



Barrage de La Lauch

Mission de Maîtrise d'œuvre de la réhabilitation du barrage

ETUDE PRELIMINAIRE



Barrage de La Lauch
Mission de Maîtrise d'œuvre de la réhabilitation du barrage
Collectivité Européenne d'Alsace
Etude Préliminaire

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI PAR	APPROUVÉ PAR	DATE
B	Deuxième émission suite commentaires CEA	PY. BOURGIN M. ESPLENDIU	G. DAUTOIS	16/09/2022
A	Première émission	PY. BOURGIN M. ESPLENDIU	G. DAUTOIS	02/06/2022

ARTELIA EAMO
6, rue de LORRAINE 38130 ECHIROLLES – TEL 04 76 33 40 00

ARTELIA
16 Rue Simone Veil - 93400 Saint-Ouen-sur-Seine

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	6
1.1. Contexte : une rehabilitation necessaire du barrage de la lauch	6
1.2. Approche globale et durable de la ressource en eau et compatibilite de l'etude preliminaire avec le cadre du sage de la lauch et du sdage RHIN-MEUSE	7
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE PRÉLIMINAIRE	8
2.1. conserver la bonne gestion quantitative et qualitative des retenues en eau des lacs de la Lauch et du Ballon	8
2.1.1. Enjeu de soutien des étiages de la rivière Lauch, en tête de bassin versant, en été et automne.....	8
2.1.2. Enjeu de préservation de la bonne qualité des eaux des lacs face aux cyanobactéries	8
2.1.3. Enjeu de protection en hiver contre les crues et les inondations dans la vallée de Guebwiller.....	9
2.2. Résilience de la ressource en eau du système lacs de la lauch et du ballon et stratégies d'adaptation identifiées face au changement climatique	9
2.3. Méthodologie et organisation du rapport	11
3. PROJECTION CLIMATIQUE SUR LA RESSOURCE EN EAU EXISTANTE À L'HORIZON 2100	13
3.1. Fonctionnement hydrologique des retenues Lauch et Ballon...	13
3.1.1. Données.....	13
3.1.2. Analyse générale	13
3.1.3. Etiages remarquables	19
3.2. Hydrologie pour la modelisation	24
3.2.1. Données.....	24
3.2.2. Projections temps futur	27
3.3. Modèle d'allocation (ou de gestion)	30
3.3.1. Données.....	30
3.3.2. CALAGE	32
3.4. Résultats	36

3.4.1.	Scénario de référence temps présent.....	36
3.4.2.	Temps futur – soutien des étiages	38
3.4.3.	Temps futur – protection contre les crues.....	39
3.4.4.	Tableau de synthèse.....	41
4.	STRATÉGIE D’ADAPTATION – TEMPS FUTUR	42
4.1.	Stratégie d’adaptation 1 – Rehausse du barrage de la Lauch ...	42
4.1.1.	Description.....	42
4.1.2.	Bénéfices sur la ressource en eau	45
4.1.3.	Impacts et conséquences induits	48
4.1.4.	Chiffrage préliminaire.....	52
4.2.	Stratégie d’adaptation 2 – Transfert Clusbach	53
4.2.1.	Description.....	53
4.2.2.	Bénéfices sur la ressource en eau	56
4.2.3.	Impacts et conséquences induits par le projet	56
4.2.4.	Chiffrage préliminaire.....	57
4.3.	Stratégie d’adaptation 3 – Nouvelle retenue sur la Lauch.....	58
4.3.1.	Description.....	58
4.3.2.	Bénéfices sur la ressource en eau	62
4.3.3.	Impacts et conséquences induits par le projet	63
4.3.4.	Chiffrage préliminaire.....	63
5.	CONCLUSION	65
5.1.	projection localisée du changement climatique.....	65
5.2.	Définition d’une stratégie de résilience de la ressource en eau du secteur face au changement climatique.....	65
	ANNEXE A STRATÉGIE D’ADAPTATION 1 : DÉTAIL DES QUANTITÉS ESTIMÉES	68
	ANNEXE B STRATÉGIE D’ADAPTATION 3 : DÉTAIL DES QUANTITÉS ESTIMÉES	70

FIGURES

Figure 1 : Coupe du barrage et de sa recharge aval existante	6
Figure 2 – Schéma des phases successives de la mission MOE	7
Figure 3 – Schéma de principe de la méthodologie pour l'EP	12
Figure 4 – Chroniques journalières du niveau de la retenue de la Lauch et des débits de la Lauch à Linthal (2006-2021)	14
Figure 5 – Chroniques journalières du niveau de la retenue de la Lauch et de la pluviométrie au poste Oderen-Markstein (2014-2017)	15
Figure 6 – Evolution mensuelle (2012-2021) de la pluviométrie, du niveau et des lâchures à la retenue de la Lauch	17
Figure 7 – Evolution mensuelle (2012-2021) de la pluviométrie, du niveau et des lâchures à la retenue du Ballon	17
Figure 8 – Evolution moyenne saisonnière (2012-2021) des apports, du niveau et des lâchures à la retenue de la Lauch	18
Figure 9 – Evolution moyenne saisonnière (2012-2021) du niveau et des lâchures à la retenue du Ballon	18
Figure 10 – Série journalière (2012-2021) du niveau dans les retenues de la Lauch (haut) et du Ballon (bas)	19
Figure 11 – Evolution de la pluviométrie et du débit à Linthal (2015-2016)	21
Figure 12 – Evolution du niveau et des lâchures aux retenues de la Lauch et du Ballon (2015-2016)	21
Figure 13 – Evolution de la pluviométrie et du débit à Linthal (2018-2019)	23
Figure 14 – Evolution du niveau et des lâchures aux retenues de la Lauch et du Ballon (2018-2019)	23
Figure 15 –Ecoulement cumulé aux stations hydrométriques.....	25
Figure 16 –Régime moyen saisonnier aux stations hydrométriques	25
Figure 17 –Débits journaliers de la Lauch, la Fecht et la petite Fecht (2020-2022)	26
Figure 18 – Variabilité inter-annuelle des débits aux stations hydrométriques	26
Figure 19- Evolution possible des débits d'étiage sur les bassins de la Moselle, de la Sarre et du Rhin (haut) et détails de la Lauch à Linthal (bas) (RCP8.5 horizon 2071-2100) – source : MOSARH21	28
Figure 20 – Débits moyens mensuels des apports à la Lauch temps présent (TP) et temps futur (TF)	29
Figure 21 – Capture d'écran du modèle d'allocation de la Lauch	30
Figure 22 – Comparaison des niveaux observés et simulés à la Lauch.....	33
Figure 23 – Comparaison des niveaux et lâchures observés et simulés à la Lauch	33
Figure 24 – Comparaison des niveaux observés et simulés au Ballon	34
Figure 25 – Comparaison des niveaux et lâchures observés et simulés au Ballon	34
Figure 26 – Comparaison des débits observés et simulés à Linthal	35
Figure 27 – Comparaison des débits observés et simulés à Linthal (moyenne mensuelle)	35
Figure 28 – Série du niveau simulé au barrage de la Lauch (1977-2021)	36
Figure 29 – Série du débit simulé de la Lauch à Linthal (1977-2021)	37
Figure 30 – Série du débit simulé de la Lauch à Linthal (1977-2021) – zoom sur les périodes sèches	38
Figure 31 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur	40
Figure 32 – Série du niveau simulé du barrage du Ballon - temps futur	40
Figure 33 – Topographie existante aux abords de l'aménagement de la Lauch.....	43
Figure 34 – Loi Hauteur / Volume du réservoir de la Lauch (au-delà de la RN 940 m)	44
Figure 35 – Coupe-type du principe de réhausse au barrage de la Lauch	44
Figure 36 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur – réhausse +1 m	45
Figure 37 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur – réhausse +3 m	46
Figure 38 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur – réhausse +5 m	46
Figure 39 – Comparaison des résultats après éventuelle réhausse du barrage de la Lauch.....	48
Figure 40 – Cartographie des espèces floristiques patrimoniales répertoriées à ce jour sur le site du barrage de la Lauch	49
Figure 41 - Vue en plan générale du réservoir de la Lauch surélevé de 3m	51
Figure 42 – Carte de localisation des bassins versants des barrages de la Lauch, du Ballon et des torrents de Clusbach au droit du site envisagé pour la dérivation.....	53

