Barrage de Lauch

Expertise Conseil d'Aide à la Décision du MOA avant la phase PRO

Version Provisoire - 25/10/2022

AUTEUR		DESTINATAIRE	
Rédacteur	Laurent Peyras	CEA – Collectivité Européenne d'Alsace	Jean Richert et Sylvain Cuenot
Relecteur	Rémy Tourment		

Contexte de l'expertise-conseil et de l'intervention d'INRAE

Le barrage de la Lauch est le dernier grand barrage domanial alsacien actuellement géré par l'Etat. Ce barrage est destiné à être rétrocédé par convention à la Collectivité européenne d'Alsace (CeA) à l'issue de travaux importants de réhabilitation de la recharge aval de maintien du barrage (notamment pour assurer une stabilité face au séisme de référence). La CeA est désignée par convention avec l'Etat en tant que maitre d'ouvrage principal (délégué) de ces travaux.

Le barrage de la Lauch est un barrage poids en maçonnerie, construit entre 1889 et 1894, puis conforté par une recharge aval (remblai protégé par un perré en pierres maçonnées) en 1900 suite à la rupture du barrage de BOUZEY (1895). D'une hauteur de 22 mètres, cet ouvrage disposait d'un volume historique de retenue d'eau de 690 000 m^3 à la cote 940,00 m NGF (retenue normale pleine). Depuis 2010, il est exploité à la cote 937 m NGF dans le cadre d'une procédure de révision spéciale suite à un tassement et décollement vers l'aval de sa recharge. La retenue actuelle n'est plus que de 420 000 m^3.

Des études d'investigations réalisés entre 2011 et 2021 ont permis d'aboutir en mars 2021 à un dossier technique identifiant la solution validée par les services de l'Etat, d'un confortement du barrage consistant en un remplacement de sa recharge existante par une nouvelle recharge aval, vraisemblablement en béton compacté au rouleau (BCR).

Un maître d'œuvre de l'opération de travaux a été retenu début 2022. Les études d'avant-travaux sont engagés avec la maîtrise d'œuvre depuis mars 2022. Une première étude préliminaire (EP) a été menée pour vérifier la résilience de la future retenue d'eau du barrage de la Lauch après-travaux face au changement climatique à l'horizon de la fin du siècle. L'étude EP préconise en conclusion l'analyse pour la phase suivante (AVP) de deux variantes ou cotes altimétriques différentes de réhabilitation de la retenue d'eau (à la cote historique 940 m et une réhausse à la cote 943 m).

L'étude AVP, dans une version provisoire au jour de la préparation de la présente expertise, étudie plus en détail la faisabilité technique et la stabilité de ces deux variantes. Il conviendra de retenir à la fin de cette phase (octobre-novembre 2022) l'une des deux variantes pour la phase suivante dite de projet (PRO). Ce dossier PRO doit aboutir début 2023 à une version finalisée permettant de démarrer les demandes d'autorisations administratives et environnementales.

La mission attendue d'INRAE est une expertise conseil d'aide à la décision du Maître d'Ouvrage d'Art (MOA) pour retenir l'une des deux variantes de cote altimétriques en fin de phase AVP pour la réhabilitation du barrage de la Lauch.

Plus précisément, l'expertise ponctuelle de conseil d'aide à la décision du MOA, attendue d'INRAE, portera notamment sur :

- La relecture de l'Etude Préliminaire (EP) et la prise en compte de ses conclusions ;
- La relecture du dossier d'avant-projet (AVP) provisoire, notamment sur les études techniques et de stabilité de chaque variante ;
- Le croisement des conclusions des deux documents EP et AVP, débouchant sur **une préconisation argumentée de choix de la cote de réhabilitation (cote RN) du barrage de la Lauch afin de justifier l'investissement du MOA** (analyse multicritère simplifiée basée principalement sur : les coûts, les bénéfices en ressource en eau, les impacts environnementaux, la fiabilité de la résilience face au changement climatique, les études de stabilité des variantes, ou tout autre critère jugé utile par le candidat).

Le présent rapport constitue le livrable de l'expertise conseil.

Contexte de l'expertise-conseil et de l'intervention d'INRAE

La documentation fournie par la CEA à INRAE pour conduire cette expertise-conseil est la suivante :

[1] « Barrage de La Lauch - Mission de Maîtrise d'œuvre de la réhabilitation du barrage - ETUDE PRELIMINAIRE », établi par ARTELIA, référencé VERSION FINALE B / 821 1370, en date du 16/09/2022
[2] « Barrage de La Lauch - Mission de Maîtrise d'œuvre du confortement du barrage - AVP – DOSSIER TECHNIQUE DE L'OUVRAGE - Procédure n°21000314 », établi par ARTELIA, référencé Première émission – Version provisoire / 821 1370, en date du 26/09/2022. + les plans (15 planches) associées
[3] Diaporama de présentation aux élus, 11 diapositives.

