

# Diagnostic de sureté et programme de réhabilitation du barrage réservoir de Bouzey

## *Bouzey dam analysis and renovation schedule*

Didier GRATALOUP  
ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT, 21-27 rue de Stalingrad, 94742 Arcueil cedex  
didier.grataloup@arteliagroup.com

Bachir TOULEB  
ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT, 6 rue de Lorraine, 38130 Echirolles  
bachir.touileb@arteliagroup.com

Phillipe VACHERAT  
VOIES NAVIGABLES DE FRANCE, 2 bis rue Victor, 54 000 NANCY

## MOTS CLÉS

Voies Navigables de France, rupture, accident, barrage en maçonneries, barrage en enrochements, Vosges, Canal de l'Est, Canal des Vosges.

## RÉSUMÉ

*Le barrage-réservoir de Bouzey est un ouvrage plus que centenaire situé dans le département des Vosges (88), à environ 5 km d'Epinal. L'ouvrage a pour fonction la constitution d'une réserve d'eau pour l'alimentation du canal de navigation des Vosges anciennement appelé Canal de l'Est, exploité par Voies Navigables de France. Ce barrage est composé d'un barrage en maçonneries et un barrage en enrochement à masque amont béton armé présentant une hauteur maximale sur fondation de 23 mètres et une longueur de 520 mètres à la crête. Le contexte réglementaire et l'état d'usage du barrage ont amené Voies Navigables de France à faire établir un Diagnostic de Sureté au sens de l'arrêté du 29 février 2008, accompagné d'un programme de réhabilitation de l'ouvrage. L'exposé reprend les orientations développées dans cette étude assurée par Artelia Eau&Environnement.*

## ABSTRACT

*The Bouzey dam is a more than one hundred year old dam situated in « Les Vosges » in France, near Epinal. The dam creates a reservoir used in the water demand for navigation on « Canal des Vosges », maintained by Voies Navigables de France. This gravity dam is a mix of a masonry and rockfill with concrete face dam, presenting a height of 23 meters and a length of the crest of 520 meters. Regarding the french laws ("Arrêté du 29 février 2008") and the pathologies on the dam, a dam analysis and renovation schedule study have been carried out by Artelia Eau&Environnement for Voies Navigables de France.*

## 1. PRESENTATION DE L'OUVRAGE EN PLACE

### 1.1 Monographie du barrage

Le barrage actuel présente une hauteur maximale sur sa fondation de 23 mètres, pour une longueur de crête de 520 mètres, la capacité de la retenue est de 7 millions de m<sup>3</sup> sous le niveau de retenue normale. Il est classé en catégorie « B » suivant la réglementation française.

La coupe type de l'ouvrage est :

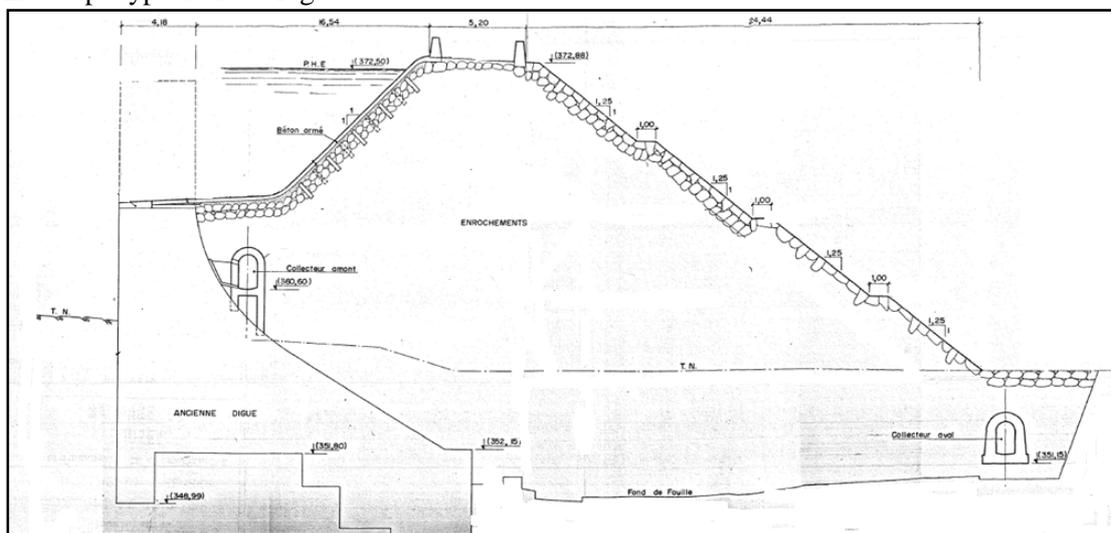


Figure 1 : Profil type du barrage

Le tableau suivant récapitule les principales caractéristiques du barrage.