Figure 42 – Carte de localisation des principaux ouvrages du scénario de transfert des eaux du Clusbach vers le lac du Ballon.....	55
Figure 44 – Carte de localisation des bassins versants des barrages de la Lauch, du Ballon et d’un nouveau barrage au site envisagé.....	58
Figure 43 – Loi Hauteur / Volume du réservoir complémentaire	59
Figure 44 – Coupe-type du nouveau barrage sur la Lauch.....	60
Figure 47 – Plan masse de l’aménagement complémentaire en aval du barrage de la Lauch.....	61
Figure 48 – Plan masse de l’aménagement complémentaire en aval du barrage de la Lauch.....	62
Figure 46– Carte montrant la situation de la zone R.B.I. par rapport au nouvel aménagement.....	63

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE : UNE REHABILITATION NECESSAIRE DU BARRAGE DE LA LAUCH

Le barrage de la Lauch est le dernier barrage alsacien propriété de l'Etat qui a vocation à être rétrocédé par convention de transfert à la Collectivité européenne d'Alsace (CeA) à l'issue de travaux nécessaires de réhabilitation. La CeA est désignée par l'Etat en tant que maître d'ouvrage principal de ces travaux via cette même convention.



Situé à 942 m d'altitude (crête de digue) sur les trois bans des communes de LINTHAL, LAUTENBACH-ZELL et FELLERING (Haut-Rhin) et construit entre 1889 et 1894, il s'agit d'un barrage de type poids en maçonnerie couplé à une recharge aval d'appui.

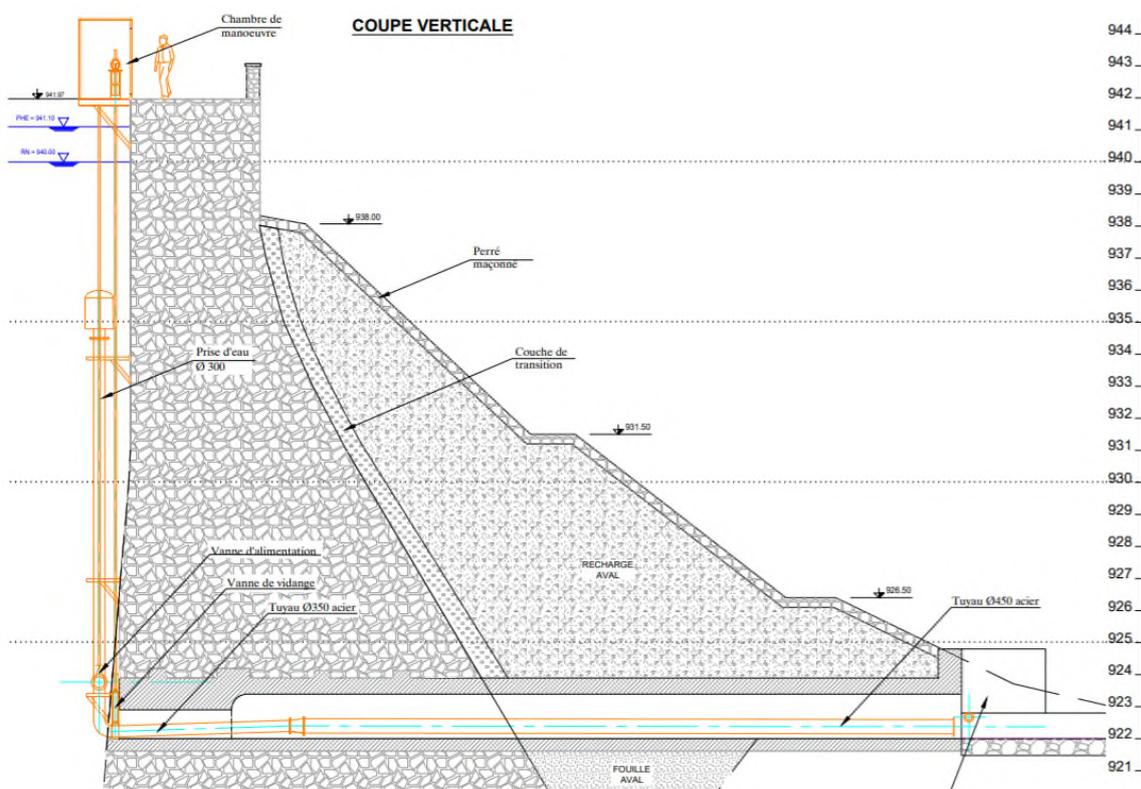


Figure 1 : Coupe du barrage et de sa recharge aval existante

Ce barrage assure une fonction importante de rétention des crues en hiver pour toute la vallée de Guebwiller. C'est également un ouvrage indispensable (en duo avec le barrage du lac du Ballon) au bon équilibre de la ressource en eau sur le territoire de la Communauté de Communes de la Région de Guebwiller (CCRG), à travers le soutien des étiages de la rivière Lauch pour assurer notamment les besoins en eau des milieux aquatiques et des usages (principalement l'alimentation en eau potable de la vallée de Guebwiller).

