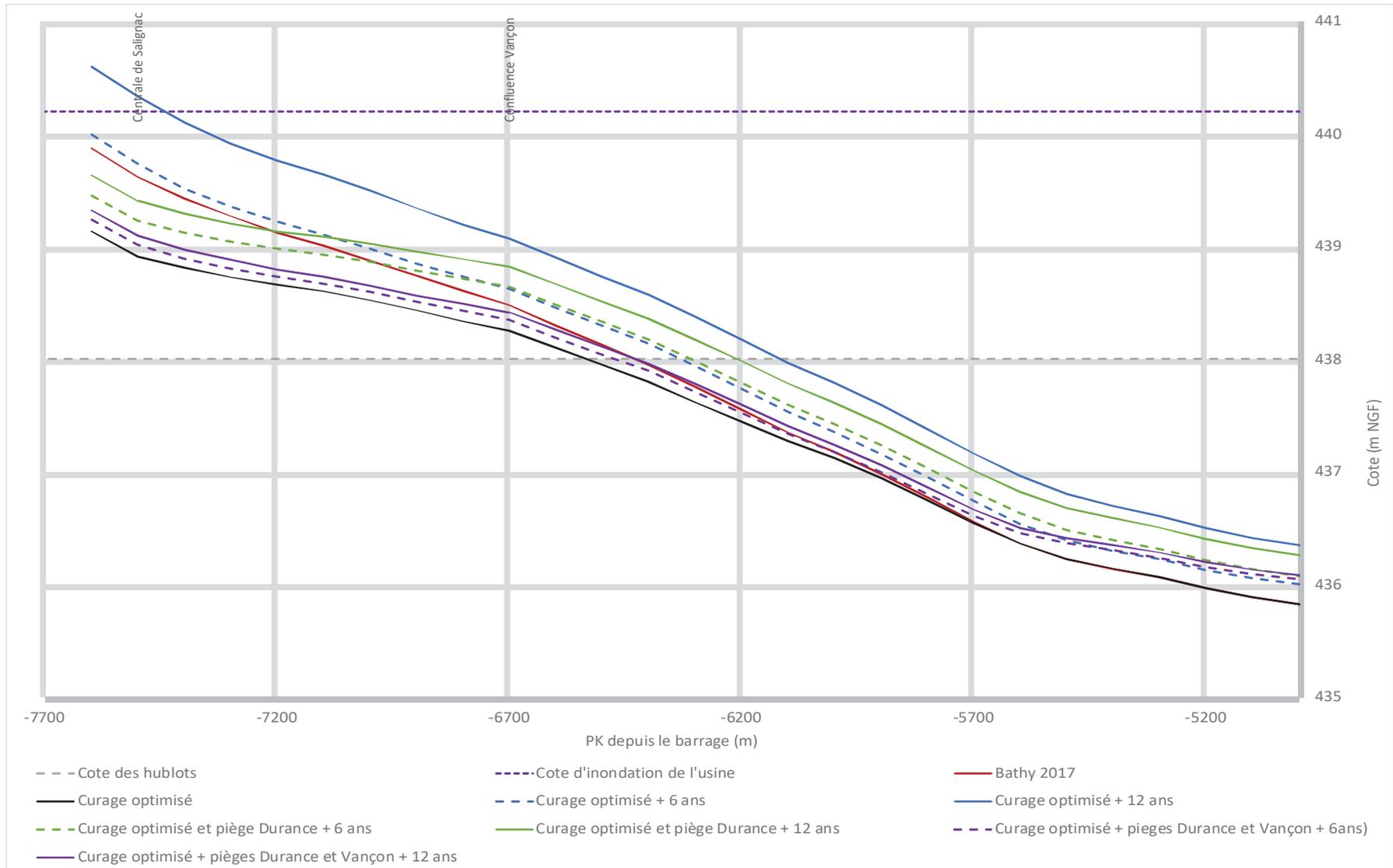


Figure 31. Comparaison des lignes d'eau avec ou sans les pièges Durance et Vançon au bout de 6 et 12 ans

7.4 PROJET DE CURAGE 2022

7.4.1 Contexte du projet

Les crues de novembre 2016 puis de fin 2019, ont entraîné des dépôts importants à l'aval de l'usine.

Pour des raisons de mise en œuvre, notamment des coûts de curage (contraintes sur la production, chantier) mais également des difficultés à stocker et valoriser un volume important de graviers, il a été décidé d'étaler l'atteinte des fonds cibles. EDF propose de traiter en 2022 une partie aval usine et de créer le piège en amont de Salignac.

Pour les apports du Vançon, une étude spécifique va être engagée en 2022 pour objectiver le risque sur l'aval. Une analyse du volume et de la fréquence des curages à prévoir sera réalisée en prenant en compte le risque de départ des graviers vers le pont de Volonne (où ils sont plus compliqués à récupérer).

L'étude de modélisation hydrosédimentaire s'étant basée sur la bathymétrie des fonds 2017, une bathymétrie du secteur aval usine en queue de retenue de l'Escale a été actualisée en 2021 (réalisée en aout 2021) pour intégrer notamment les apports des crues de fin 2019 (NB : la bathymétrie réalisée en 2020 post-crues n'est pas complète du fait de difficultés techniques lors du levé, notamment devant l'usine.)