Volume de la retenue	7 000 000 m <sup>3</sup> sous retenue normale
Niveau de retenue normale (RN)	+ 371.50 m
Niveau de Plus Hautes Eaux (PHE)	+ 372.50 m
Type de barrage	Poids et remblai
Matériaux constitutif du barrage	Enrochement et maçonnerie
Matériau de fondation	Grès bigarré (Fondation hétérogène)
Côte minimale des fondations	+ 349.70 m
Étanchéité du barrage	Masque amont en béton armé. Ancienne digue maçonnerie
Étanchéité de la fondation	Rideau d'injection de ciment en pied amont
Drainage du barrage	Drains horizontaux derrière masque - Enrochement drainant
Drainage des fondations	Par dalot sous la maçonnerie et puits drainants, collecteur vers galerie aval visitable
Côte de la crête	+373.10 m
Longueur de crête	520 m rectiligne
Largeur de crête	6 m
Largeur maximale en base	46 m
Côte des parapets	+374.20 m
Hauteur maximale du barrage / terrain	16.90 m
Hauteur maximale du barrage / fondation	23.40 m
Volume du corps du barrage	221 560 m <sup>3</sup>
Parement amont	Masque : Fruit de 1/1 avec 1 risberme Maçonnerie : parement vertical
Fruit du parement aval H/V	.25/1 avec 3 risbermes moyen 1.43/1

Tableau 1 : Principales caractéristiques du barrage



*Photo 1 : Vue du barrage, crête et parement aval*

La construction du barrage dans sa configuration initiale s'est faite de 1878 à 1881. Deux désordres majeurs surviennent dans l'histoire du barrage :

- 1884 : glissement partiel vers l'aval du barrage sur sa fondation, de l'ordre de 35 cm ;
- 1895 : rupture brutale dans le corps de la maçonnerie du barrage.

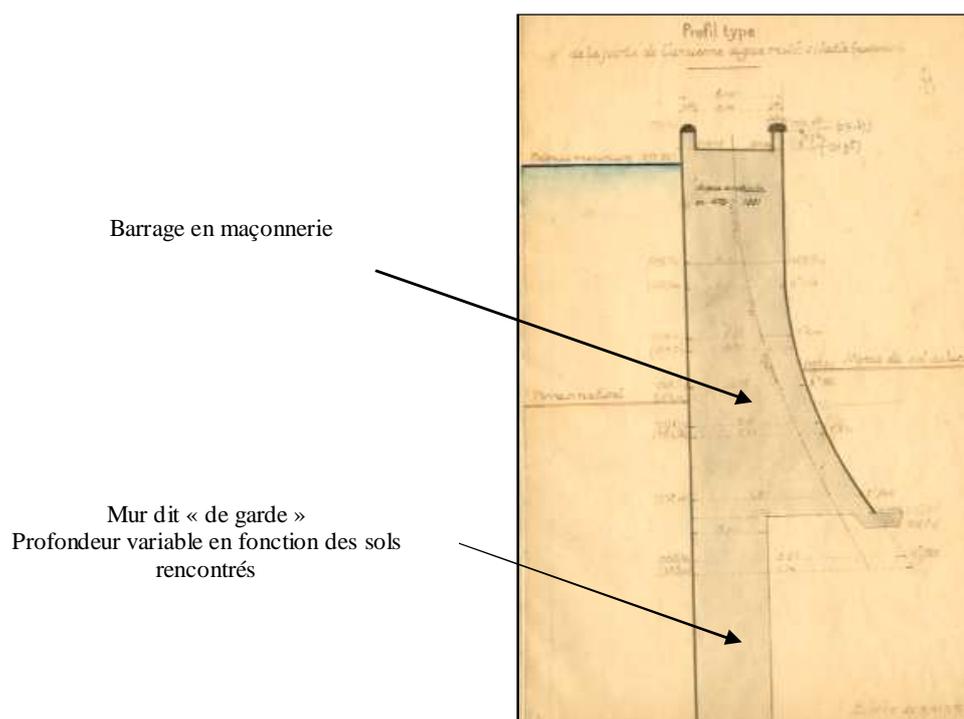
Le profil actuel est façonné par cet historique, le barrage de Bouzey est un « patchwork » des travaux de construction et de renforcements menés sur les périodes 1880, 1890, 1900, 1930.