D'une hauteur initiale de retenue d'eau de 22 mètres, cet ouvrage disposait alors d'un volume de 690 000 m³ à la cote 940,00 mNGF (retenue normale pleine). **Actuellement ce barrage ne peut être exploité que jusqu'à la cote 937m NGF (420 000 m³) dans le cadre d'une procédure de révision spéciale, afin d'assurer sa stabilité en cas de séisme d'accélération supérieure ou égale à 0,25G suite à des observations de décollement vers l'aval et de tassement irréversibles de sa recharge aval (arrêté préfectoral du 25 juin 2008).**

De plus, la capacité d'évacuation des crues de la retenue est assurée jusqu'à la crue décennale mais il persiste un doute quant au risque d'érosion de la recharge aval et donc un risque de déstabilisation de l'ouvrage en cas de crue supérieure à la crue centennale.

Le barrage de la Lauch est donc dans l'attente de travaux importants de réhabilitation et de sécurisation.

1.2. APPROCHE GLOBALE ET DURABLE DE LA RESSOURCE EN EAU ET COMPATIBILITE DE L'ETUDE PRELIMINAIRE AVEC LE CADRE DU SAGE DE LA LAUCH ET DU SDAGE RHIN-MEUSE

Dans une logique d'approche globale et durable du projet, et en conformité avec les orientations et dispositions du SDAGE Rhin-Meuse 2022-2027 et du Plan d'Adaptation et d'Atténuation au Changement Climatique du bassin Rhin-Meuse 2019-2024, et dans le respect de la mise en œuvre des enjeux et dispositions du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Lauch, **la conduite de cette opération** (de travaux de réhabilitation du barrage de la Lauch) **intègre dès le départ la nécessité de concevoir le projet au regard des scénarios connus à ce jour d'évolutions climatiques et l'étude des scénarios d'adaptation de résilience du projet.** Les études de maîtrise d'œuvre prévoient une Etude Préliminaire (EP) dite de « 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. Les phases successives de la mission de la MOE sont schématisés à la Figure 2 ci-dessous avec la mise en évidence de la phase d'Etude Préliminaire (EP) objet du présent rapport.

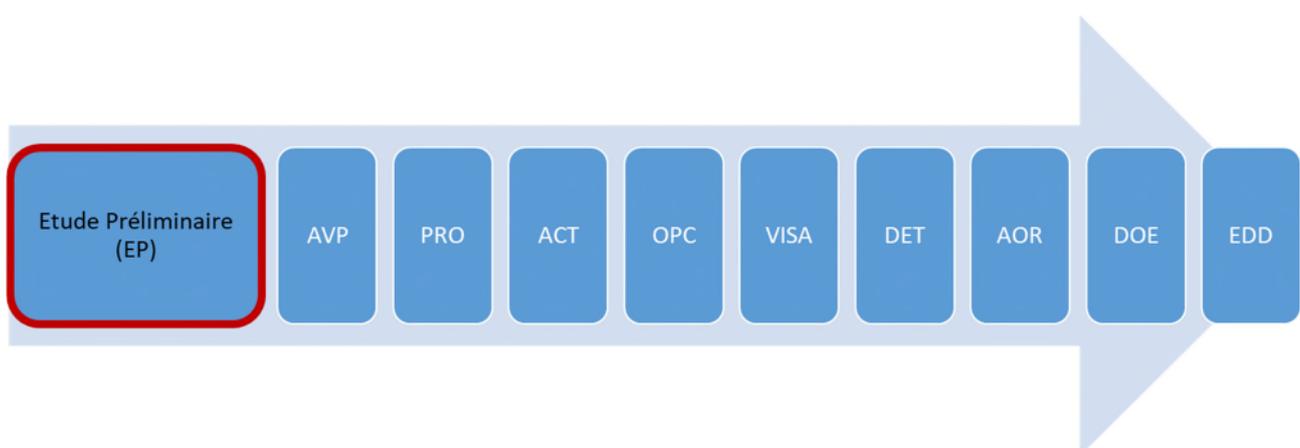


Figure 2 – Schéma des phases successives de la mission MOE

Les hypothèses et les conclusions de cette étude préliminaire respectent notamment le cadre actuellement établi par le SAGE de la Lauch sur la stratégie de préservation et de partage des ressources en eau du bassin versant, notamment en matière d'objectifs de gestion des retenues, des besoins des milieux aquatiques en étiage et de la conservation des prélèvements en eau sur la rivière Lauch (voir en parties suivantes 2 et 3).

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE PRELIMINAIRE

2.1. CONSERVER LA BONNE GESTION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES RETENUES EN EAU DES LACS DE LA LAUCH ET DU BALLON

2.1.1. Enjeu de soutien des étiages de la rivière Lauch, en tête de bassin versant, en été et automne

Le bassin versant de la Lauch est le seul du département du Haut-Rhin dans lequel il existe un prélèvement en rivière de grande envergure : une **prise d'eau sur la Lauch** à LINTHAL permet l'alimentation en eau potable de la Communauté de Communes de la Région de Guebwiller. Cette prise alimente environ 36 000 habitants dans la vallée avec un prélèvement moyen annuel d'environ 1,6 millions de m³. Cette situation a pour conséquence une **vulnérabilité élevée de la ressource en eau potable et des milieux aquatiques**. Des assecs sont très régulièrement observés en été et à l'automne, en moyenne une année sur deux sur la basse vallée à partir de Rouffach jusqu'à Herrlisheim-Près-Colmar. A ce titre, le bassin versant de la Lauch fait l'objet depuis quelques années d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) qui s'est donné notamment pour objectif de concilier, dans un contexte de changement climatique, la préservation du débit naturel de la Lauch pour les milieux aquatiques en périodes de basses eaux, et la sécurisation durable de l'alimentation en eau potable de la vallée de Guebwiller.

Grâce à leurs capacités de retenue, les barrages de la Lauch et du Ballon assurent le **soutien d'étiage de la Lauch amont jusqu'à Guebwiller**, en restituant en saison estivale voire automnale une partie importante des eaux stockées durant ou pendant la fin de la période hivernale.

Les **règlements d'eau des barrages** (arrêtés préfectoraux) fixent notamment les conditions de ce soutien d'étiage en termes d'exploitation des deux retenues avec une assignation à respecter :

- les **débits réservés** à maintenir à l'aval immédiat des barrages Lauch et Ballon, respectivement 18 l/s et 4 l/s ;
- les **débits objectifs** (ou seuils d'alerte étiage) de la Lauch aux stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller, respectivement 150 l/s et 230 l/s.

