

SYNDICAT DES EAUX  
DU GANTET

---

CONFORTEMENT DU BARRAGE  
D'ECHANCIEUX

**Dossier PRO**  
**Pièce n°3**

**Fascicule Auscultation**

016 42487 | Jan.20 | v.1







Le Crystallin  
191/193 Cours Lafayette  
CS 20087  
69458 Lyon Cedex 06  
Email : [lyon@hydra.setec.fr](mailto:lyon@hydra.setec.fr)  
T : 04 27 85 48 80  
F : 04 27 85 48 81

Directeur de Projet

WWP

Chef de Projet / RA

QSG

N° affaire

016 42487

Fichier : 42487\_RAP\_PRO\_Piece-3\_Fascicule Auscultation\_v1.2.docx

V.	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
v.1	Jan.20	BZU	QSG	28	Première émission



## TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION .....	9
1.1	Présentation du barrage.....	9
1.2	Géométrie.....	12
1.3	Dispositif d'auscultation.....	13
2	ANALYSE.....	16
2.1	Synthèse des données d'auscultations antérieures .....	16
2.2	Période 2016-2019.....	20
2.3	Interprétation du comportement hydraulique de l'ouvrage et stabilité .....	26
3	CONCLUSIONS SUR LE COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE .....	29
4	PRECONISATIONS.....	30

## ANNEXES

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

### TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Vue amont et aval du barrage	9
Figure 2 : Caractéristiques géométriques de l'ouvrage telles que connues de l'administration	12
Figure 3 : Courbes Z-V et Z-S actualisées 2018	13
Figure 4 : plan du dispositif d'auscultation et fréquence des relevés (consignes écrites, BRLe)	14
Figure 5 : tête de piézomètre (source hydratec) et coupe (source Consignes écrites BRLe)	14
Figure 6 : niveaux piézométriques 2009-2010 - cote plan d'eau et pluviométrie	16
Figure 7 : Fuites 2009-2011 - cote plan d'eau et pluviométrie	17
Figure 8 : niveaux piézométriques 2011-2015 - cote plan d'eau et pluviométrie	17
Figure 9 : Fuites 2011-2015 (RD en Rouge) - cote plan d'eau et pluviométrie	18
Figure 10 : conclusions du rapport 2015 sur la piézométrie	19
Figure 11 : analyse de l'évolution des piézomètres	21
Figure 12 : comparaison du comportement en 2009 et en 2017, pour des variations de plan d'eau similaires	21
Figure 13 : Corrélation Cote PE – Piezométrie : relevés à gauche et simulation à droite	22
Figure 14 : Chronique piézométrique simulée à partir de la chronique de cote plan d'eau (modèle d'après Bonelli, 2008)	23
Figure 15 : débits de fuite et cote plan d'eau (2016-2019)	24
Figure 16 : corrélation fuites RG / Cote PE	25
Figure 17 : corrélation fuites RD / Cote PE	25
Figure 18 : Ecoulement interne à RN dans l'état nominal (sans dégradation des joints) : piezo à -3m sous la cote PE – Q 7l/mn	26
Figure 19 : Ecoulement interne à RN dans l'état dégradé : piezo à -1.3 m sous la cote PE – Q 15l/mn	26
Figure 20 : Ecoulement interne à RN-1.7 m dans l'état dégradé : piezo à -2.5 m sous la cote PE – Q 5 l/mn	27
Figure 21 : Ecoulement interne à RN dans l'état d'origine : piezo à -6 m sous la cote PE – Q quelques l/mn	27
Figure 22 : Coefficient de sécurité calculé pour la situation normale d'exploitation (après application des coefficients partiels CFBR)	28

## **Documents de référence**

Les références bibliographiques de l'étude BRL (2015) sont rappelées ci-dessous :

- [1]** Rapport de la Direction Générale des eaux et forêts (GREF), 1938
- [2]** Mémoire explicatif, 15/01/1946
- [3]** Règlement d'eau, 1959
- [4]** Annexe 1, Décret d'utilité publique (DUP), sur les travaux d'alimentation en eau potable, 30/05/1950
- [5]** Décret sur la sécurité des ouvrages hydrauliques, Décembre 2007,
- [6]** Plan du barrage + photos
- [7]** Plan d'ensemble
- [8]** Compte-rendu de la visite du 11 juillet 2008
- [9]** Rapport diagnostic, 08CLS005, version 1, Safege, septembre 2008
- [10]** Dossier de Consultation des entreprises « travaux de curage et de consolidation de la retenue AEP d'Echancieux, Septembre 2008
- [11]** Etude hydrologique, Safege, 2008
- [12]** Rapport diagnostic complémentaire, 08CLS005, version 1, Safege, juin 2009
- [13]** Rapports de surveillance, 2009 – 2010
- [14]** visites techniques approfondies, 20 juin 2012
- [15]** relevé topographique de la retenue, 2015
- [16]** Rapport DREAL, 27 janvier 2015
- [17]** Etude hydrologique révisée, BRL Ingénierie, 2015

Auxquelles on ajoute :

- [18]** Plan topographique et bathymétrique, cabinet PIGEON et SATIF SA, 2018
- [19]** Stabilité de la route – digue, référence CV/KT – 11016/08 CLS, Safege, novembre 2008
- [20]** Rapport de diagnostic, rapport final, Setec Hydratec, Août 2018
- [21]** Rapport de stabilité et de reconnaissances géotechniques, Hydrogéotechnique, en cours de rédaction
- [22]** Identification des Impacts de l'Application de l'Article L214-18 du Code de l'Environnement concernant l'augmentation au 01/04/2014 des débits réservés à l'aval des ouvrages, sur les ressources en eau potable superficielles du département de la Loire, DDAF Loire, janvier 2010
- [23]** Courrier de la DDT Loire ayant pour objet le débit minimum biologique de la prise d'eau du barrage d'Echancieux, février 2011
- [24]** Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai, Comité Français des Barrages et Réservoirs, octobre 2015
- [25]** Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages, CFBR, juin 2013
- [26]** Recherche de l'éventuelle présence de zones de vides et d'hétérogénéités sous le parement béton d'un barrage, Rapport Setec LERM N° 18.43937.001.01.A – 16 NOVEMBRE 2018

## **Liste des acronymes**

- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- DDT : Direction Départementale des Territoires
- CFBR : Comité Français des Barrages et Réservoirs
- BETCGB : Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages
- RD : rive droite
- RG : rive gauche
- TN : Terrain Naturel
- PRV : Polyester Renforcé de fibres de Verre
- VF : vidange de fond
- PE : prise d'eau
- PRO : phase projet
- AVP : phase avant-projet
- DIAG : phase diagnostic
- RN : retenue normale
- PHE : plus hautes eaux
- PHEE : plus hautes eaux exceptionnelles
- EVC : évacuateur de crues
- GTR : guide des terrassements routiers
- MOA : Maître d'Ouvrage
- MOE : Maître d'œuvre
- SAUR : Société d'Aménagement Urbain et Rural



# 1 INTRODUCTION

## 1.1 PRESENTATION DU BARRAGE

### 1.1.1 Construction

Le barrage d'Echancieux (ou Echansieux) est un barrage en remblai homogène à masque amont étanche construit en 1951.

Il est alimenté par le cours d'eau du Gantet, et est utilisé comme retenue d'eau potable par le maître d'ouvrage : le Syndicat des Eaux du Gantet, qui assure également la distribution de l'eau.



*Figure 1 : Vue amont et aval du barrage*

L'ouvrage est situé à une altitude d'environ 640 m NGF, dans un bassin versant rural boisé et pâturé.

D'après [1], dans sa construction initiale, l'ouvrage mesurait 6 m de hauteur environ, pour 35 000 m<sup>3</sup> avec une crête à 654.40 m NGF (déversoir à 653.40 m NGF). La conception prévoyait un masque amont en béton, descendu au rocher et muni d'un parafouille.

La mise en place d'un masque était motivée par des suspicions de perméabilités assez élevées des matériaux en place du sous-sol (devant servir à la constitution de la digue).

Le projet prévoyait des prélèvements de matériaux directement dans la retenue pour réaliser la digue principale, en couches compactées de 0.40 m.

Le masque amont projet était mince, dosé à 300 kg de ciment par m<sup>3</sup>, et ferrailé avec un treillis de diamètre 6mm, espacement 15 cm.

Deux déversoirs de surface étaient prévus, à chaque extrémité de la digue, et fondés au rocher.

En 1959, l'ouvrage fut rehaussé selon des modalités inconnues.

Il est aujourd'hui exploité par la SAUR, qui assure également les relevés d'auscultation.

### 1.1.2 Horizons rencontrés et caractéristiques

Voici l'analyse lithologique obtenue dans le corps du barrage :