7.4.2 Levé bathymétrique été 2021

Un levé bathymétrique a été réalisé à l'été 2021 (levé bathymétrique dans les zones en eau, et levé photogrammétrique dans les zones hors d'eau).

Les fonds moyens ont été calculés à partir de ces profils. Le profil en long ainsi obtenu est présenté sur la figure ci-dessous.

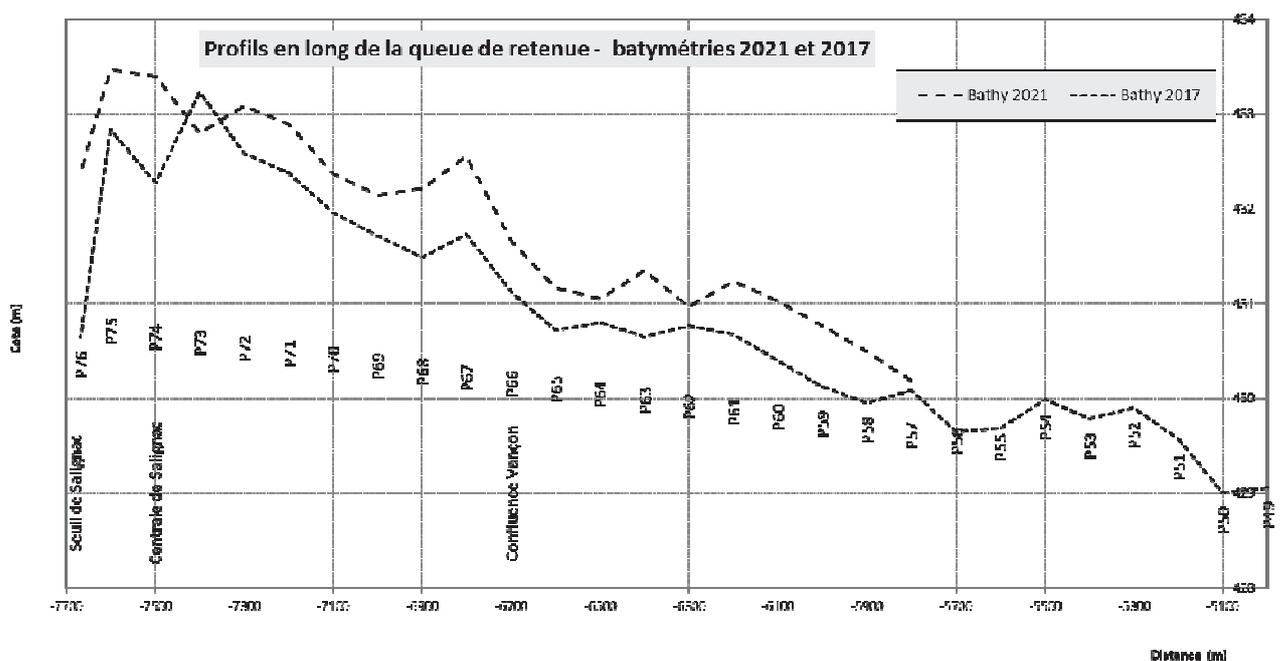


Figure 32. Profils en long de la Durance à l'aval du seuil (fonds moyens au niveau des profils P76 à P49 mesurés en 2017 et 2021).

La zone à l'aval du seuil s'est engravée de façon significative entre l'année 2017 et l'année 2021. La distribution spatiale de ces dépôts est présentée ci-dessous.

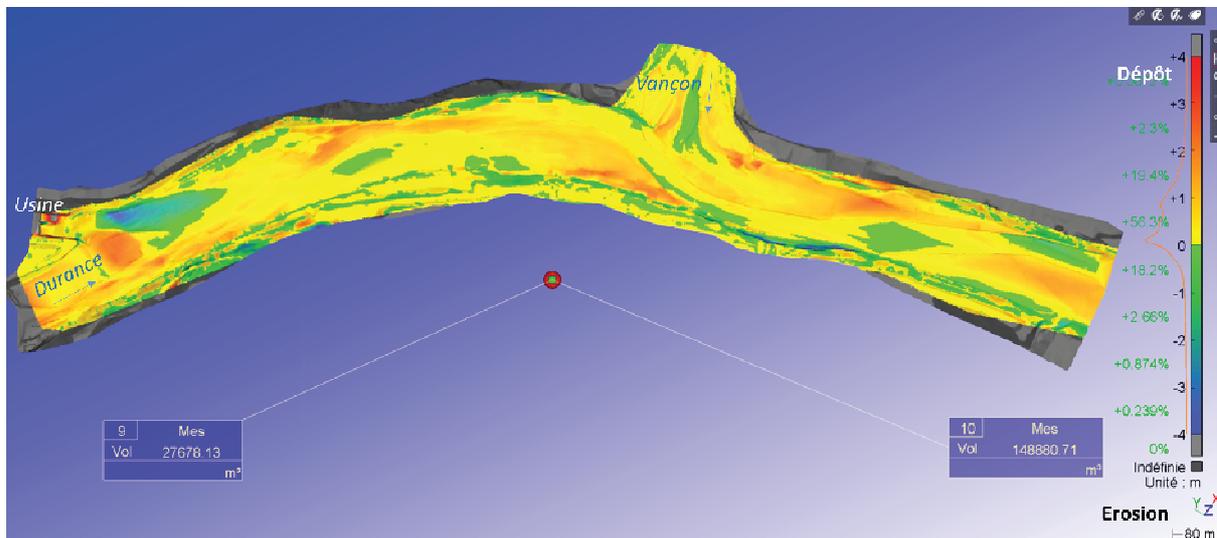


Figure 33. Vue en plan de l'aval du seuil : différences bathymétriques entre 2017 et 2021

Ces mesures ont permis de calculer les volumes déposés dans cette zone : 116 500 m³ de dépôt net dans la Durance (hors Vançon) (143 600 m³ de matériaux déposés, 27 100 m³ de matériaux érodés).