Le SAGE de la Lauch donne également en annexe 3 de son Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) une estimation des débits minimum biologiques (DMB) sur la rivière Lauch à LINTHAL et GUEBWILLER (respectivement [175 à 225 l/s] et [193 à 248 l/s]). Ces DMB permettent le plein épanouissement de la vie aquatique piscicole tout au long du cycle de vie et leur valeur est donc par définition nettement supérieure à celle des débits objectifs durant la période d'étiage : ainsi dans la présente étude, les débits réservés et les débits objectifs ont d'abord été considérés pour vérifier la résilience des retenues des lacs Lauch et Ballon face au changement climatique. Le rôle des retenues d'eau des barrages de la Lauch et du Ballon est très présent dans les **dispositions du SAGE** relatives à l'enjeu Milieu et quantité des ressources en eau (601 à 606). Y figurent notamment l'**optimisation du rôle de soutien d'étiage** par une gestion dynamique du volume disponible et la nécessité du **rétablissement du barrage de la Lauch à sa cote de fonctionnement d'origine**.

2.1.2. Enjeu de préservation de la bonne qualité des eaux des lacs face aux cyanobactéries

Les eaux du lac de la Lauch sont concernées depuis 2015 par la présence de cyanobactéries, qui prolifèrent désormais chaque année de manière saisonnière de l'été jusqu'à l'automne lorsque les eaux de surface se réchauffent suffisamment. Certains de ces micro-organismes naturels peuvent potentiellement libérer des toxines dites microcystines qui peuvent être toxiques pour les animaux. De manière préventive il est recommandé de se laver les mains et les parties du corps en cas de contact d'une eau contaminée, et de ne pas consommer les poissons pêchés durant les périodes de prolifération. Au-delà de 1 µg/l de toxines dans les eaux de surface d'un lac, ce sont tous les usages qui sont alors proscrits (pêche, activités nautiques, baignades, plongées, etc.).

Le Lac du Ballon n'est pas à ce jour concerné par la présence de cyanobactéries, les eaux de surface restant plus froides car elles ne sont pas suffisamment exposées à la lumière et la chaleur du soleil (bassin versant très encaissé).

Par application des seuils réglementaires, et sur la base d'un retour d'expériences testé avec succès sur site durant les années 2016 et 2017, l'ARS Grand-Est a développé depuis 2018 un protocole sanitaire de décision pour la préservation de la bonne qualité de l'eau potable distribuée à partir de la prise d'eau potable sur la Lauch à LINTHAL en aval des deux barrages de la Lauch et du Ballon. Ce protocole intègre notamment une atténuation préventive de la pointe de prolifération des cyanobactéries, avec une cote limite basse du plan d'eau en été-automne du lac de la Lauch (13 m d'eau restant ou 934,82 mNGF), en dessous duquel le débit sortant du barrage de la Lauch doit être au débit réservé et les eaux de la Lauch soutenues majoritairement par les eaux du lac du Ballon (non contaminé). Ce principe a permis ces dernières années de limiter les taux observés de toxines dans la rivière à l'amont de la prise d'eau potable. Cette cote limite basse sera donc intégrée dans l'étude de la résilience des ressources en eau des lacs de la Lauch et du Ballon face au changement climatique pour l'horizon 2100.

2.1.3. Enjeu de protection en hiver contre les crues et les inondations dans la vallée de Guebwiller

Le bassin versant de la Lauch est très concerné par l'**aléa inondation** et bénéficie à ce titre depuis 2006 d'un Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) couvrant le territoire de 15 communes. Les épisodes de crues de la Lauch ont lieu essentiellement en période hivernale et printanière suite à des pluies abondantes parfois associées à la fonte du manteau neigeux. La Lauch présente un caractère torrentiel jusqu'à Guebwiller avec des crues rapides et violentes. Elle charrie un débit solide important en période de crue constitué de blocs et de galets susceptibles d'engendrer des dégâts très conséquents. La vallée de la Lauch a connu plusieurs inondations importantes au cours du siècle dernier (1947, 1955, 1983 et 1990). La crue de février 1990 a causé de graves dégâts matériels dans la vallée, en particulier sur la commune de Buhl.

Ainsi, le barrage de la Lauch est également amené à jouer à cette période de l'année (hiver) un rôle important de **protection contre les crues des communes de la vallée de Guebwiller**, en particulier par la mise en œuvre d'une consigne d'exploitation saisonnière ménageant un creux de stockage des volumes de crues dans la retenue en hiver.

De plus, selon une étude hydraulique du Conseil Général du Haut-Rhin (CG68) réalisée en 2008, en modifiant les ouvrages de vidange pour atteindre une capacité de 15 m³/s, la retenue pourrait être mobilisée (creux préventif) pour retenir une majeure partie de la crue centennale et éviter la destruction de nombreux ponts et ouvrages routiers dans la vallée jusqu'à l'aval de Guebwiller. Grâce à cet effet de laminage (ou d'écrêtement), **la crue centennale** pourrait transiter par les communes situées le long de la Lauch sans les inonder et sans dégâts majeurs sur les infrastructures (CG68). Cette capacité de vidange est l'un des objectifs à atteindre lors de la réhabilitation à venir du barrage de la Lauch. Une nouvelle galerie de restitution sera donc à prévoir, dotée d'un nouveau système de vannage de plus grande section de vidange.

Enfin on retrouve le barrage de la Lauch dans le SAGE de la Lauch et sa disposition 502 (préservé les zones inondables) relative à l'enjeu inondation, avec la réhabilitation du barrage (a minima) à sa côte d'origine d'exploitation comme mesure nécessaire à cette capacité de protection.

2.2. RESILIENCE DE LA RESSOURCE EN EAU DU SYSTEME LACS DE LA LAUCH ET DU BALLON ET STRATEGIES D'ADAPTATION IDENTIFIEES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le Plan d'adaptation et d'atténuation pour les ressources en eau du bassin Rhin-Meuse adopté par le Comité de bassin en 2018 dresse le bilan des changements climatiques déjà observés et à venir sur le territoire Rhin-Meuse et leurs impacts sur l'hydrologie : **augmentation de l'intensité des crues, accentuation de l'étiage**, augmentation des températures, **sécheresses plus fréquentes et plus marquées**, réchauffement de l'eau.

Le SAGE de la Lauch fixe actuellement à ce titre un cadre (de préservation de la disponibilité des ressources en eau) pour l'évolution des activités socio-économiques consommatrices en eau (industries agro-alimentaires, agriculture et irrigation, alimentation en eau potable, etc.) à travers le statut quo (plafonnement) **des prélèvements** (de toute nature) dans la Lauch et sa nappe d'accompagnement à hauteur de la moyenne globale des prélèvements durant les années 2006-2015.