## 1.2 Historique synthétique des principaux évènements relatifs au barrage

Suite aux deux ruptures que l'ouvrage a connues, et suite aux différentes phases de construction et modification, ce barrage fait l'objet d'un riche historique exposé ci-après.

### 1.2.1 1<sup>ère</sup> mise en eau: vers 1884

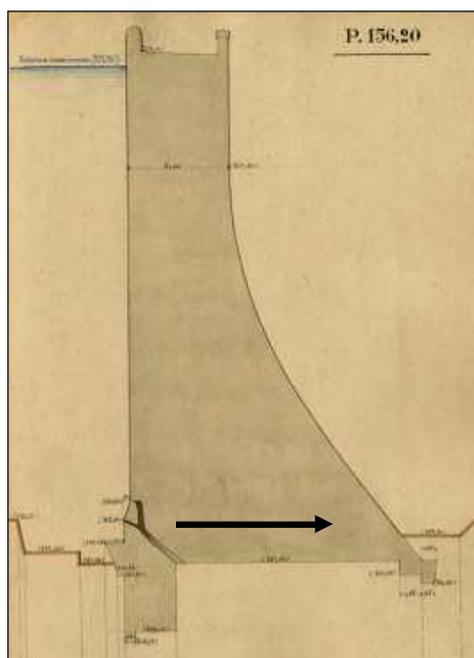
Suite à sa construction au début des années 1880, la mise en eau est faite en 1884.



*Figure 2 : Profil type de l'ouvrage initial.*

1.2.2 14 et 15 mars 1884 : 1er désordre : glissement partiel du barrage vers l'aval

En mars 1884, le barrage glisse sur sa fondation vers l'aval sur une longueur de 135m.



Glissement vers l'aval de 35 cm

Figure 3 : Schématisation de la ruine partielle de l'ouvrage consécutif à l'accident de 1884

1.2.3 Travaux de consolidation de 1888-1889

Suite à ce glissement, des travaux de renforcement par l'aval sont entrepris.