7.4.3 Curage initial en Durance

Différents projets de curage ont été étudiés selon différentes pentes de fond, avec les objectifs suivants :

- Optimiser la ligne d'eau courante et en crue en aval de l'usine
- Curer la « bosse » au niveau de la confluence avec le Vançon, pour :
 - optimiser la performance du curage ; en effet, les niveaux d'eau en régime fluvial étant contrôlés par l'aval, c'est la bosse qui contrôle en grande partie le niveau d'eau au niveau de l'usine
 - limiter le transfert de matériaux vers l'aval (au niveau du Pont de Volonne)

A noter qu'il est indispensable que cette première opération de curage en Durance soit réalisée conjointement avec la mise en place du piège à graviers en Durance, car autrement, la remontée des fonds au droit du Vançon va contribuer au stockage devant l'usine de tous les sédiments entrant depuis la Durance.

Les projets ont été analysés par le biais de la modélisation numérique.

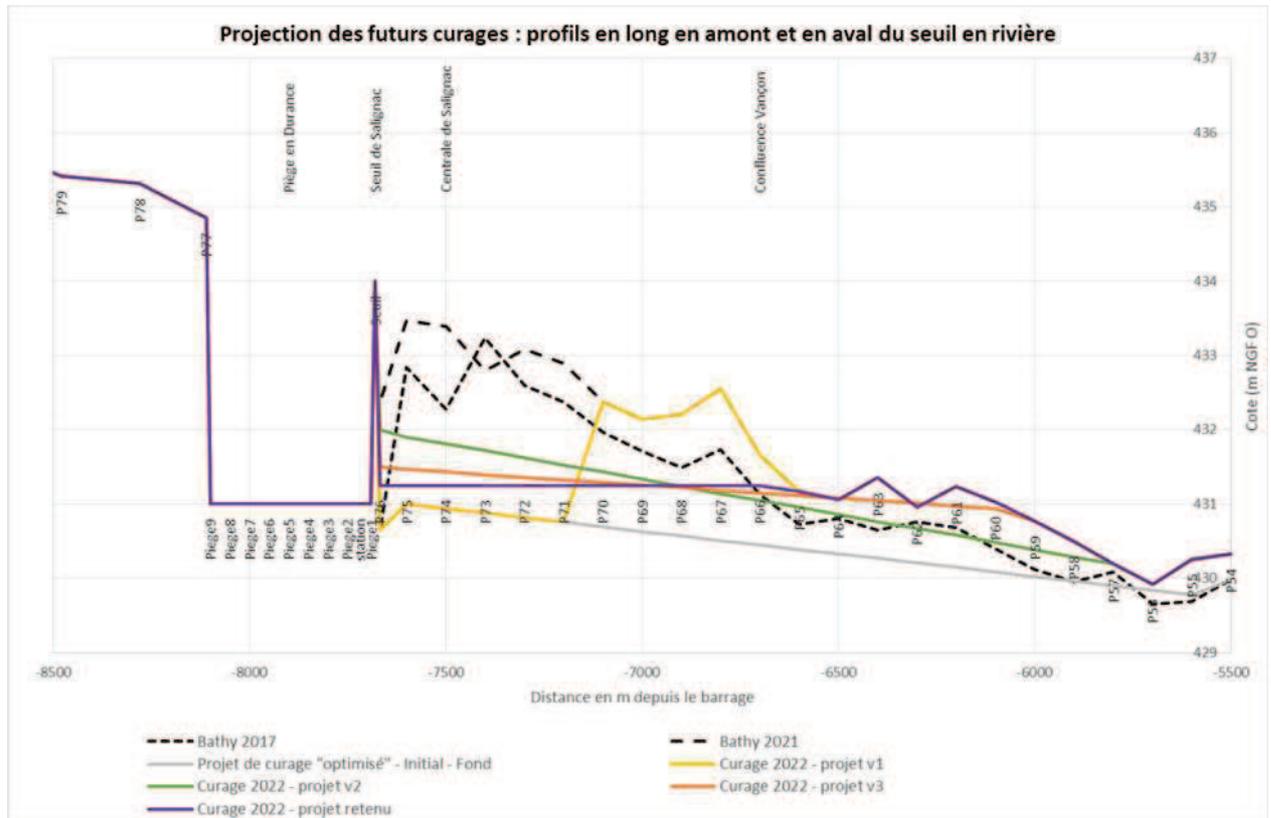


Figure 34. Profils en long de la Durance à l'aval du seuil pour différents projets de curage étudiés et fonds cibles (curage « optimisé »)

A la lumière des résultats, le projet estimé le plus performant au regard des différents critères d'évaluation est proposé pour 2022. Seuls les résultats obtenus pour ce projet sont présentés par la suite, et comparés par rapport aux fonds cibles.