Par ailleurs, INRAE mobilise dans le cadre de cette expertise sa connaissance du barrage de Lauch issue de ses missions de suivi d'auscultation et du comportement du barrage réalisées depuis 2009.

L'expertise est conduite selon le Plan Qualité pour l'expertise d'INRAE certifié ISO 9001.

NB : dans notre rapport, nous notons en **gras** les points de synthèse importants. Nous notons en *italique* les points sur lesquels les études pourraient être complétées.

Expertise d'INRAE sur l'Etude Préliminaire (EP) [1]

Objectifs de l'EP [1]

Dans une logique d'approche durable, l'opération de réhabilitation du barrage de la Lauch intègre, dans l'élaboration du projet, l'évolution climatique et l'étude des scénarios d'adaptation de résilience du projet. Dans ce cadre, l'EP [1] vise la vérification de la résilience de la future retenue d'eau du barrage de la Lauch après travaux, face au changement climatique à l'horizon de la fin du siècle en 2100. Cette étude s'inscrit dans le respect des orientations et dispositions du SDAGE Rhin-Meuse 2022-2027, du Plan d'Adaptation et d'Atténuation au Changement Climatique du bassin Rhin-Meuse 2019-2024, et du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Lauch.

Le projet a pour objet général de permettre, sur le court et le long terme, une bonne gestion quantitative et qualitative des eaux des retenues du barrage de la Lauch ainsi que du barrage du Ballon. Dans ce cadre général, il s'agit de permettre les trois fonctions suivantes :

- le soutien des étiages de la rivière Lauch en tête de bassin versant, en été et en automne ;
- la préservation de la bonne qualité des eaux des retenues, notamment face aux cyanobactéries ;
- la protection contre les crues et les inondations dans la vallée de Guebwiller en hiver.

Dans son objectif de vérifier la résilience de la retenue du barrage de la Lauch après travaux face au changement climatique, l'EP [1] évalue la capacité à conserver les trois fonctions énoncées au-dessus à l'horizon 2100, dans les différents scénarios d'aménagement envisagés pour assurer l'efficience des investissements pour les 80 prochaines années.

Dans un premier temps, l'EP analyse la résilience d'un aménagement du barrage de la Lauch à une cote d'exploitation 940 m sans réhausse, à la fois dans la situation climatique actuelle et celle d'une projection à l'horizon 2100.

Ensuite, trois scénarios d'adaptation de résilience du projet sont évalués dans l'EP :
- la réhausse du barrage de la Lauch à une hauteur adaptée dans le cadre de sa réhabilitation. Plusieurs niveaux de réhausse sont étudiés avec un approfondissement sur les niveaux +1 m, +3 m, + 5 m ;
- la construction d'une nouvelle retenue, située sur la rivière Lauch à l'aval du barrage existant, dans le secteur de Dauvillers - Linthal ;
- l'augmentation des apports au barrage du Ballon par la dérivation d'une partie des eaux des torrents du Clusbach (transfert de sous-bassins versants).

A ce stade, nous soulignons le bien-fondé, mais aussi le caractère novateur, d'une telle étude visant à évaluer la résilience sur le long terme face au changement climatique d'un projet de remise à niveau d'un barrage dont la durée de vie s'entend sur une période longue. Une telle étude s'inscrit dans un objectif de gestion à long terme du projet d'aménagement. Elle nous est apparue de façon générale de qualité.

Méthodologie de l'EP [1]

Celle-ci repose sur la réalisation d'un modèle de gestion de la ressource en eau du bassin versant (BV) au niveau de la ville de Guebwiller, construit à partir d'un logiciel spécialisé dédié à la modélisation de la gestion intégrée de la ressource (Mike Hydro Basin@).

Cette modélisation intègre les retenues de la Lauch et du Ballon, la prise d'eau de Linthal et les différents sous-bassins versants (le BV de la retenue de la Lauch, le BV de la retenue du Ballon, le BV intermédiaire entre la station hydrométrique de Linthal et les barrages de la Lauch/du Ballon, le BV intermédiaire entre les stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller). Les stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller en sortie du BV servent de point de contrôle du modèle.

La modélisation des apports hydrologiques aux bassins versants d'intérêt est produite à partir des données issues de la station hydrographique de la Petite Fecht à Stosswihr. La gestion des retenues de la Lauch et du Ballon est prise en compte par leur loi hauteur-volume. Les débits réservés des deux retenues, le débit de prélèvement de la prise d'eau de Linthal, la cote minimum pour la retenue de la Lauch (934,82 m – seuil « cyanobactéries ») et la cote minimum pour la retenue du Ballon (981,70 m – seuil « réserve ultime ») sont intégrés dans le modèle.