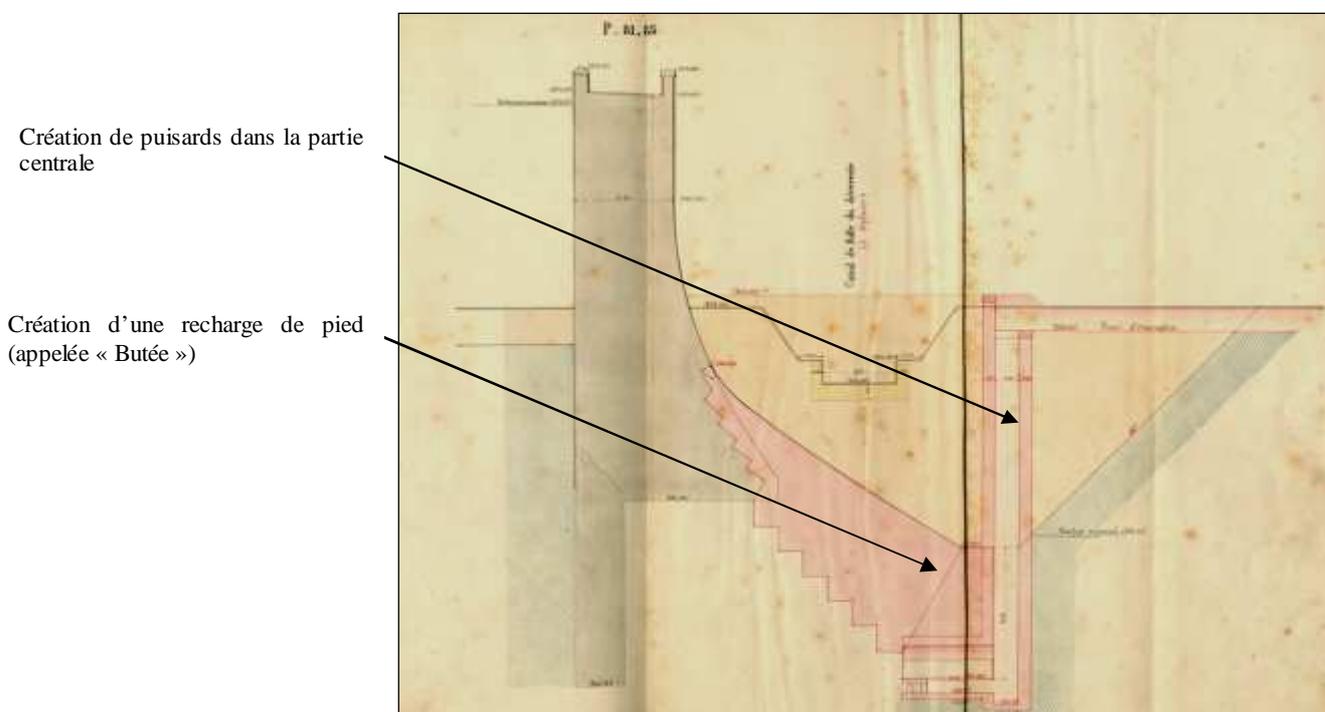


Figure 4: Coupe du projet de renforcement au niveau d'un puisard

1.2.4 27 avril 1895 : 2ème désordre : rupture brutale du barrage

Le 27 avril 1895, alors que la retenue est sensiblement pleine, une brèche subhorizontale de 170 m de longueur s'ouvre brutalement dans le corps de la maçonnerie du barrage, à une hauteur moyenne de 10 m environ sous le niveau du plan d'eau. Une onde de submersion est générée et ravage l'aval du site. De nombreuses victimes sont à déplorer suite à cet accident. Il s'agit d'un accident majeur en termes de rupture de barrage.

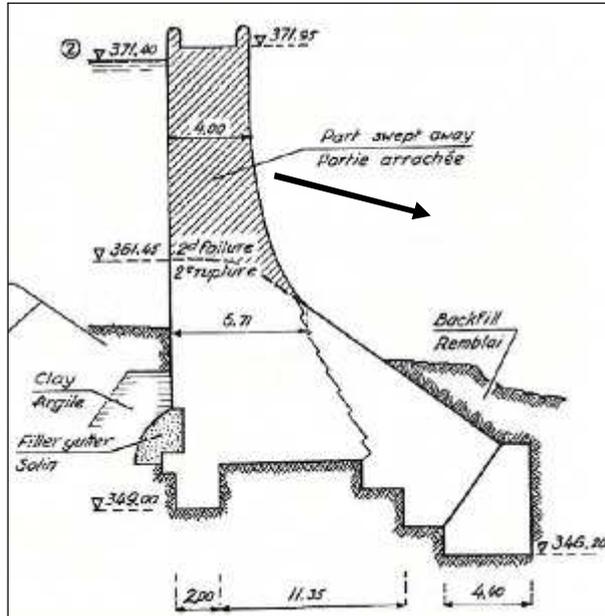


Figure 5: Extrait Publication CIGB 1973 « Leçons tirées des accidents de barrage »



Photo 2: Photographie suite à la rupture de 1895

1.2.5 1900 – 1901 : Reconstruction du barrage

Le barrage est réhabilité et remis en service à un niveau de retenue normal abaissé, comme on le voit sur la photographie ci-après.



Photo 3: Photographie de la retenue - Juin 1915

1.2.6 Renforcement et rehausse du barrage de 1926 à 1939

Un projet visant à rétablir le niveau de retenue initial est développé et mis en œuvre dans les années 1930.