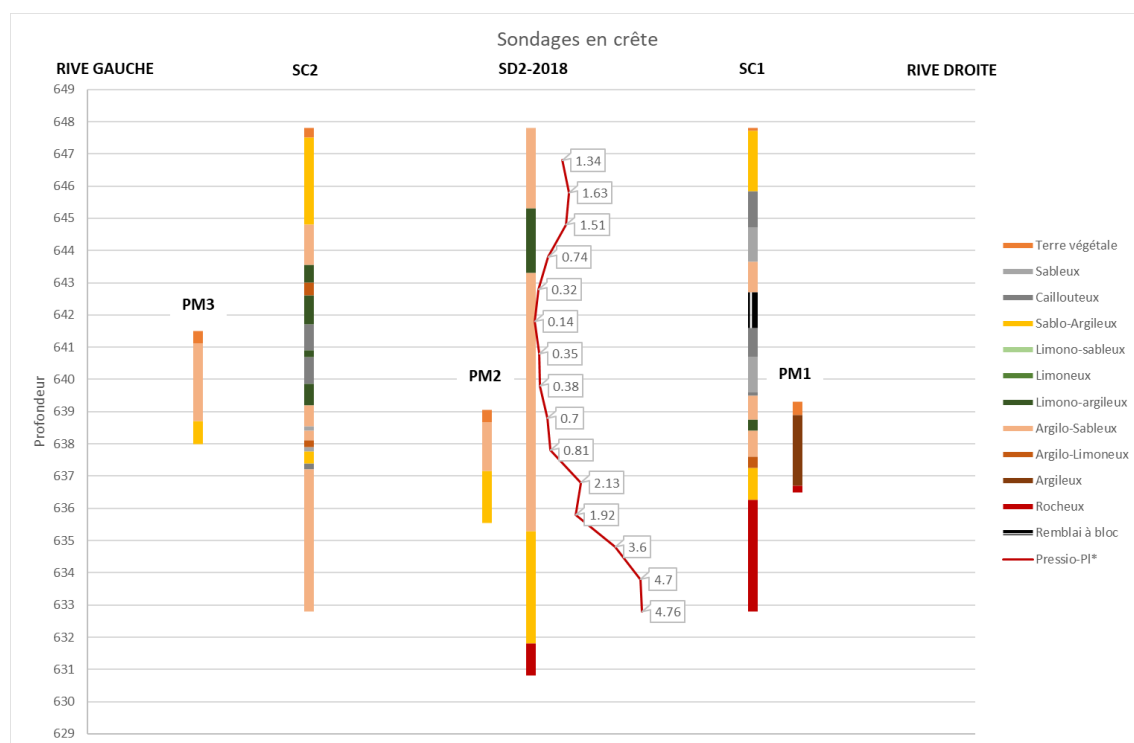


Figure 2 : synthèse des sondages réalisés

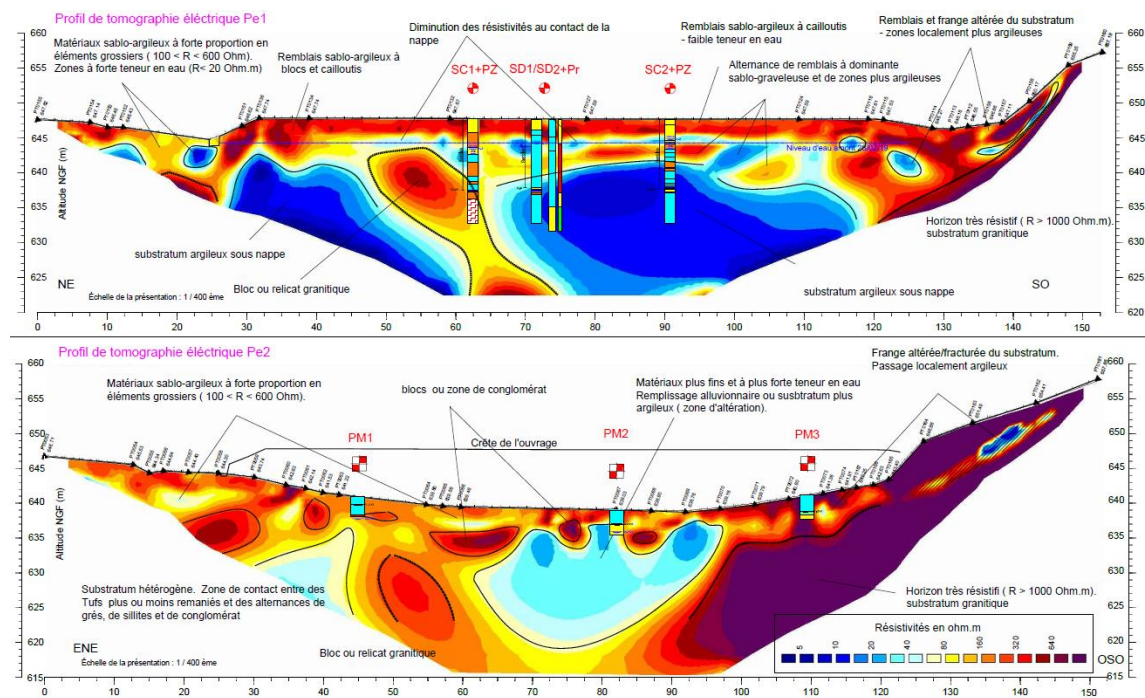


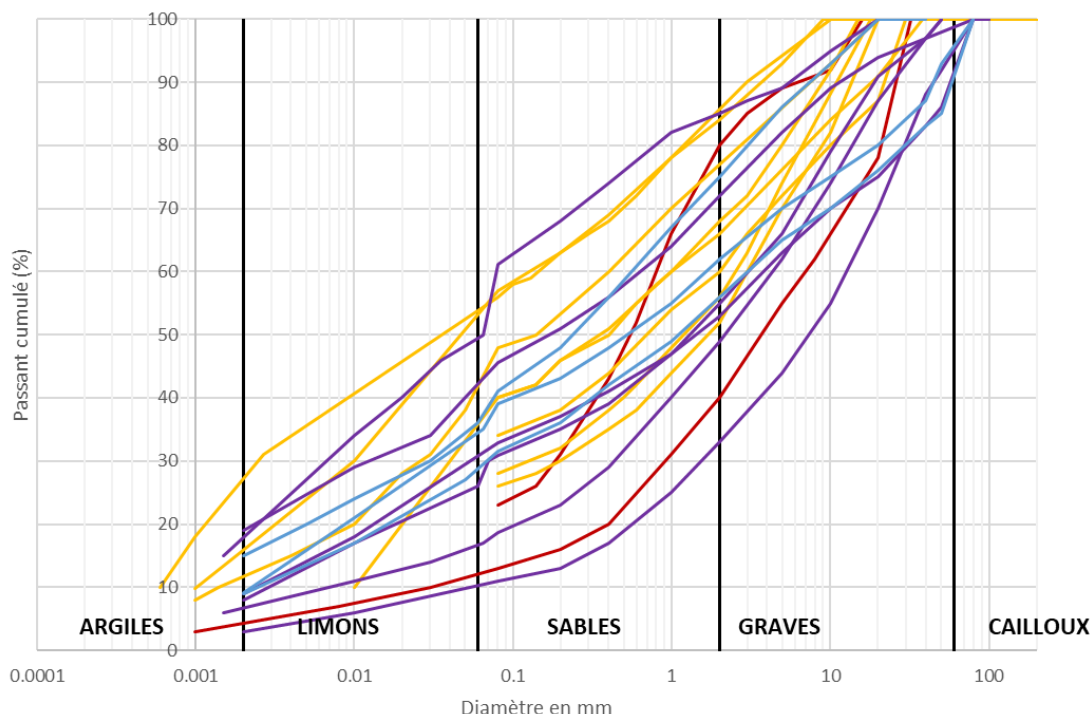
Figure 3 : profils des panneaux électriques (NB : Rive droite à l'abscisse 0)

La fondation du barrage est une zone de contact entre un substratum argileux sous nappe, retrouvé en rive droite jusqu'au 2/3 du barrage, et un substratum granitique en rive gauche.

La zone de contact est altérée, avec la présence de reliquats/conglomérats granitiques, de matériaux fins et aquifères.

Ainsi, aucun sondage n'atteint le substratum granitique, les horizons rocheux atteints dans SC1 et PM1 et SD2 semblant issus de conglomérats de la zone de contact.

Les courbes granulométriques des échantillons réalisés sont synthétisées ci-dessous.



<ul style="list-style-type: none"> <li>SC02_1060-1135</li> <li>SC02_955-970</li> </ul>	Fondation argilo-sableuse grossière à cailloux
<ul style="list-style-type: none"> <li>SC03_260-310</li> <li>SC03_075-100</li> <li>SC02_740-795</li> <li>SC02_545-610</li> <li>SC02_350-425</li> <li>SC01_830-905</li> <li>SC01_340-415</li> <li>SC01_160-195</li> </ul>	Matériaux du remblai du barrage : matériaux fins hétérogènes sablo-argileux à limono-sableux avec des proportions de fines <80µm comprises entre 25 et 55 % et des teneurs en argiles entre 10 et 28 %. Les matériaux sont bien gradués.
<ul style="list-style-type: none"> <li>PM1_1.3-2m</li> <li>PM2_1.4m</li> <li>PM2-2.6m</li> <li>PM3-1.4m</li> <li>PM4-1.8m</li> <li>PM5-1.2m</li> </ul>	Matériaux prélevés en pied aval, caractéristiques de la fondation du barrage actuel et de la fondation de la future recharge aval. On retrouve deux horizons assez distincts : des limons sableux à forte teneur en fines et des argilos-sableux grossiers semblables à ceux identifiés en fond de SC2 ?
<ul style="list-style-type: none"> <li>PM6-1.5m</li> <li>PM7-1.5m</li> <li>PM8-1.2m</li> </ul>	Ces trois sondages sont caractéristiques des emprunts qui seront réalisés dans la retenue pour l'érection de la recharge aval. Les matériaux sont très semblables aux matériaux de remblai du barrage quoique plus grossiers, avec des teneurs en fines proches de 30%.

Figure 4 : Analyse granulométrique des matériaux

Les matériaux caractéristiques du remblai présentent une cohésion mesurée de 10 à 20 kPa, sauf dans une passe limoneuse molle du SC2, non retrouvée sur les autres sondages.

Les essais de perméabilité dans le remblai conduisent à des valeurs de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s, diminuant en profondeur, tandis que les horizons argilo-sableux de fondation sont moins perméables ( $10^{-9}$  à  $10^{-10}$  m/s).

## 1.2 GEOMETRIE

Les caractéristiques connues de l'administration, sont celles établies dans l'étude hydrologique de BRL [17]

Barrage en remblai	
Cote de la crête	657.37 m NGF (cote mini : 657.29 m NGF, cote maxi : 657.45 m NGF)
Niveau de la RN	656.45 m NGF
Cote du point bas	647.02 m NGF
Cote des Plus Hautes Exceptionnelles [11]	657.58 m NGF
Hauteur au-dessus du TN	10.43 m
Surface du plan d'eau	0.02 km²
Volume de la retenue à 656.45 m NGF [11]	65 000 m³
Volume de la retenue à 656.45 m NGF [16]	80 000 m³
Volume de la retenue à 656.40 m NGF [3]	80 000 m³
Longueur de la crête	149.55 m
Largeur de la crête	3.20 m
Fruit du parement amont	~ 1,57H/1V
Fruit du parement aval	~ 1,44H/1V

Figure 5 : Caractéristiques géométriques de l'ouvrage telles que connues de l'administration

Cependant, le récent relevé topographique et bathymétrique sur l'ouvrage conduit à réviser l'ensemble de ces données comme suit :

Donnée géométrique	Ancien	Actualisé 2018
Cote de la crête	moyenne : 657.37 mini : 657.29 maxi : 657.45	moyenne : 647.65 mini : 647.54 maxi : 647.81
Niveau de la RN	656.45	646.77
Cote du déversoir	656.45	646.77
Cote du point bas	647.02	637.1
Hauteur au-dessus du TN	10.43 m	10.01 m
Fruit aval	3H/2V	3H/2V
Volume à RN	variable selon sources	66 000 m³

On constate un décalage d'environ 9.7 m d'altitude entre le nivellement de 1986 et l'actuel relevé topographique réalisé par PIGEON.