Le modèle est calé sur les chroniques d'observation journalières 2012 à 2021 des retenues de la Lauch et du Ballon. Le calage du modèle permet de simuler avec une relativement bonne précision les débits journaliers aux deux points de contrôle (stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller), permettant de valider le modèle.

Les travaux récents du projet MOSARH21, qui a eu pour objectif d'évaluer les impacts futurs du changement climatique sur les débits dans le bassin du Rhin en utilisant les simulations climatiques disponibles dans le 5ème rapport du GIEC, ont été utilisées comme référence pour l'évolution des débits dans le BV de la Lauch en temps futur.

La modélisation produite est simple mais robuste, et est bien adaptée à l'objectif de l'étude d'une évaluation de la performance du projet dans la situation actuelle et de la performance des trois scénarios d'adaptation de résilience sur le long terme dans un contexte de changement climatique.

Modélisation pour une réhabilitation à la cote 940 m et dans le temps présent

La première simulation produite prend en compte une réhabilitation du barrage de la Lauch permettant un retour à sa cote historique d'exploitation normale 940 m, dans les conditions hydrologiques actuelles et en utilisant les chroniques de 1977 à 2021. Les résultats montrent que :

- le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 15 et de durée jusqu'à 40 jours consécutifs ;
- le seuil bas « cyanobactéries » au barrage de la Lauch est atteint ou franchi environ 1 année sur 3 ;
- le seuil bas « réserve ultime » au barrage du Ballon est franchi environ 1 année sur 15.

Il apparait dès cette première simulation que le retour à la cote 940 m pour le barrage de la Lauch, à condition hydrologique actuelle, n'est pas pleinement satisfaisant et conduirait à des tensions sur la gestion de la retenue de la Lauch. En outre, cette simulation minimise certainement la réalité sachant que les simulations sont produites sur la période 1977-2021, alors que l'évolution climatique est actuellement déjà sensible.

Modélisation pour une réhabilitation à la cote 940 m et dans le temps futur

La deuxième simulation produite prend en compte une réhabilitation du barrage de la Lauch permettant un retour à sa cote historique d'exploitation normale 940 m, mais dans les conditions hydrologiques futures à l'horizon 2100. Les résultats montrent que :

- le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 6 et de durée jusqu'à 60 jours consécutifs ;
- le seuil bas « cyanobactéries » au barrage de la Lauch est atteint ou franchi environ 1 année sur 2 ;
- le seuil bas « réserve ultime » au barrage du Ballon est franchi environ 1 année sur 6.

Il apparait que le retour à la cote 940 m pour le barrage de la Lauch, à condition future, n'est pas satisfaisante et conduirait à des tensions fréquentes sur la gestion de la retenue de la Lauch questionnant la viabilité de cette solution, qui nécessiterait certainement des recherches de ressources supplémentaires ou une évolution du service de distribution.

Modélisation des scénarios d'adaptation dans le temps futur

Trois scénarios d'adaptation sont étudiés dans l'EP :
- la réhausse adaptée du barrage de la Lauch dans le cadre de sa réhabilitation ;
- l'augmentation des apports au barrage du Ballon par la dérivation d'une partie des eaux des torrents du Clusbach ;
- la construction d'une troisième retenue, située sur la Lauch, à l'aval du barrage existant de la Lauch (Dauvillers).

Scénario d'adaptation 1 – Rehausse du barrage de la Lauch

Plusieurs variantes de réhausse sont étudiées dans [1] : +1m (+25% de volume), +2m, +3m (+75% de volume), +4m, +5m (+130% de volume). La courbe hauteur-volume du barrage rehaussé est prise en compte. Les simulations sont faites pour le temps futur (horizon 2100). Nous rapportons ici les résultats selon les différentes variantes montrent que :

- variante +1m : le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 6 et de durée jusqu'à 50 jours consécutifs ;
- variante +2m : le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 6 et de durée jusqu'à 40-45 jours consécutifs ;
- variante +3m : le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 15 et de durée jusqu'à 40 jours consécutifs ;
- variante +4m : le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 15 et de durée jusqu'à 30 jours consécutifs ;
- variante +5m : le débit-objectif à Linthal présente des épisodes d'étiages inférieurs au débit d'objectif une année sur 20 et de durée jusqu'à 15 jours consécutifs.