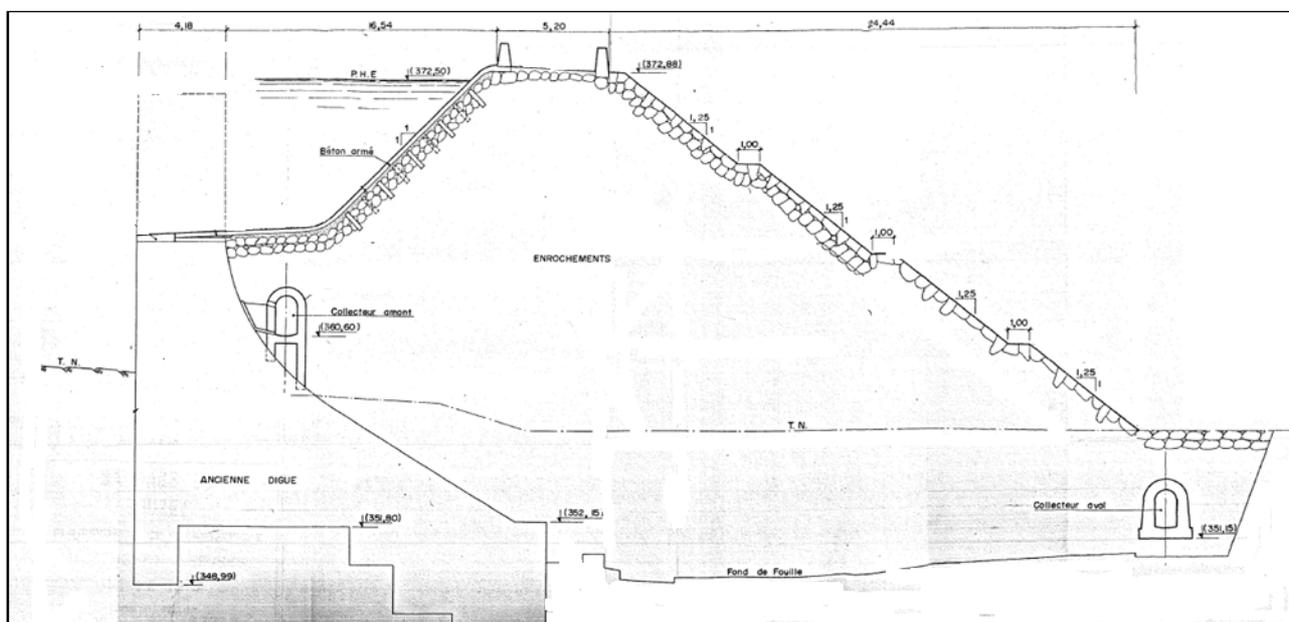


Figure 6: Barrage de Bouzey – Coupe type des travaux des années 30, coupe actuelle

1.2.7 Vue actuelle

La configuration générale du barrage actuel est le résultat des travaux de confortement et réhaussement terminés en 1939. La crête du barrage est rectiligne, elle a une longueur de 520 mètres.



Photo 4: Barrage réservoir de Bouzey – Vue aérienne (extrait Géoportail)

2. PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS DE L'ETUDE

2.1 Stabilité générale de l'ouvrage

La stabilité du barrage est examinée à l'aide d'un modèle FLAC 2D.