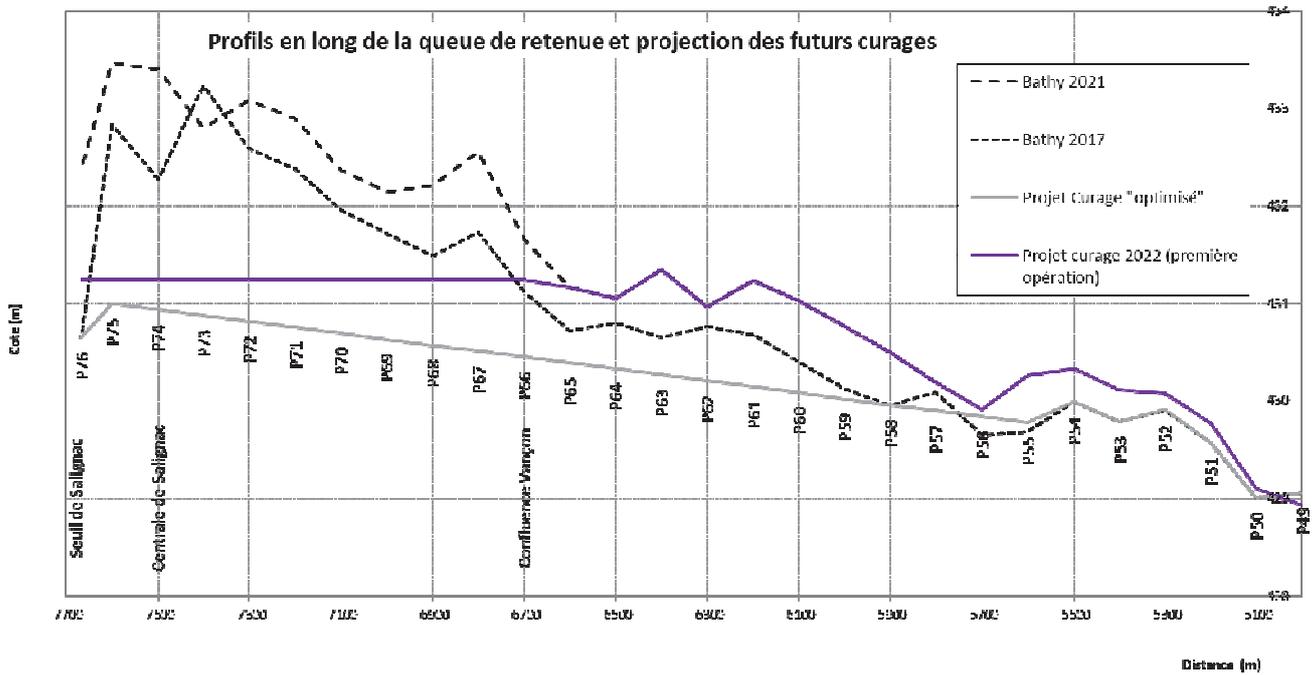


Figure 35. Profils en long de la Durance à l'aval du seuil pour le projet de curage 2022 et fonds cibles (curage « optimisé »)

Ce projet présente les caractéristiques suivantes :

- Curage des profils P76 à P66 inclus,
- Pas de pente : cote du fond constante à 431.25 m.