Les nouveaux relevés bathymétriques et topographiques ont permis d'actualiser les courbes caractéristiques de la retenue, présentées figure suivante :



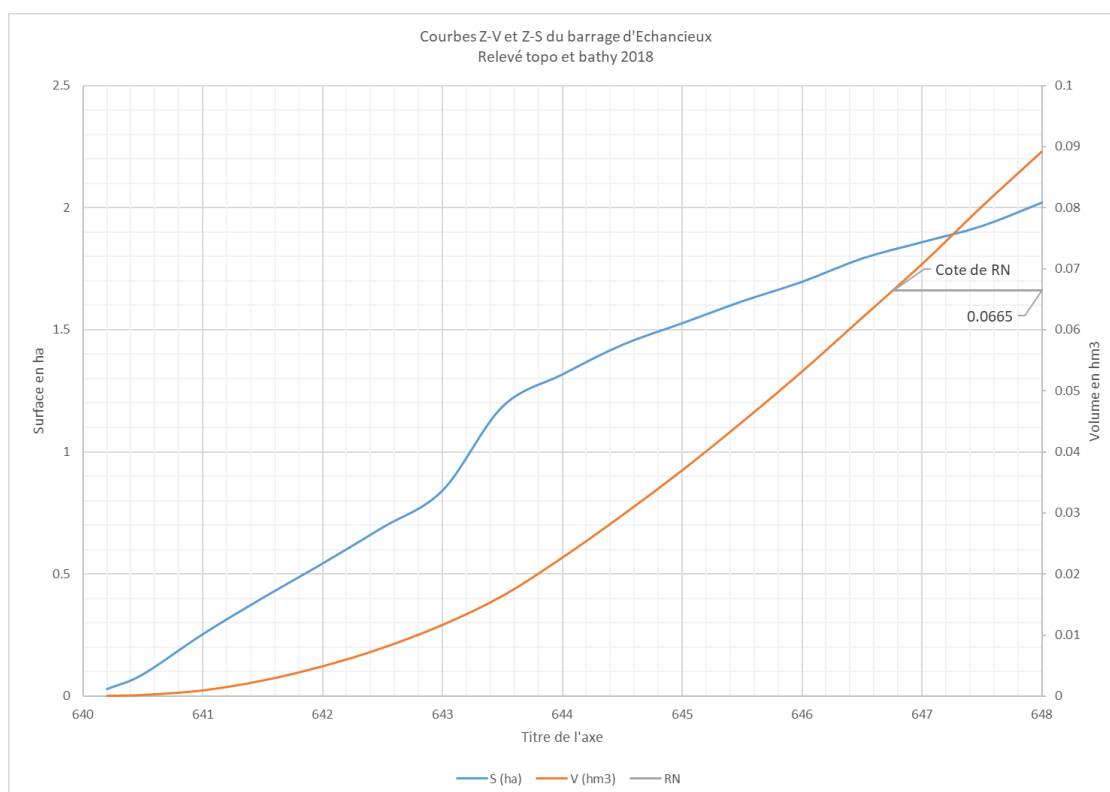


Figure 6 : Courbes Z-V et Z-S actualisées 2018

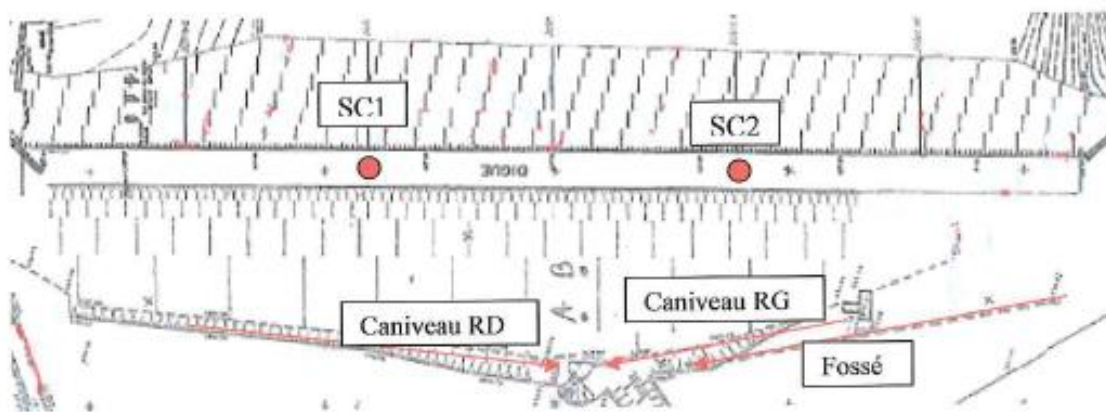
Les relevés confirment ainsi le volume annoncé dans [11].

Le volume de 80 000 m3 est quant à lui atteint à la cote 647.50, soit à la cote de crête.

### 1.3 DISPOSITIF D'AUSCULTATION

Le barrage est équipé des dispositifs suivants :

	INSTRUMENT	FREQUENCE	INTERVENANT
<b>Charge hydrostatique</b>	Sonde de pression (Echelle limnimétrique –en projet)	Tous les mois (mesure équipée d'une relève en continu)	Exploitant
<b>Pluviométrie, Température</b>	Pluviomètre à la station de traitement des eaux	Mensuelle (récupération des données de la station météo)	Exploitant
<b>Débit de fuite</b>	2 points de mesure des fuites globales (caniveaux) +1 apport de fossé externe (déduit)	Tous les mois	Exploitant
<b>Piézométrie</b>	2 piézomètres : SC1(RD) : altitude : 657.47 SC2 (RG) : altitude : 657.3	Tous les mois	Exploitant
<b>Topographie</b>	Pas de mesure à ce jour.		



Plan d'implantation des Piezo et caniveaux .

Figure 7 : plan du dispositif d'auscultation et fréquence des relevés (consignes écrites, BRLe)

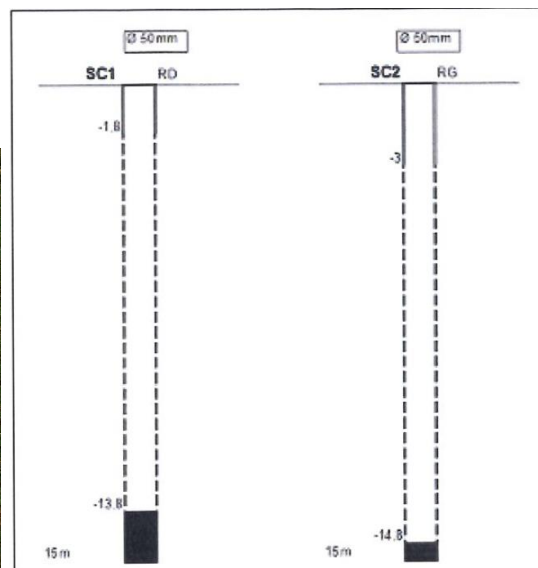


Figure 8 : tête de piézomètre (source hydratec) et coupe (source Consignes écrites BRLE)

### 1.3.1 Piézomètres

Dans ce fascicule, les cotes altimétriques sont données dans l'ancien référentiel. Une différence d'environ 9,7 m est à appliquer.

Deux piézomètres ont été installés en juin 2009 depuis la crête du barrage, crépinés toute hauteur :

- SC1 – piézo n°1 en rive droite, tête à 657,47 (ancien référentiel), soit 647,79
- SC2 – piézo n°2 en rive gauche, tête à 657,3 (ancien référentiel), soit 647,62

### 1.3.2 Mesures débits de fuite

Les débits de fuite sont collectés dans deux caniveaux :

- L'un en rive droite, recueillant les fuites de rive droite
- L'autre en rive gauche collectant les fuites RG et un fossé avec les apports du BV

Le débit du fossé est déduit de la mesure du caniveau afin de ressortir les fuites de l'ouvrage.

Les documents de la construction et rapports d'étude antérieurs ne permettent pas d'établir la présence d'un quelconque réseau de drainage dans l'ouvrage. Les débits mesurés dans les caniveaux sont donc des résurgences de pied aval.

Le talus aval est généralement imbibé sans être suintant. Certaines visites relèvent des points de résurgences préférentiels.

### 1.3.3 Opérateurs

Les données d'auscultation sont recueillies par l'exploitant : la SAUR, et archivées par le cabinet BrLe.

## 2 ANALYSE

### 2.1 SYNTHÈSE DES DONNÉES D'AUSCULTATIONS ANTERIEURES

Les données d'auscultation, de 2009 à 2015, ont été analysées par le cabinet **BRLe** dans deux rapports d'auscultation, en 2012 puis 2015.

Elles sont ré-interprétées dans ce fascicule à la lumière des modélisations et investigations réalisées pour les besoins du projet de confortement.

#### 2.1.1 Période post travaux d'étanchéification : 2009-2011

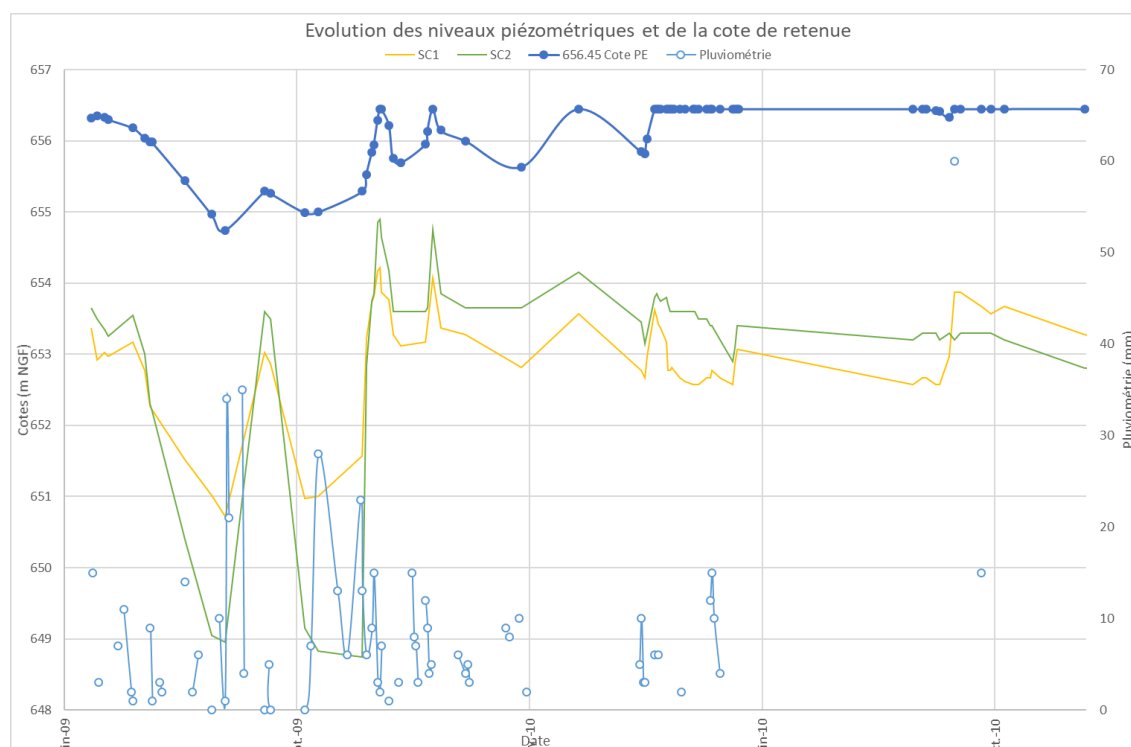


Figure 9 : niveaux piézométriques 2009-2010 - cote plan d'eau et pluviométrie

Les niveaux piézométriques sont observés à 3 m environ sous la cote du plan d'eau, avec des pics à -2m lors des montées brutales du plan d'eau, associées à des pluies.