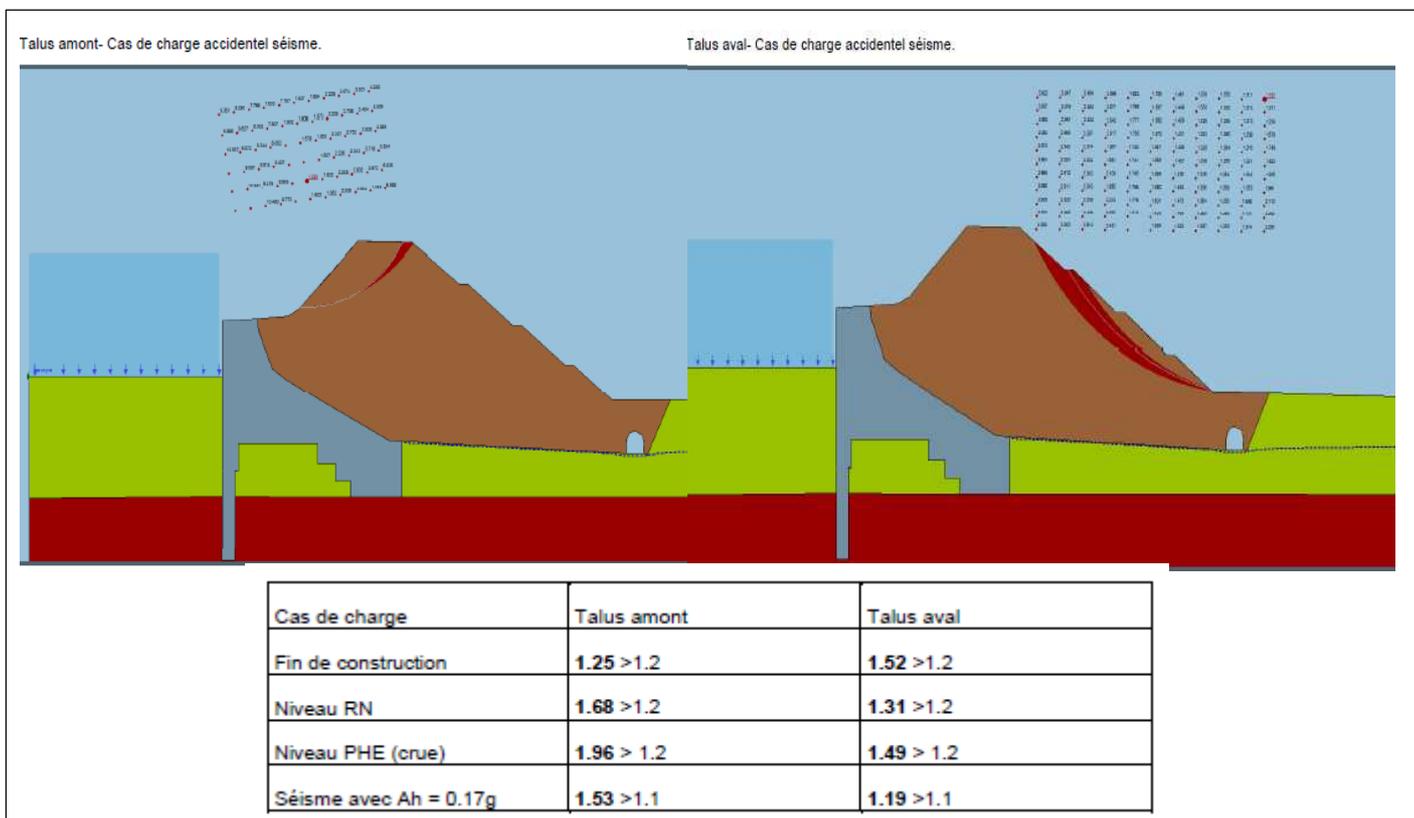


Figure 7 : Vérification des coefficients de sécurité sous différents cas de charge

La stabilité générale de l'ouvrage n'appelle pas de remarque particulière.

## 2.2 Comportement au séisme

Le barrage de Bouzey est de classe B selon la nomenclature définie par le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007. Il est située dans une zone à sismicité modérée (zone 3). A ce titre, le séisme d'évaluation de la sécurité (SES) auquel l'ouvrage est soumis applique une accélération horizontale au rocher de  $1.9\text{m/s}^2$ . Le spectre réglementaire au rocher correspondant est donné ci-après.

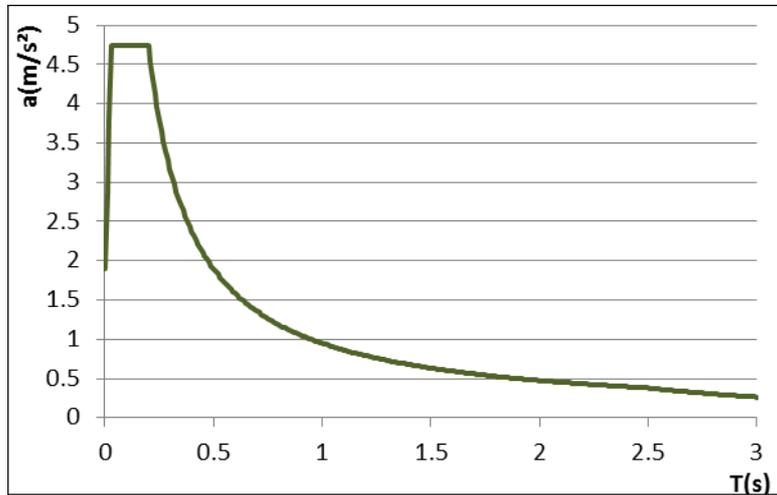


Figure 8: Spectre réglementaire – barrage de classe B – Zone de sismicité 3

Sur la base de ce spectre réglementaire, un certain nombre d'accélérogrammes compatibles a été synthétisé par Pierre-Yves BARD . Les accélérogrammes ainsi synthétisés sont ainsi uniquement valables pour être appliqué au rocher sain ( $V_s > 800\text{m/s}$ ). Ces accélérogrammes sont établis à partir d'ajustement d'enregistrements réels issus des bases de données mondiales. Pour le barrage de Bouzey, l'enregistrement de Nocera Umbra-Biscontini (Italie) a été utilisé. Un modèle d'examen du comportement au séisme sous FLAC 2D est effectué. On s'intéresse particulièrement aux déplacements, notamment à l'interface barrage en maçonnerie/masque amont béton armé du barrage en enrochement.