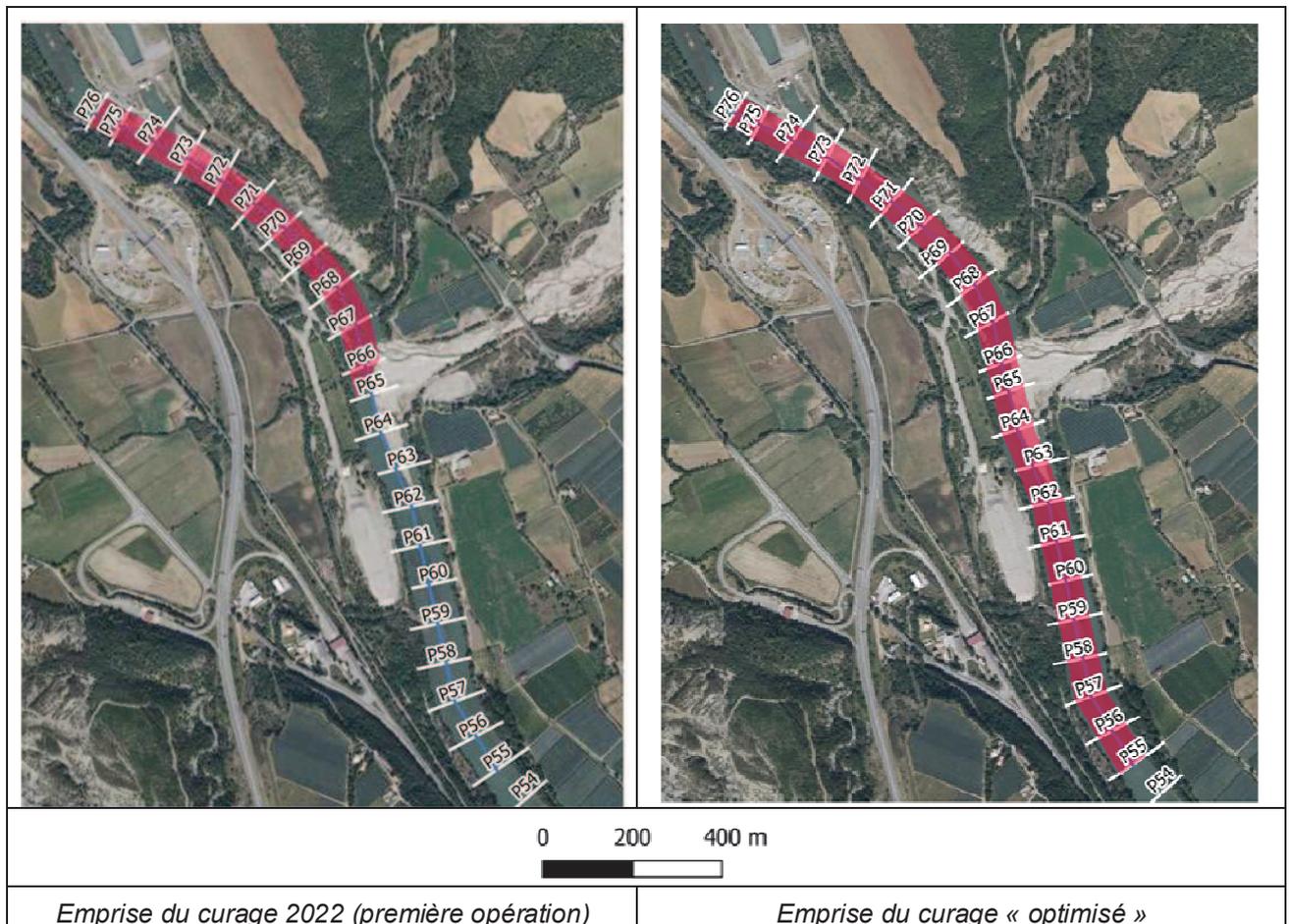


Figure 36. Emprise du projet de curage 2022 (première opération) et des fonds cibles (curage « optimisé »)

7.4.4 Analyses réalisées

Le modèle hydro-sédimentaire présenté au début de cette note a été utilisé pour évaluer le projet.

L'état initial de la modélisation est le fond post travaux de curage. La figure suivante présente le profil en long pour le projet de curage 2022. Le projet de fonds cibles du « curage optimisé » est aussi présenté. Le piège en Durance en amont du seuil est représenté.

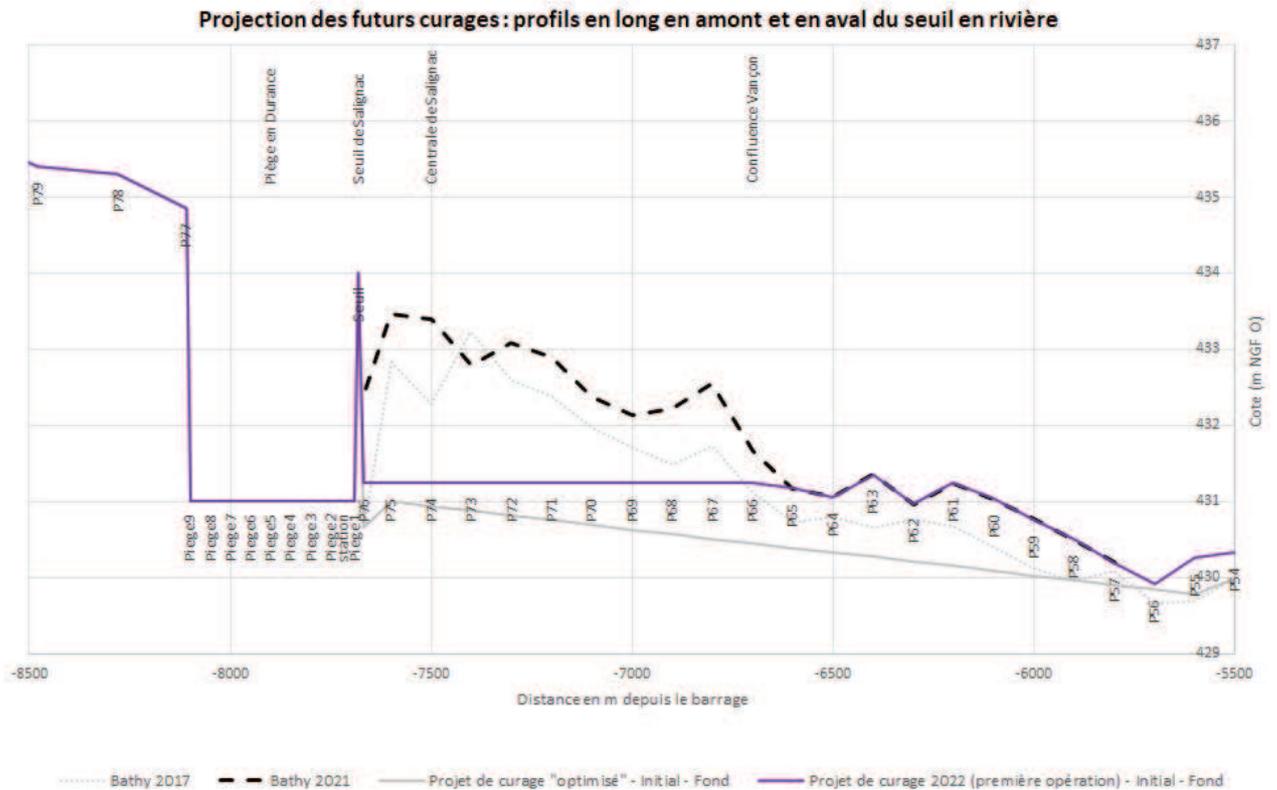


Figure 37. Profil en long du projet de curage 2022 (première opération) et du projet de curage optimisé.