Jusqu'en mai 2010, la piézométrie de RG (PZ2), est plus haute qu'en RD (PZ1) puis la tendance s'inverse.

Dans le même temps, les débits de fuite mesurés présentent des variations importantes, avec des pics à 75 et 125 l/mn en rive gauche. Les corrélations avec la piézométrie ou la pluie ne peuvent être établies à cause de données trop parcellaires (non concomitance des mesures).



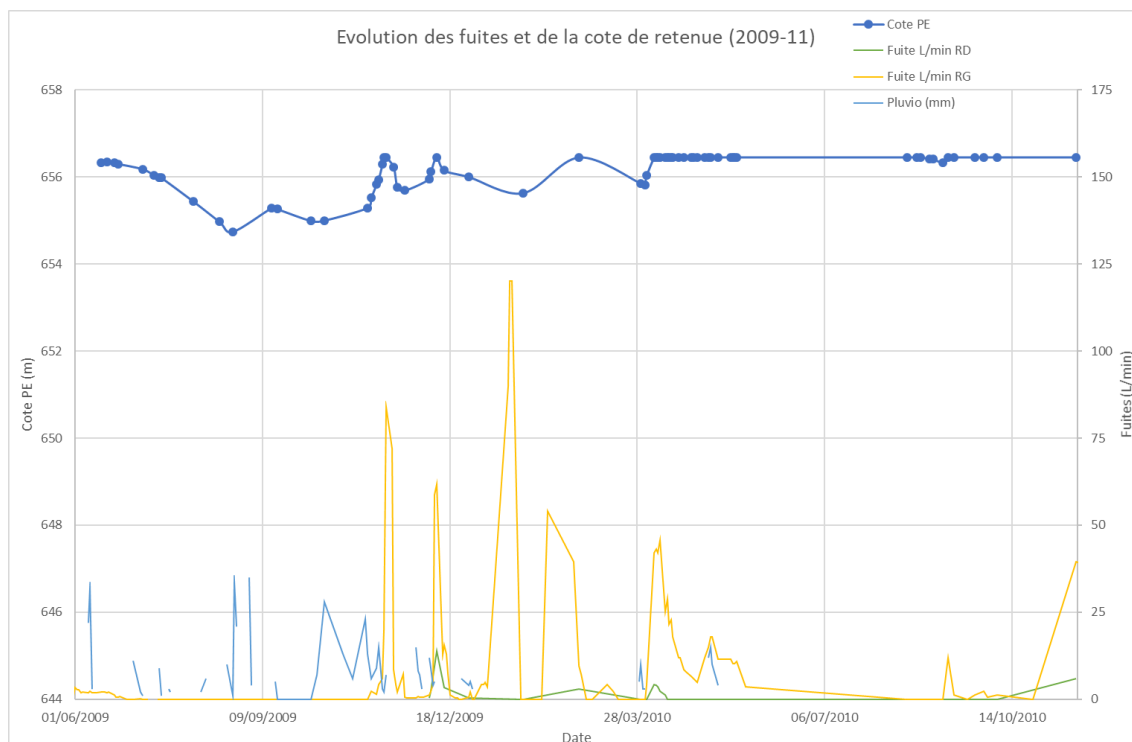


Figure 10 : Fuites 2009-2011 - cote plan d'eau et pluviométrie

### 2.1.2 Période 2011-2015

La période est marquée par un plan d'eau stable, et une piézométrie lentement décroissante entre la reprise des mesures en 2011 et la chute du plan d'eau observée en octobre 2014.

Le rapport d'auscultation 2015 ne commente pas l'évolution de la piézométrie sur cette période.

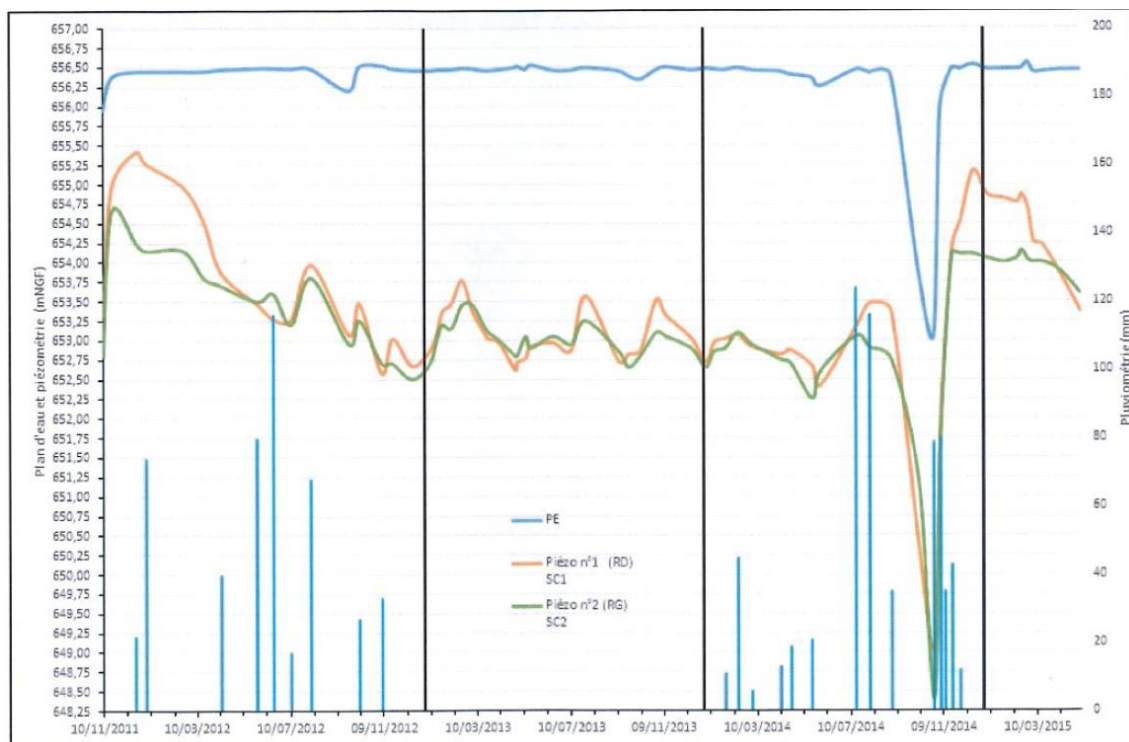


Figure 11 : niveaux piézométriques 2011-2015 - cote plan d'eau et pluviométrie

On note que le premier pic observé en 2011 à la reprise des mesures correspond à une rehausse assez rapide du plan d'eau (mais le début de la courbe est manquant), combinée avec une pluviométrie conséquente. Le pic atteint -1.03 m en RD et -1.70 m en RG.

Par la suite, les oscillations piézométriques semblent plutôt liées aux pics pluviométriques, avec une valeur moyenne s'établissant autour de -3 m par rapport au plan d'eau. Lors de la chute du plan d'eau en octobre 2014, la réaction piézométrique est immédiate et rapide. La remise en eau, qui s'effectue dans des conditions météorologiques pluvieuses, provoque une remontée piézométrique similaire à celle observée à la reprise des mesures en 2011, avec des niveaux atteignant -1.5 m en RD et -2.5 m en RG.

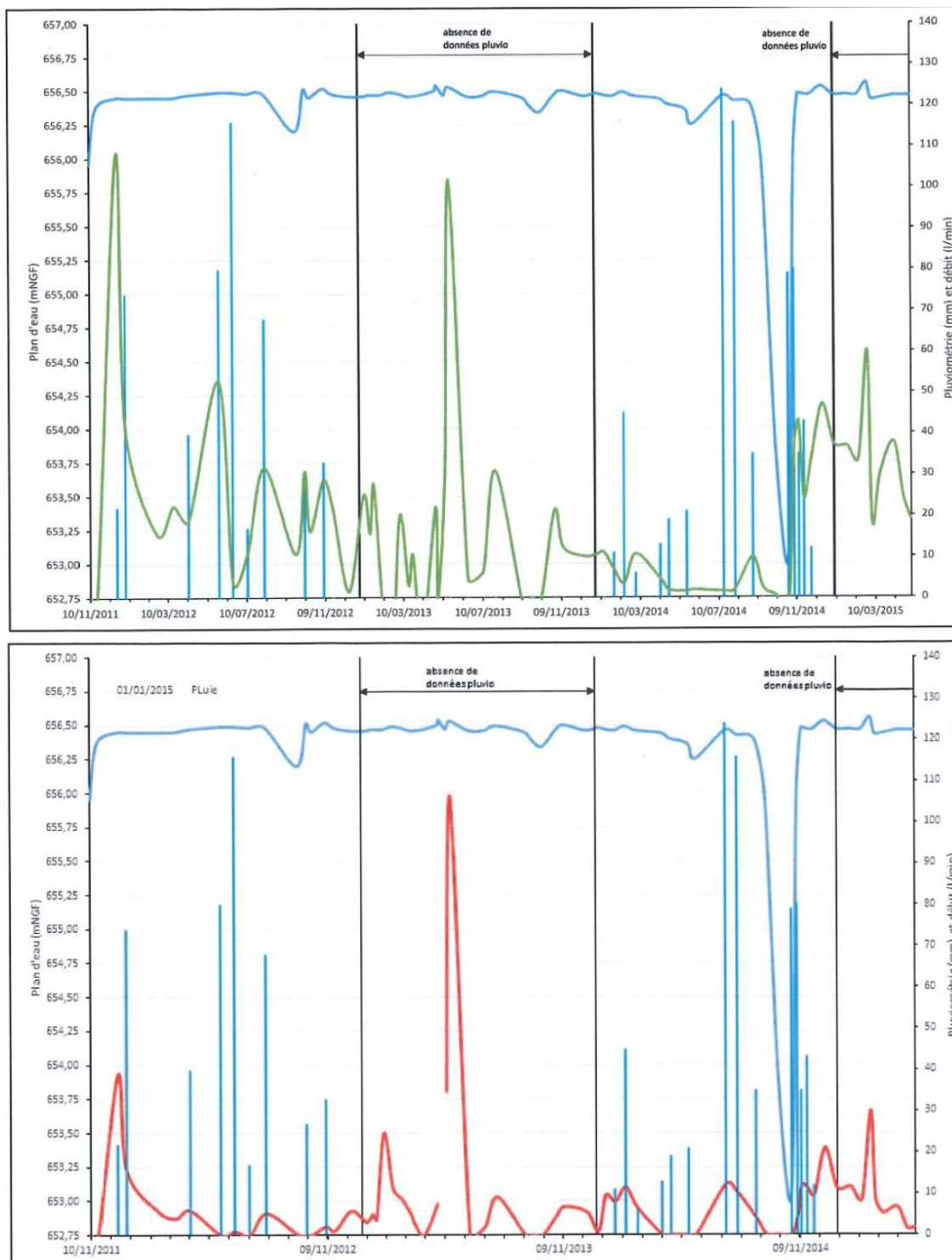


Figure 12 : Fuites 2011-2015 (RD en Rouge) - cote plan d'eau et pluviométrie

Sur le plan des débits de fuite, la période se caractérise par des niveaux moyens plutôt faibles (inférieurs à 10l/mn en RD et 30 l/mn en RG), influencés par les montées de plan d'eau et la pluviométrie. Les pics sont plus intenses lorsque la cote de plan d'eau est élevée.