Dans ce contexte, l'étude préliminaire a pour objectif principal de **vérifier la résilience** de la retenue du barrage de la Lauch (après travaux) **face au changement climatique**, c'est-à-dire sa **capacité à conserver ses fonctions de soutien d'étiage** et de **protection contre les inondations à l'horizon 2100**, et le cas échéant **d'adapter les scénarios pour assurer la bonne efficacité des investissements portés par la CeA pour les 80 prochaines années**.

Cette vérification implique de dresser l'état initial et l'état futur du **bilan ressources-besoins** du bassin versant de la Lauch à l'amont de la prise d'eau de Linthal.

Ensuite en cas d'état futur identifié comme « déficitaire », **trois mesures structurelles** identifiées par le maître d'ouvrage (parmi les études déjà existantes sur la période 1990-2021) seront étudiées et comparées au moyen d'une **analyse préliminaire « coût-bénéfices sur la ressource en eau »** pour permettre au maître d'ouvrage un choix éclairé dans la poursuite de l'opération, à savoir :

- la réhausse adaptée du barrage de la Lauch dans le cadre de sa réhabilitation ;
- la construction d'une retenue superficielle, située sur la Lauch à l'aval du barrage existant de la Lauch dans un secteur favorable (Dauvillers - LINTHAL) identifié depuis 1992 dans une étude de la DDAF68 ;
- l'augmentation des apports au barrage du Ballon par la dérivation et le pompage d'une partie des eaux des torrents du Clubach (transfert de sous-bassins versants).

2.3. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU RAPPORT

La méthodologie utilisée est illustrée à la figure suivante. La quantification des ressources disponibles a été réalisée pour le temps présent et pour le temps futur (horizon 2100). Ainsi un bilan ressource-besoin a pu être établi à l'aide d'un modèle d'allocation des ressources, avec comme composantes principales les retenues de la Lauch et du Ballon et la prise d'eau de Linthal. La simulation pour le temps présent a permis de reproduire le fonctionnement hydrologique influencé du bassin versant (calage du modèle).

Pour le temps futur, le modèle calé a ensuite permis de vérifier si les ressources en eau disponibles dans le futur (lacs de la Lauch et du Ballon) pourront encore satisfaire les demandes en eau actuelles pour différents scénarios : le scénario de référence, c'est-à-dire sans mesures structurelles d'aménagement, et pour les 3 scénarios d'adaptation au changement climatique (mesures structurelles évoquées en fin de paragraphe précédent 2.2).

La suite de ce rapport est organisée comme suit :

- Partie 3 : projection climatique sur la ressource en eau existante à l'horizon 2100
 - analyse du fonctionnement hydrique des retenues de la Lauch et du Ballon sur la période 2012-2021 ;
 - analyse hydrologique du bassin versant considéré ;
 - construction et calage du modèle d'allocation des ressources en eau (2012-2021) ;
 - simulation du modèle sur la période de référence temps présent ;
 - simulation du modèle en temps futur ;
- Parties 4 et 5 : analyse des trois scénarios d'adaptation (avec mesures structurelles) et définition de la stratégie d'adaptation au changement climatique dans le temps futur.

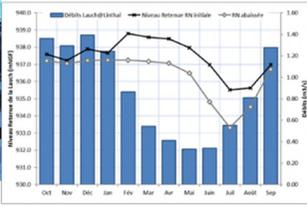
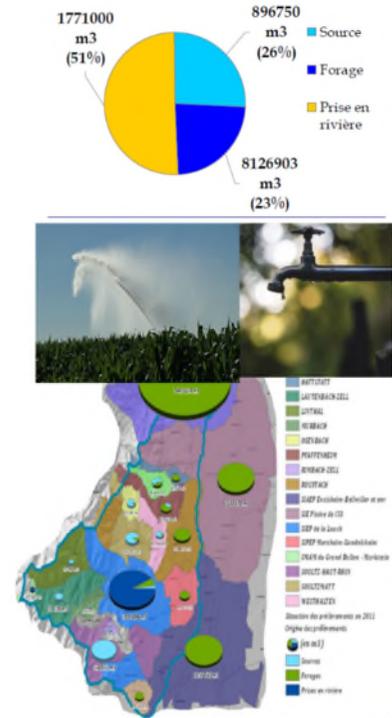
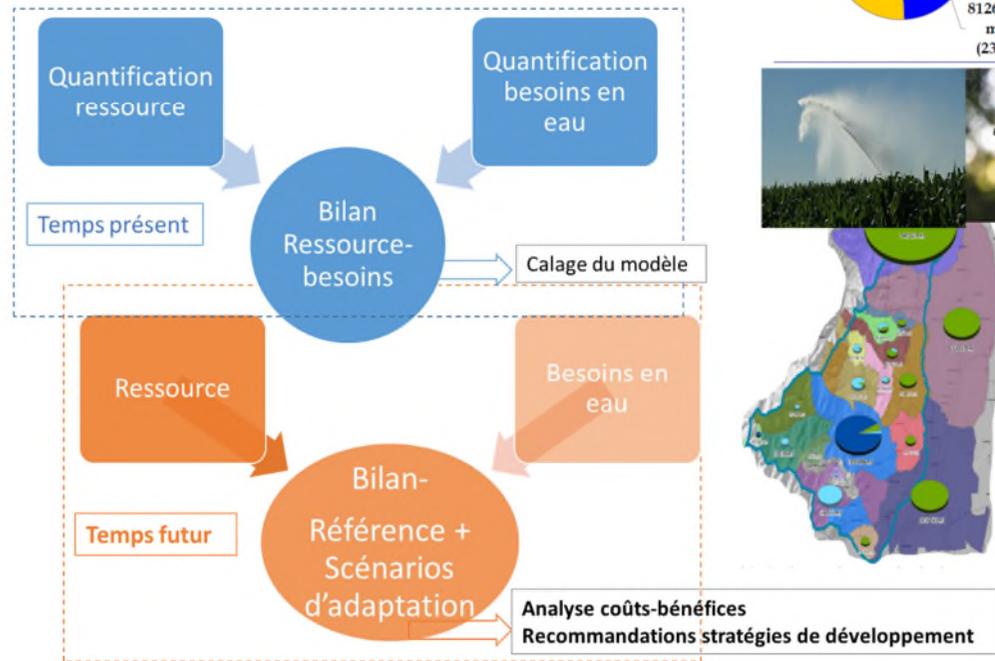
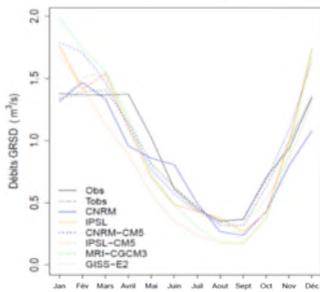
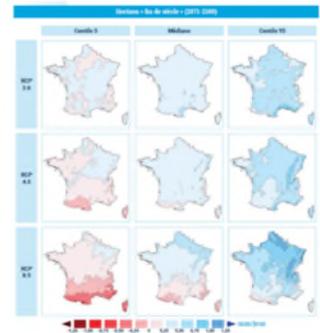
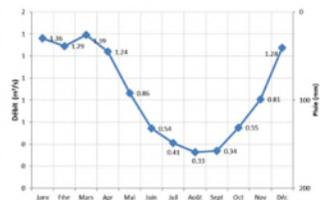