Nous remarquons que ces variantes ne sont pas analysées au regard des deux autres critères i) « cyanobactéries » au barrage de la Lauch et ii) « réserve ultime » au barrage du Ballon. Pour être complet, il aurait été pertinent de rajouter ces deux critères dans les simulations.

Il apparait que les variantes +1m et +2m ne permettent pas un gain réellement significatif par rapport à la solution de retour à la cote 940 m. La variante +4m est également très proche en terme de performance à la variante +3m. Ainsi, les meilleures variantes apparaissent être +3m et +5m.

La variante +5m montre que le remplissage complet de la retenue n'est pas atteint pour certaines simulations, mais la fréquence de non atteinte n'est pas indiquée ce qui aurait été une indication importante pour savoir si c'est réellement préjudiciable ou pas pour cette variante.

Egalement, l'analyse économique comparative des variantes n'est pas produite, et il aurait était intéressant de comparer le prix du m³ supplémentaire stocké dans les deux variantes +3m et +5m.

Au final de l'étude [1], la variante +3m apparait être la plus pertinente, en terme d'optimisation de performance, mais aussi de limitation de l'impact environnemental qui reste contenu. Si nous approuvons cette analyse, les compléments indiqués plus haut (en italique) permettrait d'en faire la démonstration complète.

Scénario d'adaptation 2 – Transfert Clusbach vers la retenue du Ballon

Ce scénario comprend 2 points de captage sur le Clusbach, 1 conduite d'adduction, 1 station de pompage, et 1 ouvrage de restitution. Les simulations faites avec le modèle de gestion ne mettent pas en évidence d'amélioration significative (*les apports interannuels du BV du Clusbach et les résultats des simulations ne sont pas donnés dans [1] et auraient y pu figurer*).

Au final, ce scénario 2 serait plutôt à envisager en complément après la mise en œuvre de l'un des deux autres scénarios 1 et 3 d'adaptation. Nous approuvons cette analyse.

Scénario d'adaptation 3 – Nouvelle retenue sur la Lauch

La construction d'un nouveau barrage en aval permettrait un stockage complémentaire de 0,335 hm³ pour un ouvrage de 18 m de hauteur, correspondant approximativement au volume supplémentaire obtenu par une réhausse de +3m du barrage actuel. La performance en terme de soutien d'étiage est donc équivalente à la variante +3m de la réhausse du barrage de la Lauch.

La différence réside dans les aspects liés à la construction d'un nouvel ouvrage de grande hauteur : i) surcout économique très lourd (11 M€ de remise en état du barrage de la Lauch à 940 + 32M€ de construction du nouveau barrage – 5M€ d'économie pour éviter de rehausser le barrage actuel à 943 m = 28 M€), ii) impact environnement fort sur un site naturel, iii) maintenance sur le long terme d'un nouveau barrage.

Définitivement, cette solution n'apparait pas pertinente. Nous approuvons cette analyse.

Analyse économique des scénarios d'adaptation de résilience

L'étude [1] ne produit pas d'analyse économique des différentes solutions discutées. Nous produisons ici une analyse rapide en dégageant le ratio du prix du m³ d'eau stocké au final de l'opération :

Variante / Solution	Volume [hm³]	Prix projet [M€]	Ratio € / m³ stocké
Variante barrage de la Lauch exploité à 940 m	699	11,6	16,79
Variante barrage de la Lauch exploité à 943 m	1020	17,3	16,92
Nouveau barrage sur la Lauch en aval	335	32	95

L'analyse du ratio en € par m³ d'eau stocké montre que les variantes d'exploitation aux cotes 940 m et 943 m aboutissent à des ratios analogues, ne mettant pas en avant une variante économiquement plus intéressante. En revanche, lorsqu'on examine le ratio en € par m³ d'eau gagné par rapport à la situation actuelle (cote d'exploitation 937 m), le rapport est nettement plus favorable à la variante d'exploitation à 943 m (27 € / m³ pour la variante à la cote d'exploitation à 943 m avec un gain de 600 hm³ VS 41 € / m³ pour la variante à la cote d'exploitation à 940 m avec un gain de 279 hm³).

Synthèse des scénarios

L'étude est convaincante sur la nécessité d'accroitre le stockage d'eau pour permettre les fonctions de soutien des étiages de la rivière Lauch et de préservation de la qualité des eaux des retenues, et ce dès la situation hydrologique actuelle et a fortiori plus pour permettre la résilience face aux évolutions climatiques à l'horizon 2100. Elle met en évidence un déficit d'environ 300 hm³ d'eau à l'horizon 2100 pour permettre la réalisation de ces fonctions. Nous approuvons cette analyse.