Les simulations suivantes ont été effectuées pour évaluer le projet :

- Simulation de l'évolution des fonds sur 12 ans : la chronique 2011-2017 est simulée deux fois. Le piège à graviers est modélisé, et curé tous les deux ans (31/12/2012, 31/12/2014, 31/12/2016)
- Simulation de la crue centennale sur 3 états de fond :
 - Le fond juste après la réalisation du curage,
 - Le fond après 6 ans d'évolution,
 - Le fond après 12 ans d'évolution.

Les résultats suivants ont été analysés :

- L'évolution du profil en long après 6 et 12 ans
- La hauteur d'eau dans la Durance au droit de l'usine (profil P74),
- La charge maximale en crue centennale dans la Durance,

7.4.5 Evolution des fonds

La figure suivante présente les fonds après 6 ans et 12 ans, obtenus à partir des deux profils en long initiaux présentés ci-dessus (première opération de curage 2022 et fonds cibles).

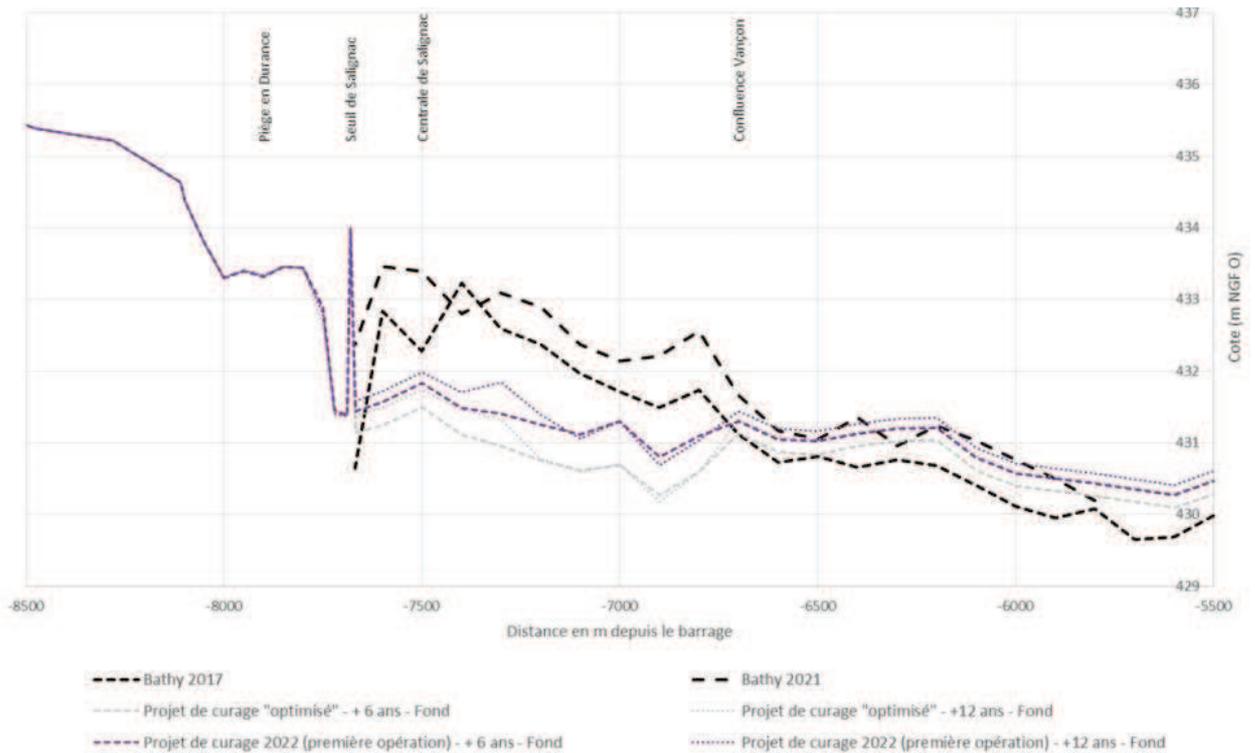


Figure 38. Evolution des fonds (profil en long) pour le projet de curage 2022 (première opération) après 6 et 12 ans. L'évolution des fonds est aussi présentée pour le curage optimisé (fonds cibles).

7.4.6 Ligne d'eau en Durance au droit de la centrale

La figure suivante présente la ligne d'eau dans la Durance au profil P74, au droit du canal de restitution de l'usine. Cette variable est un indicateur de la cote de l'eau à la sortie de l'usine, et donc du productible.