Après la remise en eau de novembre 2014, le débit de fuite s'établit à un niveau moyen plus élevé qu'antérieurement, et reste sensible aux montées du plan d'eau.

Les mesures pluviométriques ne sont plus disponibles à partir de cette période.

### 2.1.3 Rappel des conclusions du rapport d'auscultation 2015

Sur la piézométrie :

- ✓ D'une manière générale, le niveau piézométrique peut être considéré comme élevé au sein du remblai et qu'il convient de réévaluer le niveau de sureté hydraulique du barrage ;
  - ✓ Les fluctuations de la piézométrie ne semblent être influencées que par le niveau de retenue amont ;
- 
- ✓ La différence entre niveau de nappe piézométrique et cote de retenue a été relevée à de nombreuses reprises supérieure à -2 m lors de la période analysée, 12 fois pour SC1 (RD) et 8 fois pour SC2 (RG).  
Ce dépassement est survenu chaque hiver de la période étudiée. Il faudrait vraisemblablement revoir ce critère ;
  - ✓ Dans un premier temps, juste après les travaux, la piézométrie rive gauche était plus élevée que la piézométrie rive droite.  
Ce constat n'est plus d'actualité depuis le 19/08/2010, la tendance actuelle étant à une piézométrie plus élevée en rive droite, ce qui peut indiquer une modification du comportement hydraulique de l'ouvrage
- Ces différentes observations semblent indiquer une efficacité médiocre de l'organe d'étanchéité amont.
- Enfin, la présence d'eau dans les regards peut impacter les mesures et mener à de fausses interprétations. Il est primordial de sécuriser et vérifier ces points de mesure à court terme. Des tests de vidange sont également préconisés.

Figure 13 : conclusions du rapport 2015 sur la piézométrie

Sur les débits de fuite

- ✓ Avant les travaux de 2008-2009, les débits de fuites du barrage étaient directement liés aux fluctuations de la retenue et aux précipitations ;
- ✓ D'une manière générale, la pluviométrie a une influence importante sur ce type d'appareil ausculté. La fréquence de levé mensuelle, lorsqu'elle est maintenue, ne permet pas une analyse plus précise et complète de cette influence.
- ✓ La réduction des débits de fuite mesurés après travaux de réfection de l'étanchéité du parement amont n'aura été semble-t-il que temporaire.  
Cette affirmation est néanmoins à nuancer, dans la mesure où une modification du suivi des appareils pourrait impacter cette analyse.
- ✓ Une modification du comportement hydraulique de l'ouvrage semble apparaître entre les mois d'octobre et novembre 2014, de manière consécutive à un abaissement de la retenue. Un phénomène de dessiccation des matériaux ou de mouvement relatif du masque amont pourrait être à l'origine de ce type de phénomène du fait de nouvelles possibilités de circulation d'eau.

#### 2.1.4 Commentaires sur les mesures et conclusions antérieures

Le barrage présentant une faible capacité de stockage et des dispositifs de vidange de faible débitance, la cote du plan d'eau réagit très rapidement aux augmentations de débit dans le Gantet et donc à la pluviométrie. Les nombreuses interruptions de mesures de la pluviométrie et des débits de fuite ne permettent pas de différencier une sensibilité du dispositif à la pluviométrie ou une réelle influence du plan d'eau sur les paramètres auscultés.

Jusqu'à la vidange de l'automne 2014, l'ensemble des paramètres (piézo + fuites), suit une tendance baissière.

La remise en eau après cette vidange provoque une réaction piézométrique similaire à celle observée en début de chronique en 2011, avec toutefois une piézométrie légèrement plus faible et des fuites moins importantes.

La conclusion de **BRLe** sur une éventuelle modification du comportement de l'ouvrage nous semble donc peu étayée sur la base de ces seules données.

## 2.2 PERIODE 2016-2019

#### 2.2.1 Faits marquant de l'exploitation

- Sur cette période, les mesures pluviométriques ne sont pas disponibles.
- En décembre 2018, la cote d'exploitation est abaissée à 655 m NGF (ancien référentiel) sur consigne du service de contrôle. Compte tenu de la faible capacité des ouvrages de vidange, cette cote est toutefois difficile à tenir pour l'exploitant.
- Par rapport à la période 2011-2015, la période d'exploitation sont marquées par des fluctuations importantes du plan d'eau, avec deux épisodes de baisse du plan d'eau) l'automne 2017 (RN-4m) et 2018 (RN-7m).
- Le déficit hydrique est marqué et le barrage est rarement plein.

## 2.2.2 Mesures piézométriques

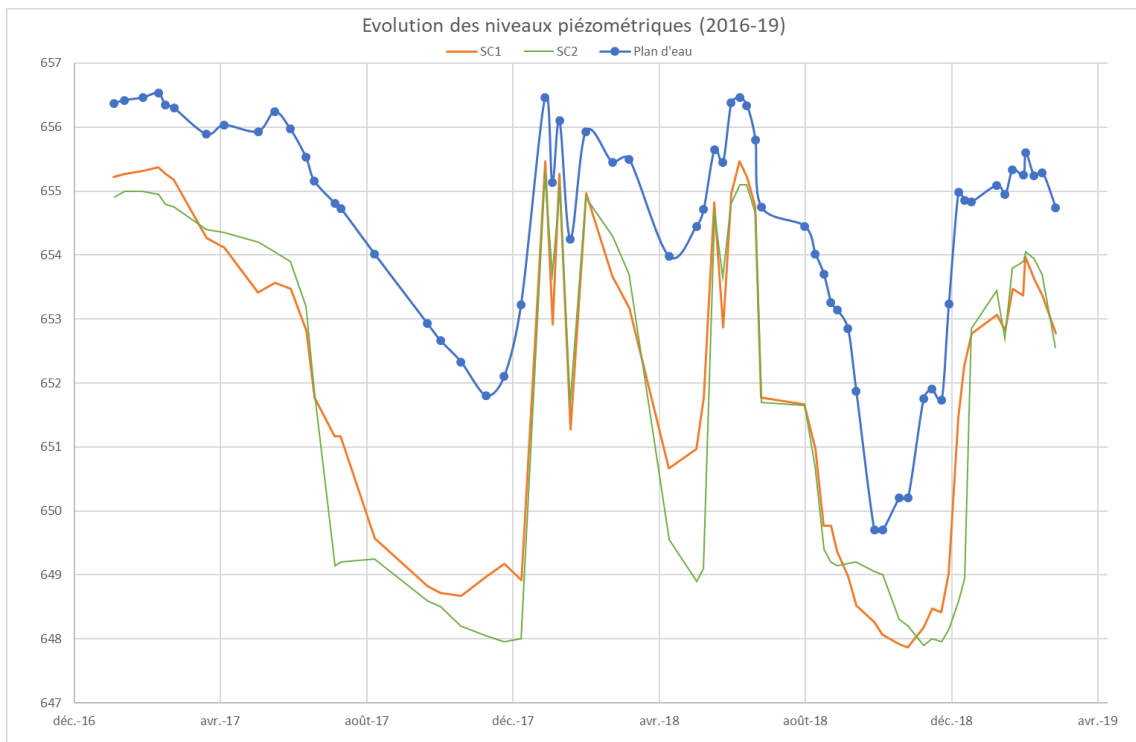


Figure 14 : analyse de l'évolution des piézomètres

Le niveau des piézomètres SC1 et SC2 est proche et à environ 1.4 m sous la cote de retenue à retenue haute et entre 1 m et 3 m à retenue basse. Quatre pics piézométriques s'établissent à 1m sous la cote d'eau, ce qui n'avait jamais été constaté sur les périodes précédentes.

Il est intéressant de comparer les deux chroniques suivantes, Juin-Dec 2009 et Dec-Jui 2017, car les variations du plan d'eau sont similaires.

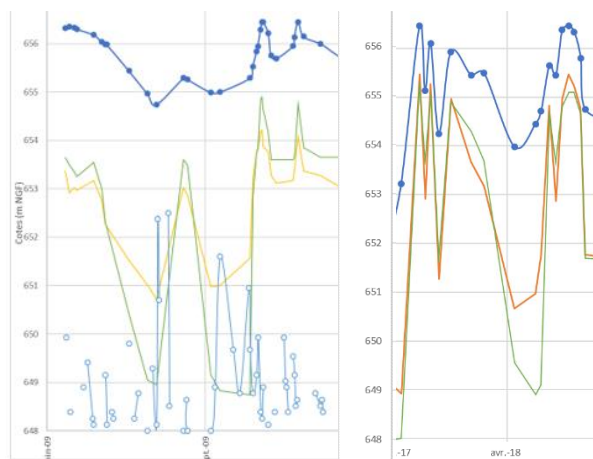


Figure 15 : comparaison du comportement en 2009 et en 2017, pour des variations de plan d'eau similaires

Les similitudes suivantes sont observées :

- au-dessus de la cote 655 environ, forte réactivité de la piézométrie aux montées de plan d'eau
- baisses plus importantes en RG qu'en RD



A cote égale, on observe une piézométrie 50 cm plus haute en 2017 qu'en 2009.

### 2.2.3 Analyse de la sensibilité à la cote de retenue

Le niveau piézométrique est très sensible à la cote du plan d'eau, comme le traduisent les graphiques ci-dessous. Le premier graphique présente les mesures SC1 et SC2 en fonction de la cote PE, le second graphique le résultat d'une simulation par un modèle différé [Bonelli, 2008] comprenant un terme d'amortissement sur le paramètre « cote plan d'eau ».