Parmi les différents scénarios d'adaptation de résilience du projet, le scénario le plus pertinent apparait être indubitablement le scénario d'augmentation de la réserve du barrage de la Lauch, le scénario de transfert du bassin de Clusbach vers la retenue du Ballon pouvant être un scénario ultérieur uniquement complémentaire car insuffisant, et le scénario de construction d'un nouveau barrage sur la Lauch étant irréaliste à la fois sur économiquement et environnementalement.

Dans les différentes variantes du scénario d'augmentation de la réserve de la Lauch, celle d'une réhausse de +3m du barrage permet de gagner environ 320 hm³ de stockage, permettant une bonne performance en terme de soutien d'étiage à l'horizon 2100 sans risque élevé de non remplissage.

La fonction de protection contre les crues est connexe au projet

Le projet étudié est indiqué permettre les trois fonctions suivantes :

1. le soutien des étiages de la rivière Lauch en tête de bassin versant, en été et en automne ;
2. la préservation de la bonne qualité des eaux des retenues, notamment face aux cyanobactéries ;
3. la protection en hiver contre les crues et les inondations dans la vallée de Guebwiller.

Si les deux premières fonctions 1 et 2 constituent des éléments essentiels du projet, nous soulignons ici que la fonction 3 de protection en hiver contre les crues et les inondations dans la vallée de Guebwiller constitue selon notre analyse une fonction connexe du projet, plus qu'une fonction principale. En effet, bien évidemment compte tenu de l'objectif de remplissage de la retenue dans le cadre des fonctions 1 et 2, la retenue de la Lauch va produire un laminage des crues du haut bassin de la Lauch. Mais il garder en tête que le bassin versant contrôlé par barrage de la Lauch (environ 5,1 km²) représente qu'une petite partie du bassin versant de la Lauch à l'entrée de Guebwiller (environ 65 km²). De fait son laminage sera limité. Sa protection est donc essentiellement limitée au bassin versant amont de la Lauch.

Par ailleurs, si l'étude [1] met en évidence par les simulations de gestion qu'un volume de la retenue restera disponible pour le laminage pendant la phase de remplissage hivernale et qu'il y a donc une compatibilité entre les fonctions 1&2 et la fonction 3, l'étude [1] ne quantifie pas la protection apportée par la retenue, ni la période de retour de la crue de protection à assigner potentiellement au barrage. *Aussi pour considérer cette fonction 3 en tant que fonction principale du projet, une analyse complémentaire à l'étude [1] serait nécessaire pour définir pleinement sa performance.*

Enfin, la gestion dynamique de la retenue, consistant à anticiper la survenue d'un évènement de crue par un creux préventif quelques heures avant l'occurrence de la crue par ouverture des vannes de vidange, est un mode de fonctionnement qui n'est pas recommandable actuellement : fiabilité douteuse des prévisions de crue sur des temps courts, risque de produire un creux préventif inutile, risque de produire un creux préventif insuffisant, risque pour le milieu aval d'un lâché soudain.

Aussi, notre expertise conduit à recommander de considérer la fonction de protection contre les crues comme une fonction connexe à l'aménagement de la Lauch, les fonctions principales étant le soutien d'étiage et la préservation de la bonne qualité de l'eau.

Les limites de l'étude de résilience [1]

Nous pouvons souligner certaines limites de l'EP [1] dans son analyse de la résilience à l'horizon 2100, inévitables par essence dans ce type d'analyse prospective :

- **le principe de stationnarité des besoins en eau de la ville de Guebwiller** : si ceux-ci sont actuellement calés sur les orientations du SAGE de la Lauch, il est clair que ces données sont évolutives sur un horizon de long terme, et ce d'autant plus que le barrage disposera immédiatement après son aménagement d'une ressource plutôt (sur)abondante dans le contexte hydrologique actuel, pouvant inciter les décideurs locaux à permettre des développements d'activité ou d'urbanisme plus importants que ceux prévus dans les documents d'aménagement actuels et à faire évoluer ces documents. **Il conviendra de garder une vigilance particulière à la conservation de ces objectifs sur le long terme et faire prévaloir la préservation de la résilience au changement climatique sur le long terme aux intérêts de plus court terme.**