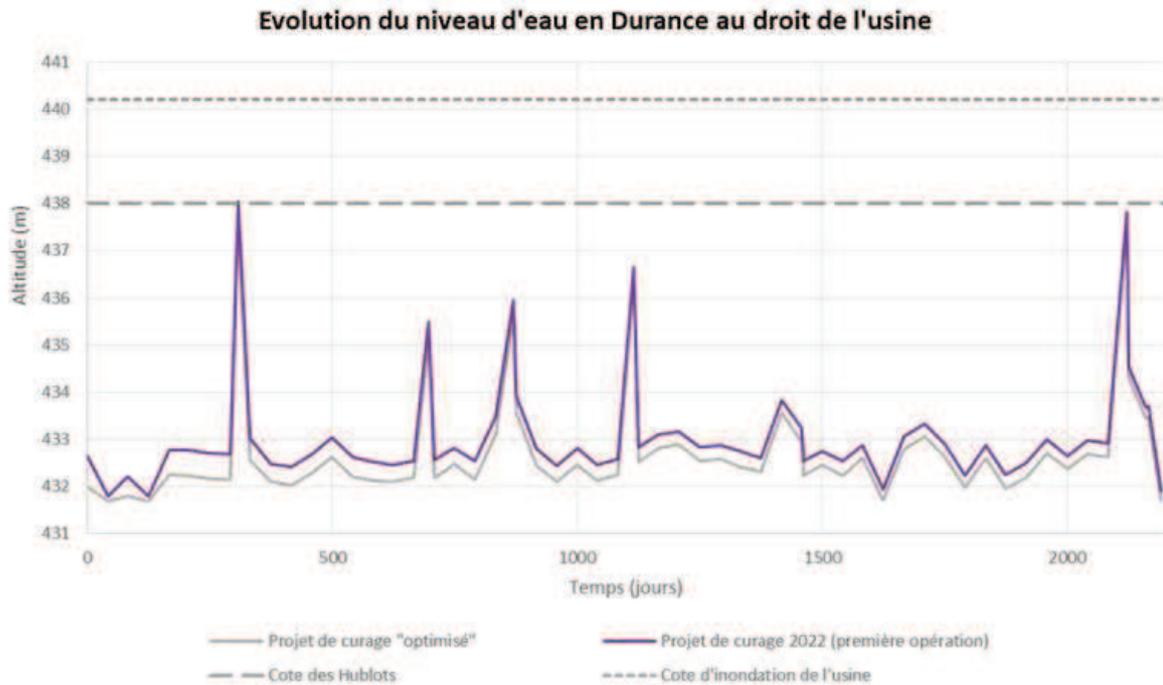


Figure 39. Niveau d'eau en Durance au profil P74, au droit du canal de restitution de l'usine pour le projet de curage 2022 (première opération) sur 6 ans. Le niveau est aussi présenté pour le curage optimisé (fonds-cibles).



Figure 40. Localisation du profil P74

7.4.7 Charge en crue centennale

La figure suivante présente la charge en crue centennale, modélisée à partir des fonds initiaux, des fonds après 6 ans, et des fonds après 12 ans, pour le projet de curage 2022, ainsi que pour les fonds-cibles. Les résultats sont comparés à la cote des hublots et au niveau d'inondation de l'usine (voir analyse du risque inondation au paragraphe 6.2.1).