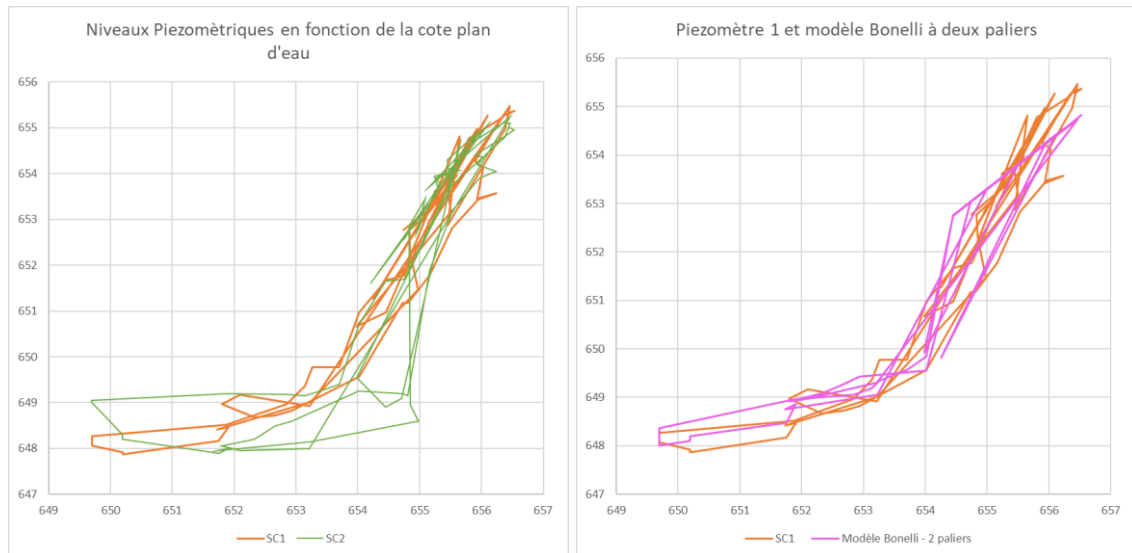
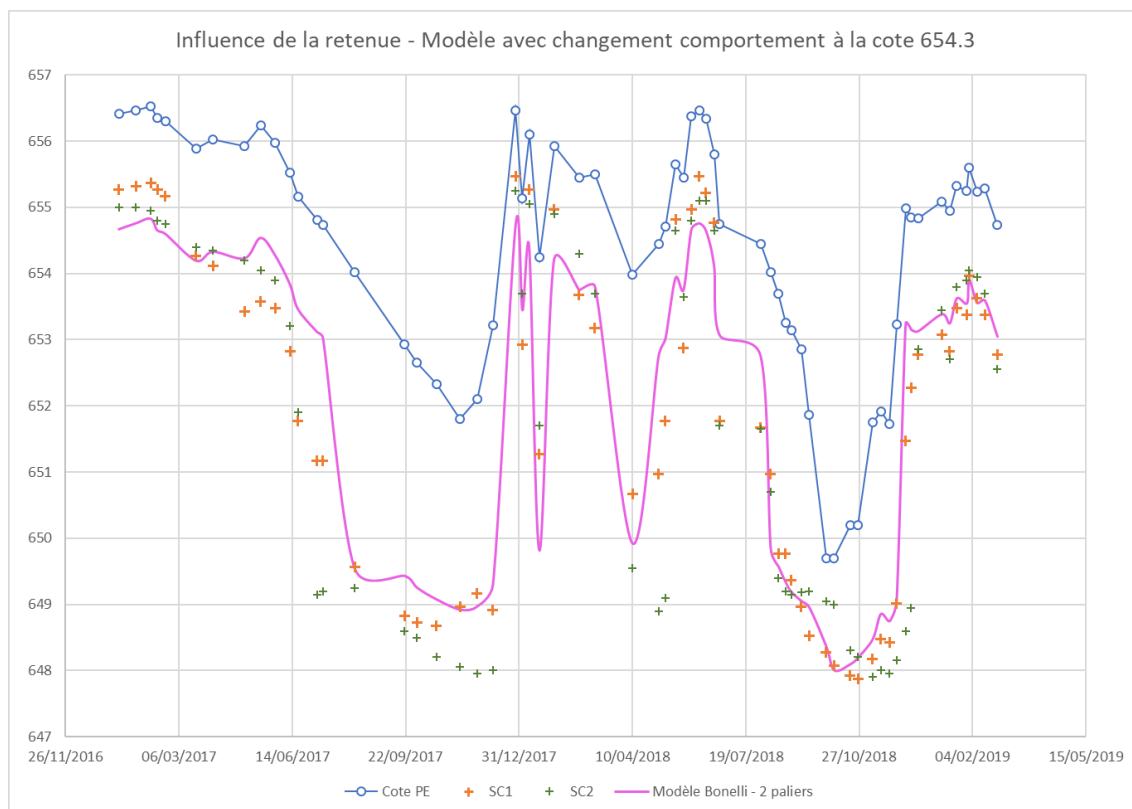


Figure 16 : Corrélation Cote PE – Piézométrie : relevés à gauche et simulation à droite

La courbe brute et la modélisation de l'effet retenue par le modèle mettent en évidence un comportement en deux paliers. La réponse piézométrique est simulée avec une corrélation de 95% en prenant en compte un changement de comportement à la cote 654.30. Les paramètres du modèle sont les suivants :

- Sous la cote 654.30 : coefficient amortissement de 0.42, valeur mini : 648 m NGF
- Au-dessus de la cote 654.30 : coefficient amortissement de 1, valeur mini : 648 m NGF



*Figure 17 : Chronique piézométrique simulée à partir de la chronique de cote plan d'eau (modèle d'après Bonelli, 2008)*

On observe que les 4 pics piézométriques ne peuvent être totalement reproduits, la variation de piézométrie enregistrée dépassant la variation de cote de retenue, malgré l'absence d'amortissement considéré au-delà de la cote 654.30 (coefficient de 1).

Il est intéressant de noter que cette cote de 654.30 correspond à la première cote de crête du barrage avant sa rehausse en 1959.

## 2.2.4 Débits de fuite

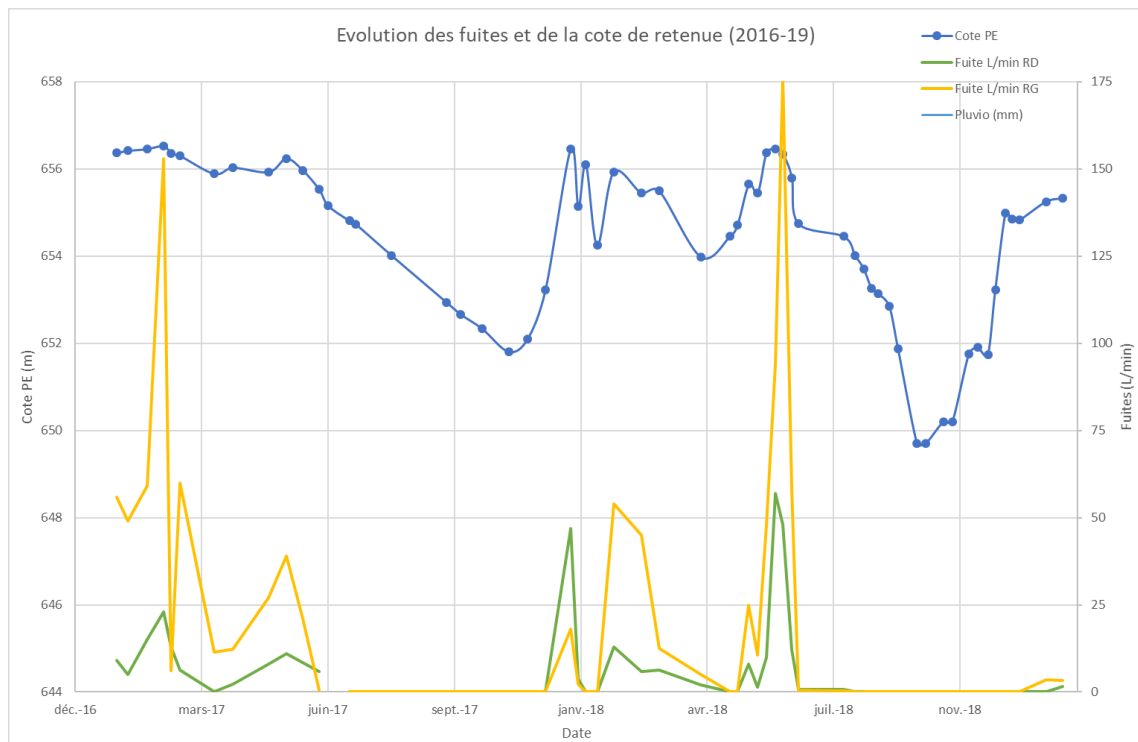


Figure 18 : débits de fuite et cote plan d'eau (2016-2019)

En dehors des pics, on observe des débits de fuite moyens comparables à ceux des périodes précédentes, avec des pics toutefois plus intenses : 150 l/mn sur chaque rive contre 100 l/mn antérieurement.

On observe que les fuites se déclenchent à partir d'un plan d'eau au-dessus de 655,00 environ, et plutôt lors des phases de montée, pouvant correspondre à des pluies.

Ce paramètre n'étant pas mesuré, il est toutefois difficile de confirmer la corrélation et la valeur seuil.

Les deux graphiques suivants montrent que les fuites ne sont quasiment jamais détectées sous la cote de 655.00 m.