- **le principe de stationnarité du seuil de qualité des eaux** (seuil « cyanobactéries ») : l'étude considère stable le seuil « cyanobactéries » constituant le critère de performance de la qualité des eaux de la retenue de la Lauch. Or dans un contexte de changement climatique, il fort probable que ce seuil évolue de façon défavorable du fait de la hausse de la température de l'eau de la retenue, conduisant à réévaluer à la hausse la hauteur de la retenue en deçà de laquelle la qualité des eaux n'est plus acceptable. De même pour la retenue du Ballon où aucun seuil n'a été fixé et qui pourrait également être dans le futur le siège de ce type de nuisance. Aussi, de telles évolutions conduiraient à réduire défavorablement les marges disponibles pour le soutien d'étiage.
Une solution qui pourrait être étudiée pour pallier cet inconvénient serait l'installation d'une ferme de PV flottants sur la retenue de la Lauch, afin de réduire la montée de la température des eaux superficielles en période estivale. Une telle solution s'inscrirait en outre dans le cadre de la transition énergétique vers les énergies renouvelables, inscrivant définitivement la retenue de la Lauch dans un cadre global de résilience climatique. Une telle installation nécessiterait la prise en compte d'une protection spécifique des organes d'évacuation des crues pour permettre la sécurité du barrage.

Avis sur l'étude AVP [2]

Notre analyse de l'étude AVP [2] est produite sous l'angle de l'analyse des différences entre les deux variantes d'exploitation à 940 m (crête à 942 m) et à 943 m (crête à 945 m), en intégrant la conception de l'aménagement (réhausse, recharge, ouvrages annexes) dans les deux variantes, la stabilité, l'emprise au sol, les impacts sur l'environnement, et le coût. A l'instar de l'EP, nous soulignons en préliminaire que l'étude AVP nous est apparue de façon générale de qualité.

Analyse de la conception de l'aménagement dans les deux variantes

La conception générale dans les deux variantes est analogue :
- le corps du barrage en maçonnerie est maintenu ;
- le barrage est conforté par une recharge en BCR, drainée dans son premier tiers amont ;
- l'ouvrage d'évacuation des crues est aménagé dans la recharge en BCR ;
- le barrage est équipé d'une galerie de vidange axiale et d'une galerie de drainage périmétrale.

Dans la variante d'exploitation à 943 m (crête à 945 m), le barrage est rehaussé par une réhausse en BCR de 3 m dont le profil correspond au profil supérieur du barrage en maçonnerie actuel. La section de la réhausse est rectangulaire, avec des épaulements amont-aval par des murs en BCR enrichis et un remplissage en BCR. *Nous attirons l'attention sur la question de la maitrise des infiltrations et de la durabilité de la face amont en BCR enrichi de la réhausse soumise, dans le contexte du site de la Lauch en altitude, aux cycles de gel-dégel et de marnage. Une solution d'un mur amont en béton BCV, qui constitue la pratique française des barrages-poids en BCR, intégrant une analyse soignée de la formulation du béton, permettrait de garantir cette maitrise, sans pénaliser la réalisation du chantier.*

Concernant l'interface de la recharge en BCR et le corps du barrage en maçonnerie, il est prévu de réaliser une couche amont en BCR enrichi visant à favoriser l'adhérence entre la recharge et le corps du barrage en maçonnerie. Si ce principe est correct, il faut toutefois veiller à ne pas créer une couche étanche en amont de la recharge bloquant les infiltrations d'eau provenant de la maçonnerie et susceptible de créer des surpressions indésirables dans la maçonnerie. Aussi *la question du drainage de cette interface devra être étudiée et traitée avec soin dans la phase PRO, et pourrait dès la phase AVP être examinée en termes de principes, de manière à compléter (voire à complètement remplacer) le drain de la recharge qui n'aura pas de rôle sur le drainage de l'interface.*

Également, la question de l'adhérence entre la recharge et le corps du barrage en maçonnerie est essentielle, sachant que les calculs sont conduits comme si l'ensemble maçonnerie+recharge BCR ne formait qu'un seul ouvrage. *Si cette hypothèse est correcte sur le principe, la question de l'adhérence entre les deux matériaux maçonnerie et BCR est cruciale et devra être étudiée avec soin en phase PRO, en termes de technologie pour permettre cette adhérence (formulation du BCR enrichi et tests éventuels, inclusion éventuelle de tirants) et en termes de modélisation (prise en compte dans un modèle en déformation des différentes raideurs entre les différents matériaux, évaluation du comportement et de la durabilité sous sollicitations sismiques de cette adhérence).*

Concernant la justification de stabilité de l'aménagement dans les deux variantes, les principes de calculs sont identiques pour les différentes situations de projet y compris la situation sismique. Elle est basée dans l'AVP [1] sur un calcul de solide indéformable conformément aux recommandations du CFBR « Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages-poids » – 2012. *Nous formulons deux remarques dans les calculs : i) le poids volumique de la maçonnerie est pris égal à 24 kN/m^3 ce qui est une valeur forte pour la maçonnerie ancienne :ce point devra être précisé en phase PRO ; ii) Les profils des sous-pressions en situation RN donnés dans les annexes C et D pourraient être plus défavorables et pénétrer dans la recharge, le système de drainage actuellement projeté n'agissant que dans le corps de la recharge.*