Figure 3 – Schéma de principe de la méthodologie pour l'EP

3. PROJECTION CLIMATIQUE SUR LA RESSOURCE EN EAU EXISTANTE A L'HORIZON 2100

3.1. FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES RETENUES LAUCH ET BALLON

3.1.1. Données

Les données d'exploitation disponibles pour l'analyse du fonctionnement hydrologique des retenues de la Lauch et du Ballon sont comme suit :

- Retenue de la Lauch :
 - La série journalière, complète à partir de 2012, du niveau d'eau dans la retenue de la Lauch sur la période du 1^{er} janvier 2006 au 24 juillet 2021.
 - Les relevés hebdomadaires de niveau d'eau et de débit sortant réalisés et fournis par le gardien du barrage de la Lauch sur la période du janvier 2012 à novembre 2021. Le débit sortant est obtenu par lecture d'une échelle limnimétrique placée sur le canal de restitution et passage par la courbe de tarage établie par l'INRAE ;
- Retenue du Ballon : la série journalière complète du niveau d'eau et du débit sortant à la retenue du Ballon sur la période du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2021 ;
- Météorologie : la série journalière complète de la température de l'air et des précipitations à la station météorologique Météo-France (Id 68247003) dite Oderen-Markstein, située à l'altitude 1 184 m, sur la période du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2021 ;
- Hydrométrie : les données hydrométriques aux stations de la Lauch à Linthal [A1502040, 28,3 km²] et de la Lauch à Guebwiller [A1522020, 68 km²], sont également mobilisées pour l'analyse du fonctionnement hydrologique des retenues de la Lauch et du Ballon. Les données hydrométriques sont extraites du portail national (<https://www.hydro.eaufrance.f>).

3.1.2. Analyse générale

La Figure 4 ci-dessous illustre l'évolution journalière du niveau de la retenue de la Lauch et des débits à Linthal sur la période 2006-2021. La Figure 5 illustre l'évolution journalière comparée du niveau d'eau de la retenue de la Lauch et de la pluviométrie. Pour une question de lisibilité de la figure, la période représentée est restreinte (janvier 2014 à mars 2017)

Les principales observations sont comme suit : (retenue de la Lauch)

- L'évolution du niveau d'eau de la retenue Lauch sur la période est marquée par la baisse du niveau de Retenue Normale (RN) passant de 940,00 mNGF à 937,00 mNGF pour raison de sécurité (mise en révision spéciale). Cet abaissement entraîne une perte de volume utile exploitable de près de 270 000 m³ (40% du volume exploitable à la cote RN 940).
- A partir de 2010, l'évolution du niveau d'eau présente un caractère saisonnier assez bien marqué avec une mobilisation du volume de retenue disponible pendant la saison estivale (soutien d'étiage) et une reconstitution du volume à la faveur des pluies (et donc des apports) normalement relativement abondantes d'automne.
- La pluviométrie à Oderen-Markstein explique en général assez bien le remplissage de la retenue de la Lauch. Ainsi, on peut attribuer par exemple la remontée rapide du plan d'eau (+3,5 m du 20 au 24 novembre 2015) à l'épisode remarquable du 19-20 novembre (142 mm).

- Le niveau minimum atteint vaut 929,51 m le 20 octobre 2016 (avant formalisation en 2018 par l'Agence Régionale de Santé (ARS) Grand-Est du protocole sanitaire anti-cyanobactéries avec un seuil de 13 m d'eau restant - cote 934,82 - en dessous de laquelle le débit sortant du barrage de la Lauch est établi au débit réservé, avec un relais pris par le lac du Ballon).

On observe logiquement que depuis la baisse du niveau de retenue normale pour raison de sécurité, les niveaux minimaux annuels de la retenue sont plus bas. La cote 930 m est ainsi dépassée 4 fois depuis l'année 2010 (2011, 2015, 2016 et 2018) alors qu'elle n'avait pas été dépassée sur la période 2006-2009. Aussi, les débits d'étiage (juillet à novembre) à Linthal sont en moyenne en baisse de 25%. Ceci peut s'expliquer d'une part par la capacité amoindrie de la retenue de la Lauch à assurer sa fonction de soutien d'étiage, et d'autre part par des conditions remarquables (récurrentes quasiment une année sur deux) de sécheresse observées au cours des 10 dernières années.

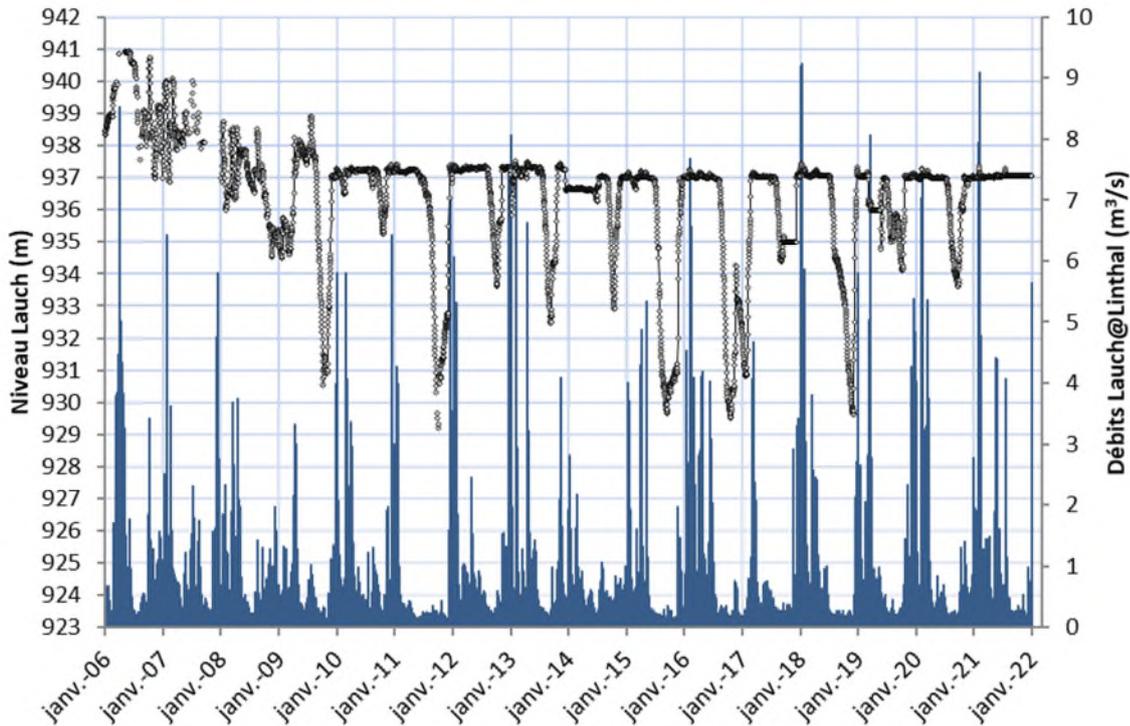


Figure 4 – Chroniques journalières du niveau de la retenue de la Lauch et des débits de la Lauch à Linthal (2006-2021)