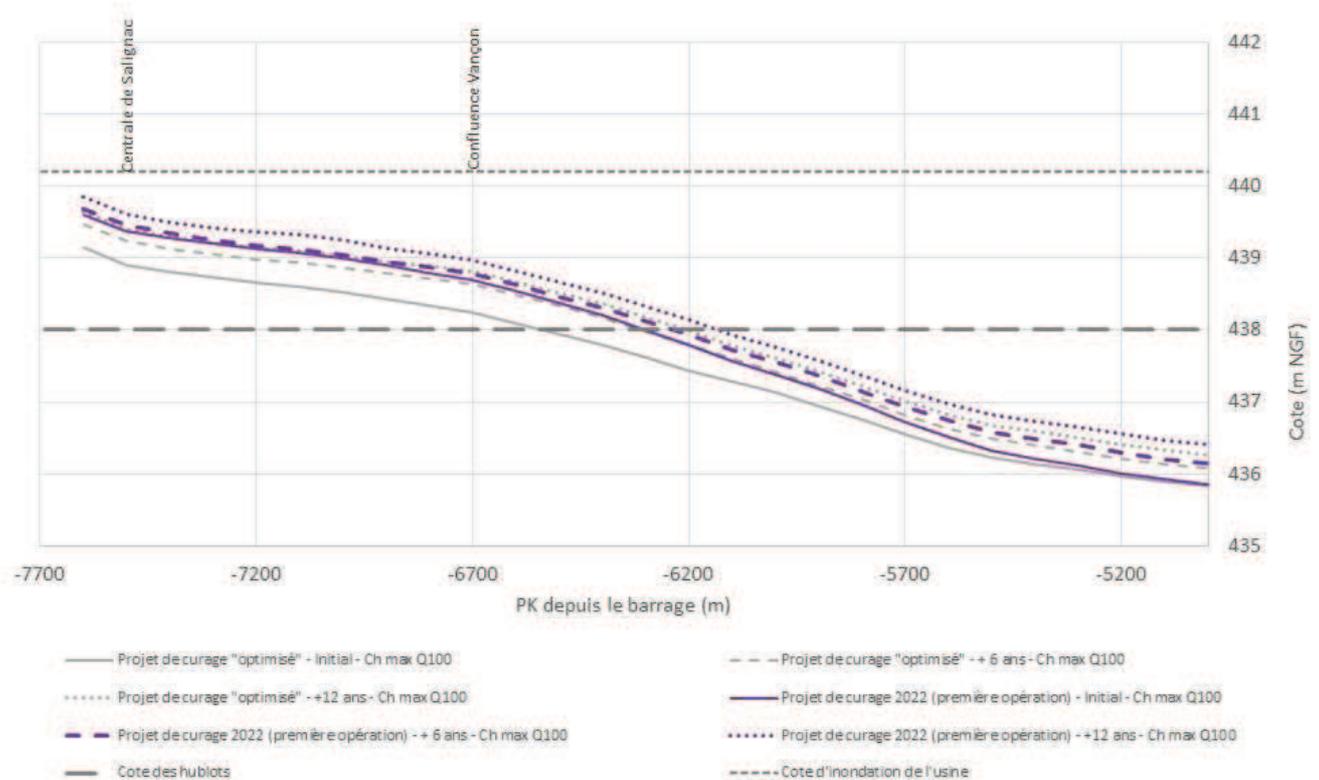


Figure 41. Charge en crue centennale au niveau de l'usine : modélisation à partir des fonds post curage, des fonds après 6 ans, et après 12 ans.

8. SYNTHÈSE

Il est important de noter que ces modélisations sont entachées d'une certaine incertitude et que les résultats sont des ordres de grandeur des évolutions du lit à attendre et des niveaux d'eau atteints en crue.

Il faut également noter que les modélisations ont été réalisées avec des apports moyens annuels; la survenue d'une crue entraînerait le remplissage des pièges et donc la nécessité de les curer juste après. Si la crue est importante en termes d'apports sédimentaires, les pièges ne seront plus suffisants et un transit sédimentaire passerait alors en Durance entraînant potentiellement un besoin de curage en aval du piège.

8.1 FONCTIONNEMENT DU SECTEUR D'ETUDE

Les modélisations hydrosédimentaires réalisées permettent de montrer que :

- les évolutions morphologiques du lit en queue de retenue se font pendant les crues mais également pendant les turbinés. Les périodes hors crue mais avec turbinés sont loin d'être négligeables du fait de la fréquence élevée de ces débits.
- des curages réguliers sont indispensables au regard des hypothèses retenues (niveau maximal acceptable au droit de la centrale de Salignac, débit et crue de référence) pour la protection de l'usine de Salignac contre les inondations en crue centennale.
- le niveau des fonds actuels (2017) n'entraîne pas l'inondation généralisée de l'usine de Salignac en crue centennale par contre le niveau se situe au-dessus des hublots.

8.2 ETUDE DE L'OPTIMISATION DES MODALITES DE CURAGES ET DE LA MISE EN PLACE DE PIEGES A GRAVIER SUR LA DURANCE ET SUR LE VANÇON

- le curage d'un volume plus faible que le curage réalisé en 2006 est possible tout en protégeant l'usine de Salignac en crue centennale. Toutefois ce curage optimisé limite la protection dans le temps car permet moins de stockage de nouveaux apports avant d'atteindre des niveaux inacceptables. Il doit donc être accompagné par la mise en place de pièges à graviers.
- Le piège sur la Durance en amont du seuil de Salignac est indispensable pour maintenir des niveaux de fond acceptables au droit de l'usine de Salignac. Il devra être curé tous les 2 ans environ.
- Le piège sur le Vançon apporte une protection supplémentaire mais il est compliqué à réaliser techniquement (abaissement du lit en amont ou création d'un infranchissable piscicole au niveau du seuil). Il apporte un bénéfice sur les niveaux d'eau en crue centennale mais joue peu sur les niveaux de fond au droit de l'usine. Par contre sa non réalisation entraîne un dépôt de matériaux en Durance, depuis la confluence du Vançon et vers le pont de Volonne. Ce dépôt devra être curé à terme.

8.3 PROJET DE CURAGE POUR 2022

Compte tenu des apports importants ces dernières années, et de la décision d'étaler les curages (contraintes opérationnelles et budgétaires), nous recommandons pour la réalisation d'une première opération de curage en 2022 un profil de curage aux caractéristiques suivantes:

- Réalisation du piège à gravier sur la Durance (pas de piège sur le Vançon), avec une cote de fond de 431.00 m,
- Curage à l'aval du seuil des profils P76 à P66, à une cote horizontale de 431.25 m.

Ce curage permet de limiter les niveaux d'eau en Durance en régime courant, et les niveaux de charge en crue, et de limiter le transfert de sédiments vers l'aval. Toutefois, il est moins performant et durable que le curage optimisé qui reste le fond cible. Il serait donc intéressant à terme d'atteindre le fond-cible par un ou d'autres curage(s) complémentaire(s), en plus de l'entretien régulier du piège à graviers.

La fréquence de curage du piège à graviers sera fonction des apports réels dans le piège et du niveau des fonds en amont (surveillance d'une éventuelle érosion régressive) et en aval du seuil (apports en Durance du fait d'un piège excessivement rempli). Une surveillance bathymétrique annuelle sera réalisée.

Afin de prendre en compte les apports de l'automne 2021 et du printemps 2022, sur la période comprise entre la date du dernier levé bathymétrique et la date de réalisation du curage, un levé topo-bathymétrique pré-travaux sera réalisé pour ajuster si besoin la cote ou volume de curage.