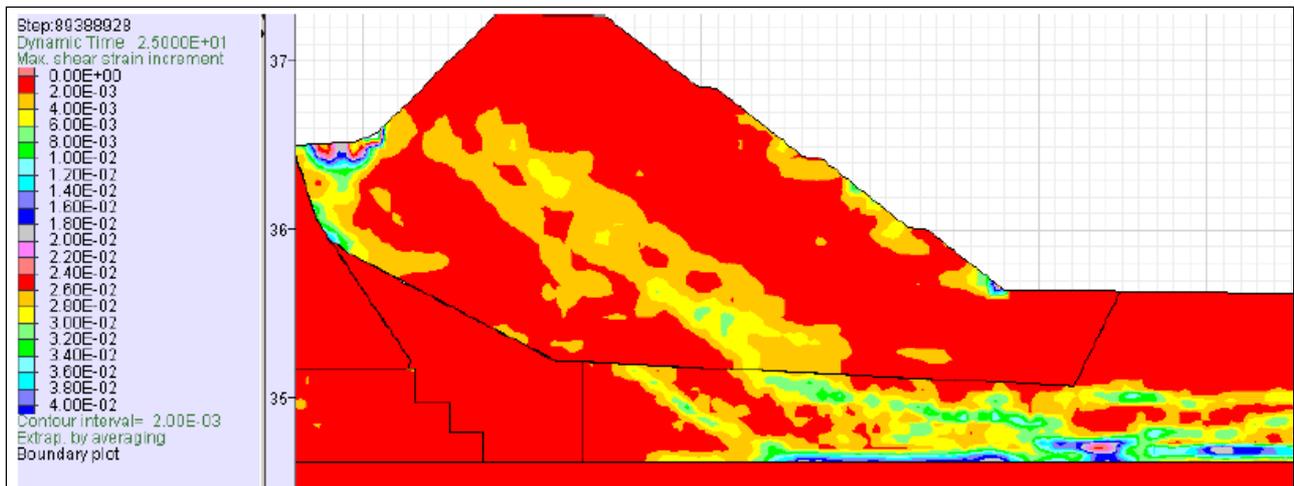


Figure 9: Cartographie des déformations de cisaillement à la fin du séisme

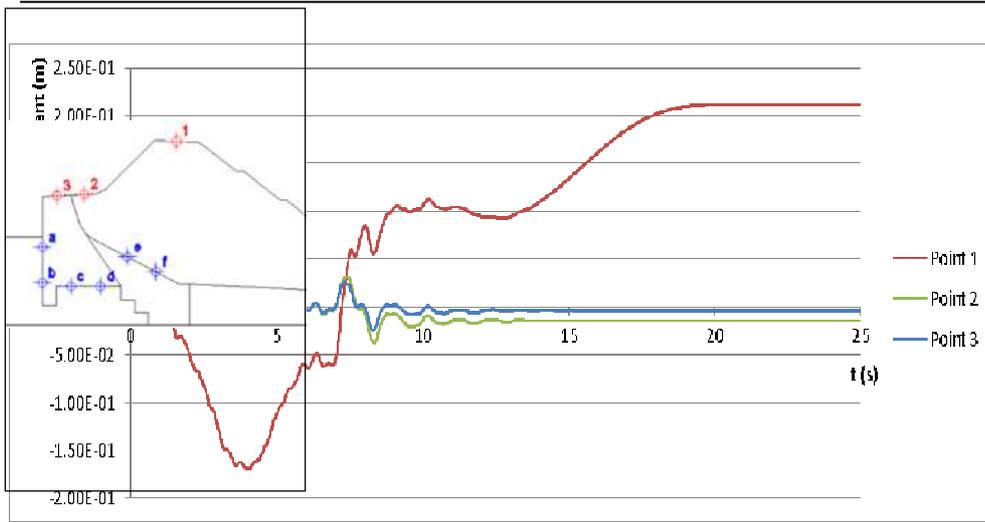


Figure 10: Déplacements des points de mesure N°1, 2 et 3 en fonction du temps

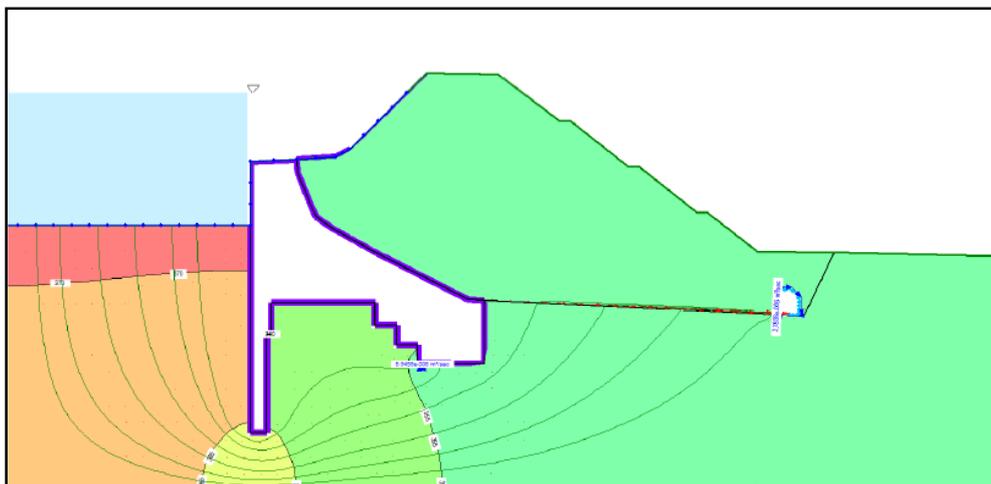
Les déplacements différentiels au niveau des interfaces entre les structures de natures différentes (barrage en maçonneries/barrage en enrochements) sont modérés, de l'ordre de 1cm. Le développement du projet de réhabilitation par le propriétaire de l'ouvrage est à accompagner du développement du modèle numérique du barrage (Avant Projet, Projet, etc.).