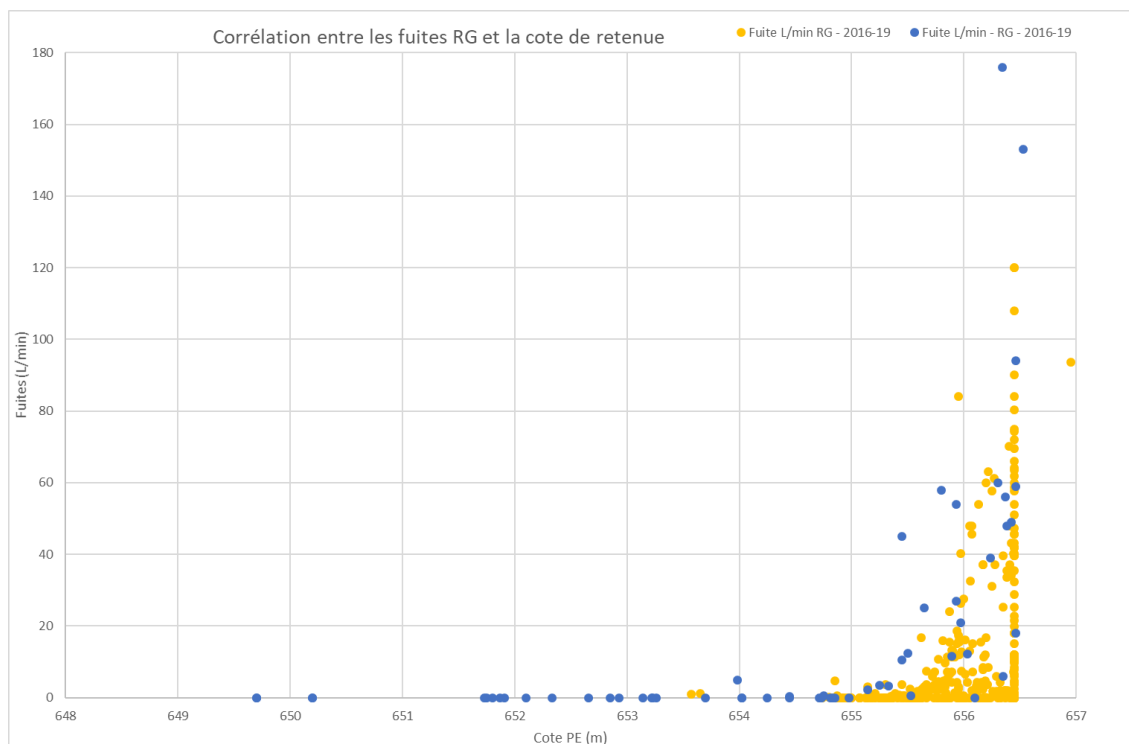


Figure 19 : corrélation fuites RG / Cote PE

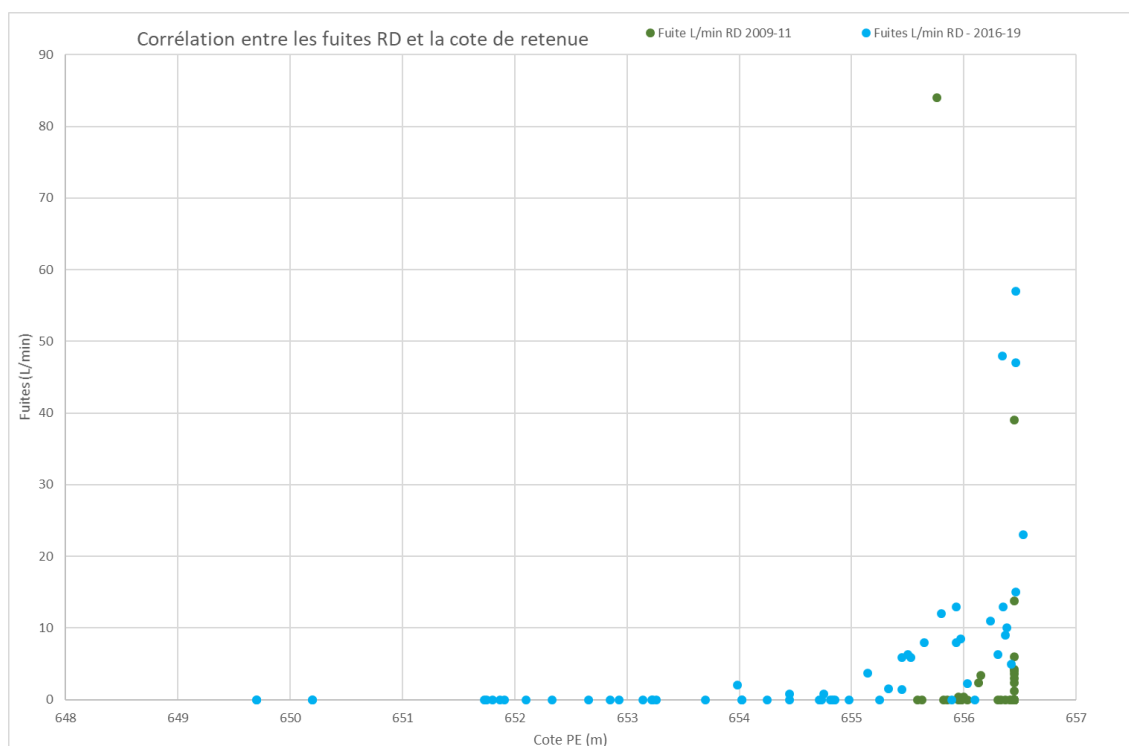


Figure 20 : corrélation fuites RD / Cote PE

## 2.3 INTERPRETATION DU COMPORTEMENT HYDRAULIQUE DE L'OUVRAGE ET STABILITE

**NB :** en préambule, nous rappelons que le dispositif ne comprend pas de mesures d'auscultation du comportement mécanique de l'ouvrage (nivellement et alignement de la crête, tassomètres, etc...). L'analyse de stabilité repose donc sur le comportement hydraulique mesuré.

Un modèle d'écoulement interne est réalisé sous SEEP/W.

Ce modèle doit permettre de représenter la géométrie des écoulements, la piézométrie et l'ordre de grandeur des fuites mesurées en prenant en compte une perméabilité en grand du masque béton.

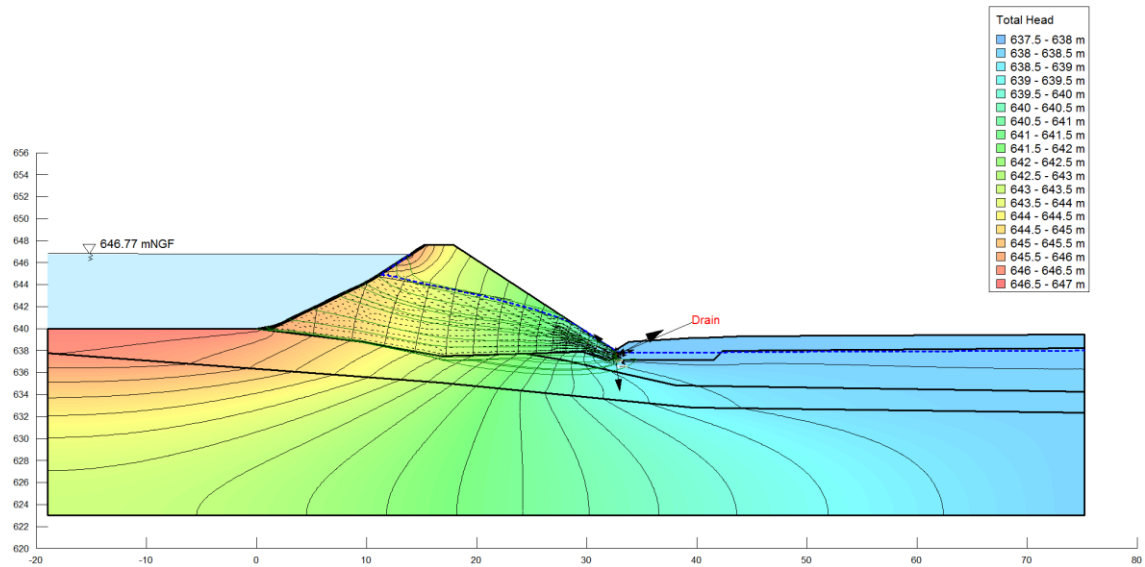


Figure 21 : Ecoulement interne à RN dans l'état nominal (sans dégradation des joints) : piezo à -3m sous la cote PE – Q 7l/mn

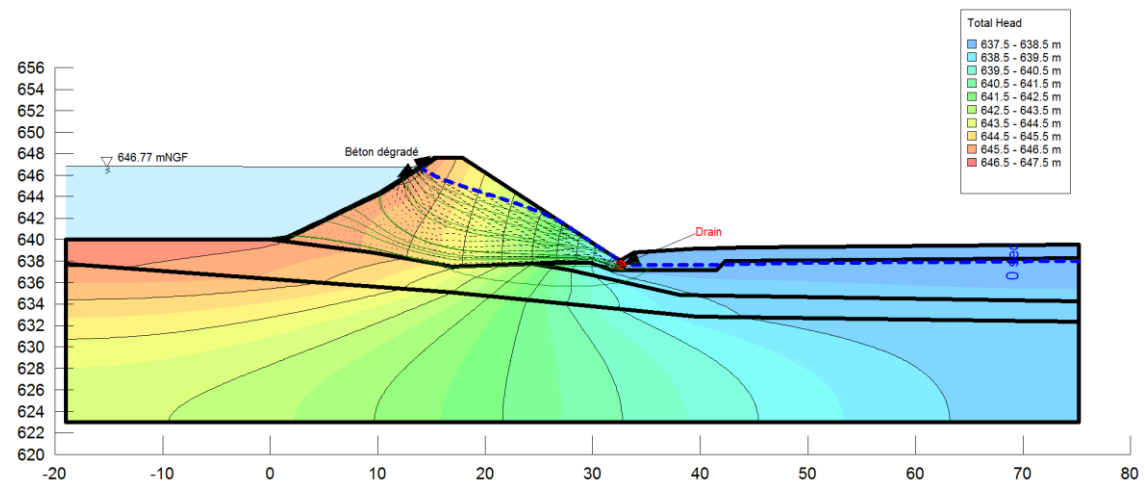


Figure 22 : Ecoulement interne à RN dans l'état dégradé : piezo à -1.3 m sous la cote PE – Q 15l/mn

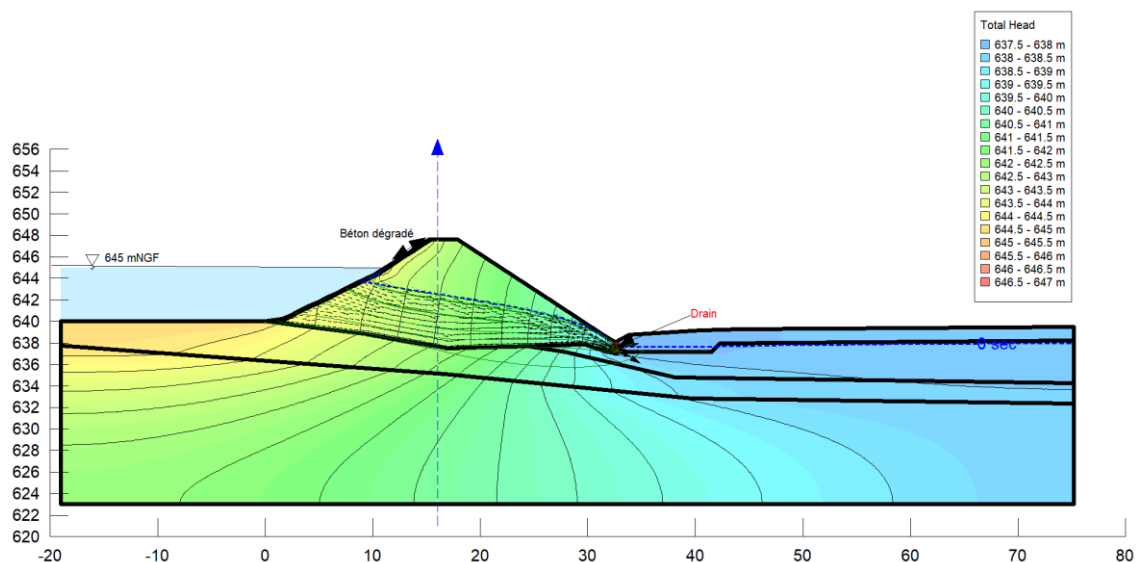


Figure 23 : Ecoulement interne à RN-1.7 m dans l'état dégradé : piezo à -2.5 m sous la cote PE – Q 5 l/mn