Par ailleurs, il serait intéressant que le confortement du barrage envisagé (quelle que soit la variante retenue 940 m ou 943 m de cote d'exploitation) permette une éventuelle rehausse du barrage (à l'horizon de plusieurs dizaines d'années) de quelques mètres (typiquement +2m) sans nécessité de reprendre toute la recharge aval. Ainsi, *il pourrait être demandé au chargé d'étude de s'assurer par un calcul de niveau AVP que le confortement apporté par la recharge permettrait la stabilité de l'ouvrage y compris avec une rehausse supplémentaire ultérieure de + 2m. Cette suggestion ne remet pas en cause l'analyse effectuée dans l'EP [1] et notre avis sur celle-ci, mais est faite pour minimiser les travaux d'une rehausse éventuelle qui serait motivée par un accroissement des besoins.*

La conception de l'aménagement dans les deux variantes est identique et ne permet pas de produire une discrimination technique et relative à la sécurité intrinsèque d'une variante sur l'autre.

Analyse de la conception de la recharge aval dans les deux variantes

La recharge aval est conçu de façon analogue dans les deux variantes :

- matériaux de la recharge en BCR ;
- largeur en couronnement de 5 m recouvert d'une dalle en béton conventionnel ;
- emprise à la base identique sur les deux variantes ;
- carapace extérieure en BCR enrichi côté aval ;
- pas de recouvrement aval (recharge de finition qui n'aurait pas eu de rôle structurel) de la recharge en BCR ;
- réseau de drainage analogue.

Au final, les différences se situent sur la cote du couronnement (939 m dans la variante d'exploitation 940 m VS 942 m dans la variante d'exploitation à 943 m), et dans le fruit de la recharge aval (0,67 dans la variante d'exploitation 940 m VS 0,60 dans la variante d'exploitation à 943 m) permettant de conserver la même emprise amont-aval au sol. Ces différences de géométrie aval (fruit aval) n'ont aucune incidence sur la stabilité intrinsèque de la recharge, s'agissant d'un matériau BCR à forte cohésion. *Dans l'étude PRO, la stabilité du barrage devra être étudiée dans le cadre d'une modélisation plus complète que les calculs en solide indéformable, et au moyen de modèles en déformation permettant de prendre en compte les raideurs différentes entre la maçonnerie et le BCR, le comportement de l'interface maçonnerie-BCR, et notamment sous sollicitations sismiques, et avec les caractéristiques réelles des matériaux et de leur interface.*

La conception de la recharge aval dans les deux variantes est identique et ne permet pas de produire une discrimination technique et relative à la sécurité intrinsèque d'une variante sur l'autre.

Emprise au sol

L'emprise au sol de l'aménagement dans les deux variantes montre logiquement une emprise latérale plus importante en rive droite pour la variante d'exploitation à 943 m, débordant jusqu'au belvédère d'observation du site qui sera déposé. La dépose de ce dernier n'a pas de conséquence fonctionnelle, son mauvais état structurel conduisant en outre à ne pas recommander son accès. La route forestière est sur l'emprise de la rehausse, et nécessitera sa surélévation et son déplacement. *En rive gauche, l'emprise ne semble pas impactée d'après l'AVP et ses plans. Les aménagements nécessaires sur le RD430 (rehausse de la route, mur de soutènement) ne sont pas traités dans l'étude*.

Aspect visuel de l'aménagement dans les deux variantes

Dans les deux variantes, l'aspect visuel reste analogue :

- recharge analogue ;
- conservation visuelle des deux ouvertures aval des pertuis en rive droite (cf élévation aval) ;
- suppression des pertuis en rive gauche.

Les différences se situent :

- dans la hauteur de l'ouvrage et sa rehausse pour la variante d'exploitation à 923 m ;
- l'emprise au sol plus importante en rive droite, mais qui restera peu visible dans une zone de forêt.

Au final, la différence relativement à l'aspect visuel se situera essentiellement dans la rehausse de la partie supérieure du barrage. Un soin architectural particulier des parements amont et aval de la réhausse permettrait de réduire cet impact. L'AVP indique plusieurs pistes : parement en béton matricé (qui a été mis en œuvre récemment avec un beau rendu sur le barrage de Dardennes – Ville de Toulon – cf photo plus bas), parement maçonné.

Bajoyer en parement matricé sur le barrage de Dardennes (83) – Coffrage avec rendu finition maçonnerie

Impact environnemental dans les deux variantes

L'impact est lié à une augmentation de l'emprise de la retenue dans sa cuvette et aux impacts sur le milieu jouxtant la retenue. Cet aspect n'est pas traité dans [2] et sera traité en phase PRO.