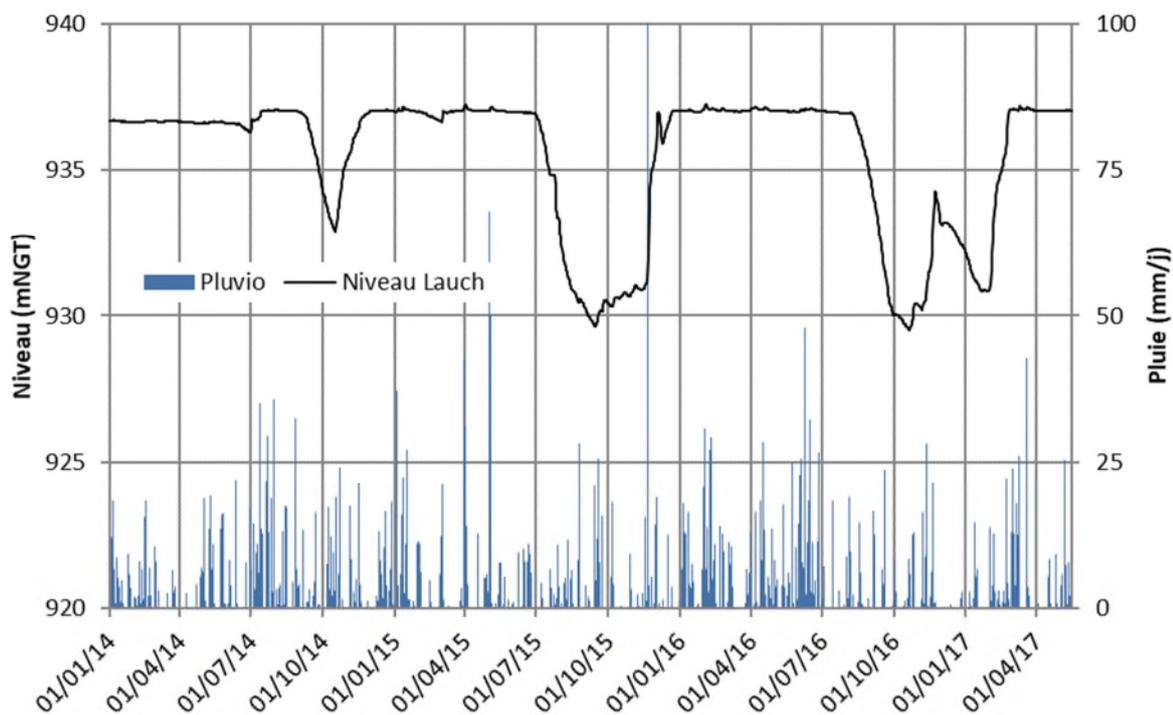


Figure 5 – Chroniques journalières du niveau de la retenue de la Lauch et de la pluviométrie au poste Oderen-Markstein (2014-2017)

L'évolution mensuelle sur la période 2012-2021 de la pluviométrie, du niveau d'eau et des débits sortants (lâchures) est représentée respectivement à la Figure 6 pour la retenue de la Lauch et à la Figure 7 pour celle du Ballon. Les principales observations sont comme suit :

■ Retenue du Ballon :

- La retenue du Ballon suit une dynamique saisonnière bien marquée, mais avec une différence par rapport à la retenue de la Lauch : les niveaux maximaux, égaux à la cote RN 988,00 m, sont en général observés au printemps (comme la retenue de la Lauch) tandis que les niveaux minimaux sont généralement observés en fin d'automne, début d'hiver (alors que la retenue de la Lauch se reconstitue rapidement en début d'hiver). Cela s'explique par le fait que la retenue du Ballon ne joue pas de rôle dans la rétention des crues et la protection des inondations. L'hiver est intégralement consacré à la recharge de la retenue.
- Le niveau minimum absolu sur la période d'observation vaut 979,02 m le 2 décembre 2018.
- Du fait d'un bassin versant d'alimentation plus petit, de l'ordre de 1,5 km² contre environ 5,7 km² pour la retenue de la Lauch, et pour un volume utile du même ordre de grandeur (de l'ordre de 450-600 hm³)¹, la retenue du Ballon met plus de temps à se remplir que celle de la Lauch. Ce caractère est encore plus marqué depuis la mise en place de la restriction de cote d'exploitation au barrage de la Lauch (révision spéciale). En pratique, la retenue du Ballon est utilisée essentiellement en relais de celle de la Lauch dans le cadre de sa fonction de soutien d'étiage. Elle est donc en principe moins sollicitée que cette dernière, a fortiori en cas d'année humide. Sur la période 2012-2021, du fait du potentiel amoindri de la Lauch et des conditions sèches, la retenue du Ballon a connu néanmoins un marnage de plusieurs mètres chaque année, avec un maximum de près de 9 mètres sur la période de juillet à début décembre 2018, correspondant à un volume relâché d'environ 600 000 m³ ;

¹ On considère ici comme volume utile les informations suivantes : pour le Ballon, le volume (ou réserve) utile est pris égal à 450 hm³, soit le volume à la cote RN 988 m égal à 1 070 hm³ moins un volume en principe non exploité dit de réserve ultime égal à 620 hm³, correspondant à la cote 981,70 m. Pour la Lauch, le volume utile considéré est celui compris entre la cote minimale 930 m (~64 hm³) et la cote RN 940 m (~700 hm³).