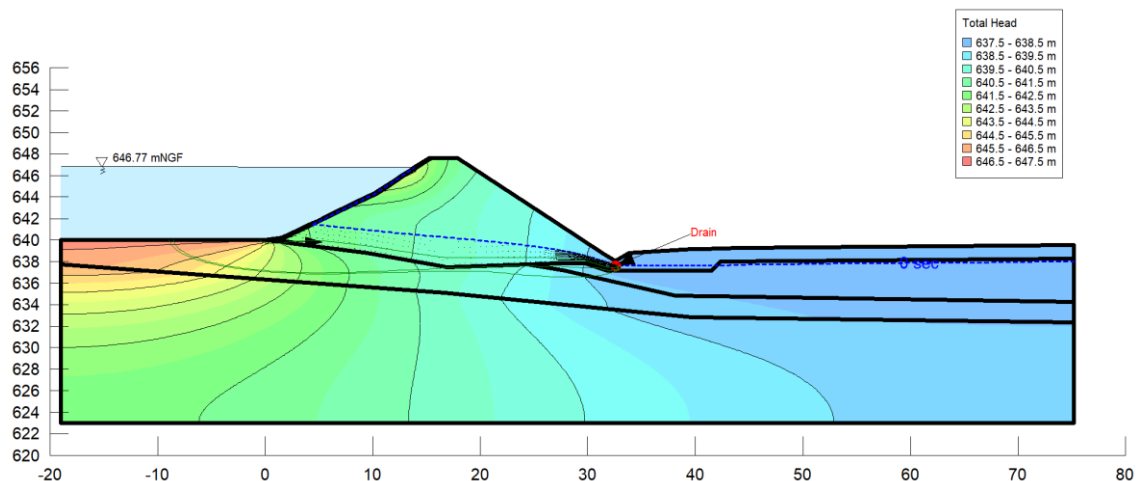
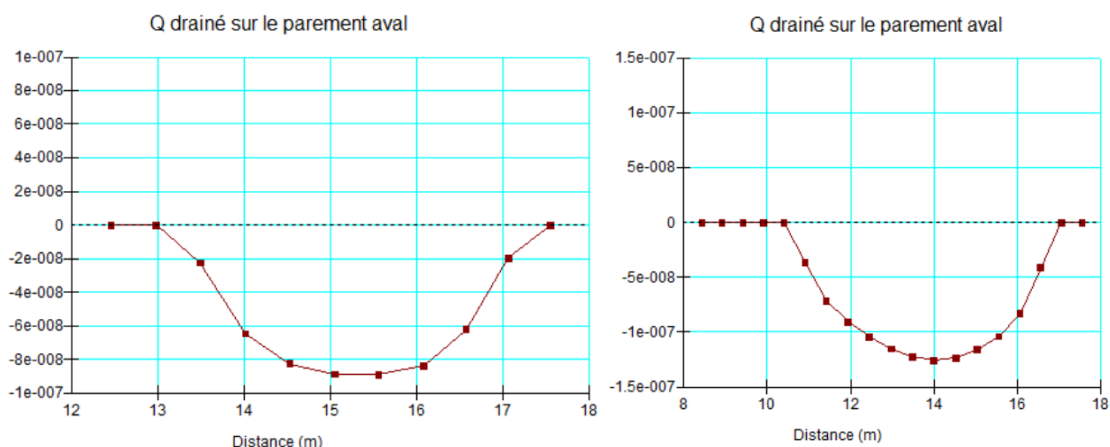


Figure 24 : Ecoulement interne à RN dans l'état d'origine : piezo à -6 m sous la cote PE – Q quelques l/mn

Les simulations réalisées corroborent les observations :

- Ordre de grandeur des fuites cohérent avec les mesures, avec des augmentations notables en cas de dégradation de l'étanchéité amont (doublement de la débitance)
- Rabattement de -6m en conditions de référence, -3 m avec un parement en état d'usure ( $K = 10^{-9}$  m/s) et diminuant à -1.4 m en prenant en compte une dégradation sévère du parement ( $K = 10^{-6}$  m/s) au-dessus de la cote 655 m (ancien référentiel).
- Dans la situation actuelle, ligne piézométrique conduisant à une imbibition du parement aval, sans suintements visibles

Les débits spécifiques en parement aval sont présentés sur les graphes suivants en état actuel et dégradé à RN.



Les débits unitaires restent très faibles avec des vitesses d'écoulement de  $0.1 \mu\text{m/s}$ , qui confirment le caractère saturé mais non suintant.

Les modélisations confirment que les rabattements attendus avec un parement amont étanche sont proches de 3 m, et que la piézométrie observée peut s'expliquer par une dégradation du parement amont au-delà d'une certaine cote.

Le rapport d'étude de stabilité [21], prenant en compte une ligné piézométrique dégradée, avec un faible rabattement, montre que la situation actuelle ne présente pas de facteur de sécurité satisfaisant la réglementation en vigueur.

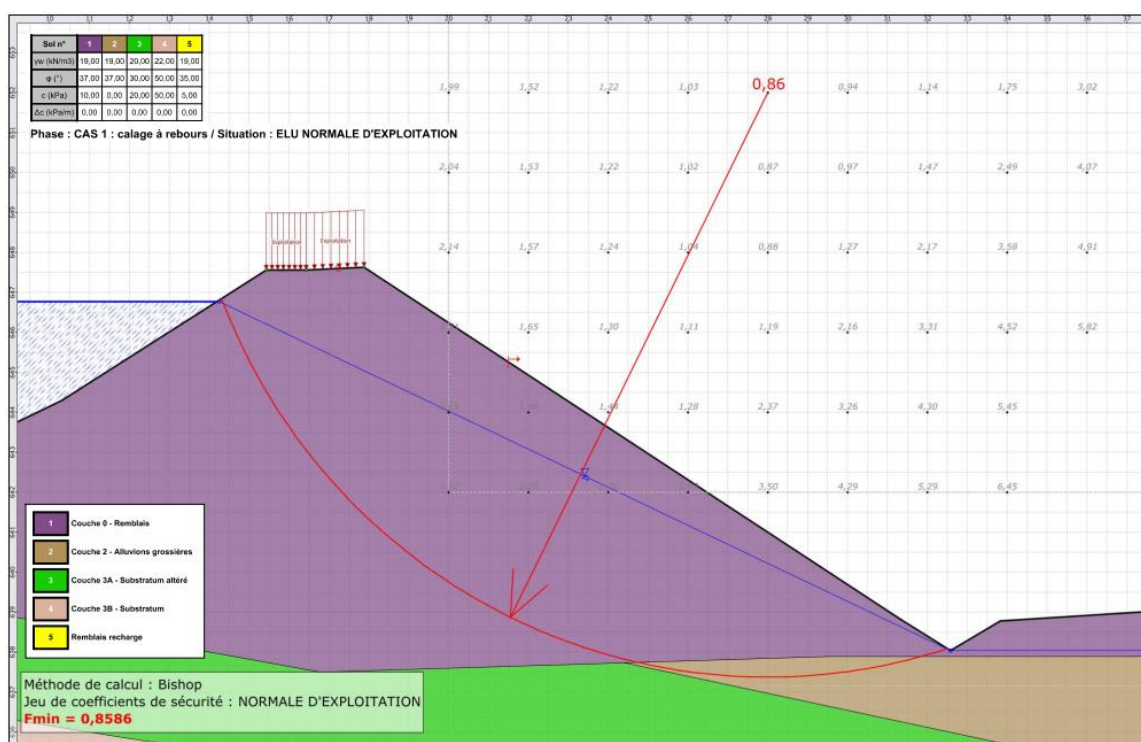


Figure 25 : Coefficient de sécurité calculé pour la situation normale d'exploitation (après application des coefficients partiels CFBP)

### 3 CONCLUSIONS SUR LE COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE

L'ouvrage présente un fonctionnement marqué par une réactivité forte de la piézométrie et des débits de fuite dès que le plan d'eau dépasse la cote de 655 m (ancien référentiel) soit 645.3 m NGF dans le système actuel.

Ces caractéristiques avaient déjà été observées sur la période précédente d'auscultation (2011-2015).

La piézométrie est en hausse de + 50 cm environ par rapport à cette période, tandis que les pointes de débitance de fuites observées sont également en hausse de 50%. Les mesures ne montrent pas d'évolution significative depuis début 2017.

Le comportement piézométrique de l'ouvrage est bien représenté par un modèle prenant en compte un rabattement piézométrique de 58% en cote de retenue basse et 0 % au-delà d'un seuil à 654.30. Un même effet de seuil est observé sur les débits de fuite, entre 654.50 et 655.

Le changement de comportement observé en retenue haute est probablement caractéristique d'un défaut d'étanchéité dans le masque amont, fortement dégradé en partie supérieure, en particulier au niveau des joints entre les plots.

Il faut toutefois relever que la cote « seuil » correspond également à la cote de crête d'origine de l'ouvrage, avant sa rehausse en 1959. Une hétérogénéité du remblai ou un tassement différentiel de la partie supérieure ayant endommagé le contact béton-remblai n'est donc pas à exclure.

Les modélisations hydrauliques et géotechniques menées confirment

- que de les observations sont éloignées des niveaux de fuite et de rabattement piézométriques attendues,
- que les niveaux actuels conduisent à une non-conformité vis-à-vis de la réglementation française sur les facteurs de sécurité géotechnique
- la nécessité d'une exploitation à une cote inférieure au seuil observé, estimé entre 654.30 et 655 m selon l'ancien référentiel altimétrique de l'ouvrage.

## 4 PRECONISATIONS

Le barrage doit faire l'objet de travaux de confortement, portant à la fois sur la restauration de l'étanchéité du masque amont et sur l'amélioration des conditions de drainage en pied aval. Le comportement hydraulique de l'ouvrage devrait s'en trouver améliorer et plus facile à surveiller.

Dans l'intervalle, nous préconisons ce qui suit :

- Les mesures pluviométriques doivent être poursuivies et systématisées afin de permettre une analyse plus fine de la réponse piézométrique et en débit de fuite
- Dans l'attente du confortement de l'ouvrage, des reprises ponctuelles de la crête au voisinage des piézomètres permettraient de s'assurer de leur déconnexion avec les eaux de ruissellement.