Analyse économique de l'aménagement dans les deux variantes

L'étude AVP [2] indique l'estimation financière des variantes, que nous pouvons compléter par une analyse rapide en dégageant le ratio du prix du m^3 d'eau stocké et gagné au final de l'opération :

Variante	Volume [hm^3]	Prix projet [M€]	Ratio € / m^3 stocké	Ratio € / m^3 gagné
Variante barrage de la Lauch exploité à 940 m	699	11,6	16,79	41,5
Variante barrage de la Lauch exploité à 943 m	1020	17,3	16,92	28,8

La différence de coût entre les deux variantes est expliquée logiquement par :
- la recharge plus haute (34%) ;
- la rehausse du barrage (21%) ;
- les mesures environnementales (13%).

L'analyse du ratio en € par m^3 d'eau stocké montre que les variantes d'exploitation aux cotes 940 m et 943 m aboutissent à des ratios analogues, ne mettant pas en avant une variante économiquement plus intéressante. En revanche, **lorsqu'on examine le ratio en € par m^3 d'eau gagné par rapport à la situation actuelle (cote d'exploitation 937 m), le rapport est nettement plus favorable à la variante d'exploitation à 943 m** (28,8 € / m^3 pour la variante à la cote d'exploitation à 943 m avec un gain de 600 hm^3 VS 41,5 € / m^3 pour la variante à la cote d'exploitation à 940 m avec un gain de 279 hm^3).

Synthèse

Dans le cadre de l'opération de réhabilitation du barrage de la Lauch, il a été pris en compte l'évolution climatique à l'horizon 2100 et l'étude des scénarios d'adaptation de résilience du projet à travers une étude préliminaire [1]. Cette étude a visé l'évaluation de la résilience de la retenue et de son usage sur le long terme face au changement climatique. Nous soulignons ici le caractère novateur et le bien-fondé de cette initiative pour un aménagement dont la durée de vie s'entend sur une période longue et dans un objectif de gestion à long terme de la retenue.

L'étude préliminaire fait la démonstration que la simple remise à niveau du barrage de la Lauch permettant un retour à une exploitation à la cote 940 m ne permettrait pas d'accomplir de façon satisfaisante les fonctions de soutien des étiages de la rivière Lauch et de préservation de la qualité des eaux des retenues, et ce dès à présent où des tensions sur la gestion de la retenue de la Lauch se ferait régulièrement ressentir (1 année sur 3 pour la fonction de préservation de la qualité de l'eau), et a fortiori sensiblement plus pour permettre la résilience face aux évolutions climatiques à l'horizon 2100. Elle met en évidence un déficit d'environ 300 hm^3 d'eau à l'horizon 2100 pour permettre la réalisation de ces fonctions.

Parmi les différents scénarios d'adaptation de résilience du projet, le scénario le plus pertinent apparait être indubitablement le scénario d'augmentation de la réserve du barrage de la Lauch, le scénario de transfert du bassin de Clusbach vers la retenue du Ballon pouvant être un scénario ultérieur complémentaire, et le scénario de construction d'un nouveau barrage sur la Lauch paraissant irréaliste à la fois à la fois sur économiquement et environnementalement.

Dans les différentes variantes du scénario d'augmentation de la réserve de la Lauch, celle d'une réhausse de +3m du barrage permet de gagner environ 320 hm^3 de stockage, permettant une bonne performance en terme de soutien d'étiage à l'horizon 2100 sans risque de non remplissage.

Notre expertise de l'étude d'avant-projet [2] ne met pas en évidence de différences sensibles entre les deux variantes de confortement du barrage permettant, soit i) une exploitation à 940 m, ou soit ii) une rehausse autorisant une exploitation à 943 m. Les techniques et technologies mises en œuvre pour chacune des deux variantes sont analogues et les deux variantes présentent le même niveau de sécurité, notamment sur le plan de la stabilité au séisme.

La différence économique conduit à une plus-value d'environ 4,72 M€ pour la variante d'exploitation à 943 m, avec un coût de stockage du m^3 analogue entre les deux variantes, mais un net avantage (31%) pour le prix du m^3 supplémentaire gagné dans la variante à 943 m.

Au final, la solution de conforter le barrage de la Lauch avec la variante portant son exploitation à 943 m (rehausse à 945 m) nous apparait la solution la plus avantageuse, sur le court et le long terme.

Nous soulignons qu'il conviendra de porter une vigilance particulière à la conservation des orientations du SAGE de la Lauch sur le long terme et faire prévaloir la préservation de la résilience au changement climatique sur le long terme aux intérêts de développements locaux de plus court terme.