### 2.3 Ecoulements dans le corps du barrage et en fondation

Les valeurs de débit de fuite mesurées à l'aval du barrage sont traitées et analysés ; ces fuites constituent un des points de discussion sur l'expertise de l'état du barrage.



Figure 11: Valeurs mesurées en fonction du temps des débits de fuite derrière le masque amont et en pied aval



**Figure 12:** *Etude de sensibilité sous SEEP des écoulements en fonction de perméabilités équivalentes de la fondation gréseuse*

Le débit moyen mesuré par l'exploitant sur un exutoire situé environ 500 mètres à l'aval est de 35l/s. Suite aux différentes expertises et missions d'étude y compris celle-ci, cette valeur est considérée comme non représentatives des circulations réelles dans le corps de l'ouvrage et sa fondation. Suivant une campagne de mesure effectuée en galerie lors du diagnostic, la somme des débits transitant effectivement dans le corps de l'ouvrage est estimée vers 15l/s pour un débit mesuré par l'exploitant et reporté au registre de 33l/s. Les écoulements sont générés par plusieurs phénomènes, notamment :

- le vieillissement et dégradation de l'étanchéité des points singuliers, couvres joints de joints de dilatation notamment ;
- le drainage de la fondation ;
- la perméabilité de la fondation hétérogène et relativement ouverte.

### 3. PRINCIPALES PRECONISATIONS DE REHABILITATION SUITE A LA PHASE "DIAGNOSTIC DE SURETE"

Les principales conclusions sont :

- Le masque amont du barrage en enrochement est en état correct. Le parement amont inférieur au niveau du barrage en maçonneries est dégradé, une réhabilitation est préconisée.
- L'examen et l'interprétation exhaustive des débits de fuite, sujet récurrent sur l'ouvrage car les débits sont considérés comme potentiellement importants, sont difficiles à établir car un certain nombre de mesures ne sont pas fiables et/ou non corrélées entre elles, ou encore non traitées. Globalement, le débit de fuite total inscrit au registre du barrage (35 l/s moyen) est très supérieur au débit transitant effectivement dans le corps de l'ouvrage et dans sa fondation. Un certain nombre de mesures et travaux sur l'ouvrage, pourront permettre d'améliorer très sensiblement ce constat: séparation des eaux de drainage galerie amont/galerie aval, séparation des eaux provenant du secteur aval du barrage, suivi du transport solide, etc.
- La prise d'eau, qui assure également la fonction de vidange du réservoir, présente un écoulement perturbé depuis les travaux de 1998-1999 sur la galerie horizontale de restitution. Cette perturbation est potentiellement préjudiciable au génie civil et est à traiter par une modification des caractéristiques de l'écoulement.
- L'ouvrage est actuellement exploité à Retenue Normale abaissée, ce qui permet de stocker partiellement la crue, faible dans le cas du barrage de Bouzey. L'objectif est d'éviter au maximum le fonctionnement de l'évacuateur de crue, dont la capacité est considérée comme insuffisante sous le niveau des Plus Hautes Eaux. Les insuffisances hydrauliques de l'évacuateur conduisent à préconiser son recalibrage complet, en préservant partiellement le génie civil existant.
- En terme de stabilité, les calculs réalisés sous charges statiques et dynamiques concluent à des coefficients de sécurité conformes aux règles de l'art.
- Le niveau de performance de l'auscultation tel qu'elle est conçue sont partiellement insuffisants par rapport aux règles de l'art actuelles sur un barrage de ce type. L'auscultation et son traitement sont donc à mettre à niveau.