- Les débits sortants de la retenue du Ballon sont pour majorité constitués de lâchures utiles, c'est-à-dire motivées par la fonction de soutien d'étiage. Ainsi, pour une moyenne annuelle de 0,95 hm³ de débits sortants, seuls environ 0,40 hm³ (soit 40%) sont évacués sur la période de décembre à mai.
- Retenue de la Lauch : à la différence de la retenue du Ballon, les débits sortants de la retenue de la Lauch sont pour majorité constitués de débits excédentaires évacués de la retenue pour contrôler (ne pas dépasser) le niveau RN (retenue normale pleine). Ainsi l'analyse directe des données des débits sortants montre que pour une moyenne annuelle de 5,7 hm³ de débits sortants, environ 4 hm³ (soit 70%) sont évacués sur la période de décembre à mai, qui, sauf exception, ne présente pas d'enjeu de soutien d'étiage.

L'évolution moyenne saisonnière des apports hydrologiques, du niveau d'eau et des débits sortants est illustrée respectivement à la Figure 8 pour la retenue de la Lauch et à la Figure 9 pour la retenue du Ballon.

Les apports hydrologiques sont évalués ici de manière approchée par application du bilan en eau sur la retenue. Pour la retenue de la Lauch par exemple, la formule du bilan en eau sur la retenue est appliquée pour chaque pas de temps mensuel de la période disponible. Les apports mensuels sont donnés pour chaque mois par la somme des débits sortants et la variation du volume de la retenue. Les apports sont maximaux en hiver et minimaux en août-septembre. En moyenne, les apports à la Lauch sur la période 2012-2021 sont estimés à environ 175 l/s, soit 5,5 hm³/an.

Ramené à la superficie du bassin versant d'alimentation de la retenue de la Lauch (5,7 km²), l'apport annuel entrant dans le lac de la Lauch serait ainsi équivalent à un débit spécifique de l'ordre de 30 l/s/km² et une lame d'eau ruisselée de 970 mm/an.

De même, l'analyse des données d'exploitation au Ballon montre que l'apport moyen annuel entrant dans le lac du Ballon (0,95 hm³/an) serait équivalent à un débit spécifique de l'ordre de 20 l/s/km² et une lame d'eau ruisselée de l'ordre de 630 mm/an.

On constaterait donc une différence très significative entre la productivité hydrologique unitaire (i.e. par km² de bassin versant) des bassins versants d'alimentation des retenues de la Lauch et du Ballon. Si la distribution spatiale de la pluviométrie n'est pas précisément connue à l'échelle locale des bassins versants des retenues de la Lauch et du Ballon, les travaux du SAGE de la Lauch établissent néanmoins une certaine homogénéité entre les 2 bassins versants. En tout état de cause, une petite différence de pluviométrie ne suffirait pas à expliquer un tel écart en terme de ruissellement entre les 2 bassins versants.

Compte-tenu des difficultés météorologiques à enregistrer en continu des débits faibles à très faibles (de l'ordre de quelques litres par seconde en sortie du lac du Ballon), la précision et la fiabilité des données des débits sortants du lac du Ballon (et du lac de la Lauch dans une moindre mesure) pourrait être une cause majeure de sous-estimation des débits sortants, et par suite, des différences constatées entre les bassins versants de la Lauch et du Ballon.

Compte-tenu, entre autres, de ces difficultés, les apports hydrologiques retenus dans le modèle d'allocation sont reconstitués par des méthodes hydrologiques faisant appel à l'information hydrométrique disponibles aux stations hydrométriques alentour (voir chapitre dédié 3.2 ci-dessous).

Sur les figures ci-dessous, les axes verticaux quantifiant les lâchures ont été volontairement conservés à la même échelle entre les deux retenues, pour représenter la prépondérance, en moyenne sur l'année, des débits sortants de la Lauch par rapport à ceux sortants du Ballon. Cependant, sur la période septembre-octobre, alors que les débits sortants de la Lauch sont au plus bas tandis que ceux du Ballon sont au plus haut, les débits sortants du Ballon représentent en moyenne 35 à 45% des débits sortants totaux. La lecture conjointe des figures permet aussi de constater le décalage temporel entre la mobilisation des volumes de la Lauch et du Ballon.

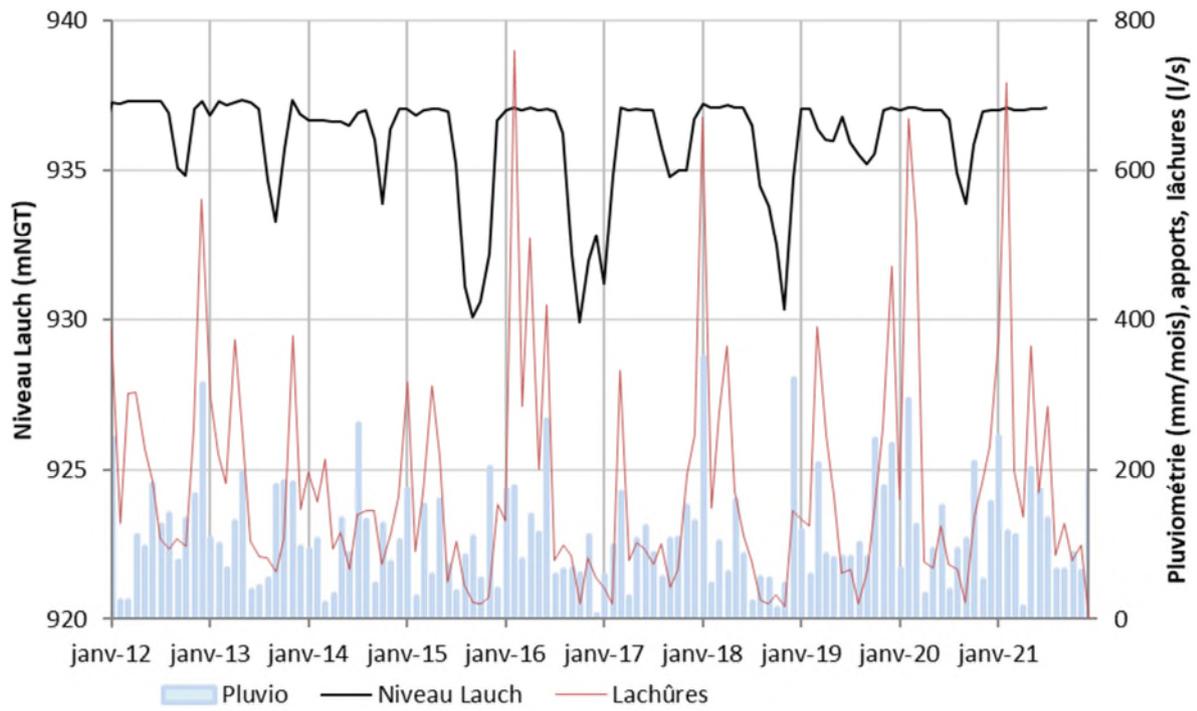


Figure 6 – Evolution mensuelle (2012-2021) de la pluviométrie, du niveau et des lachûres à la retenue de la Lauch

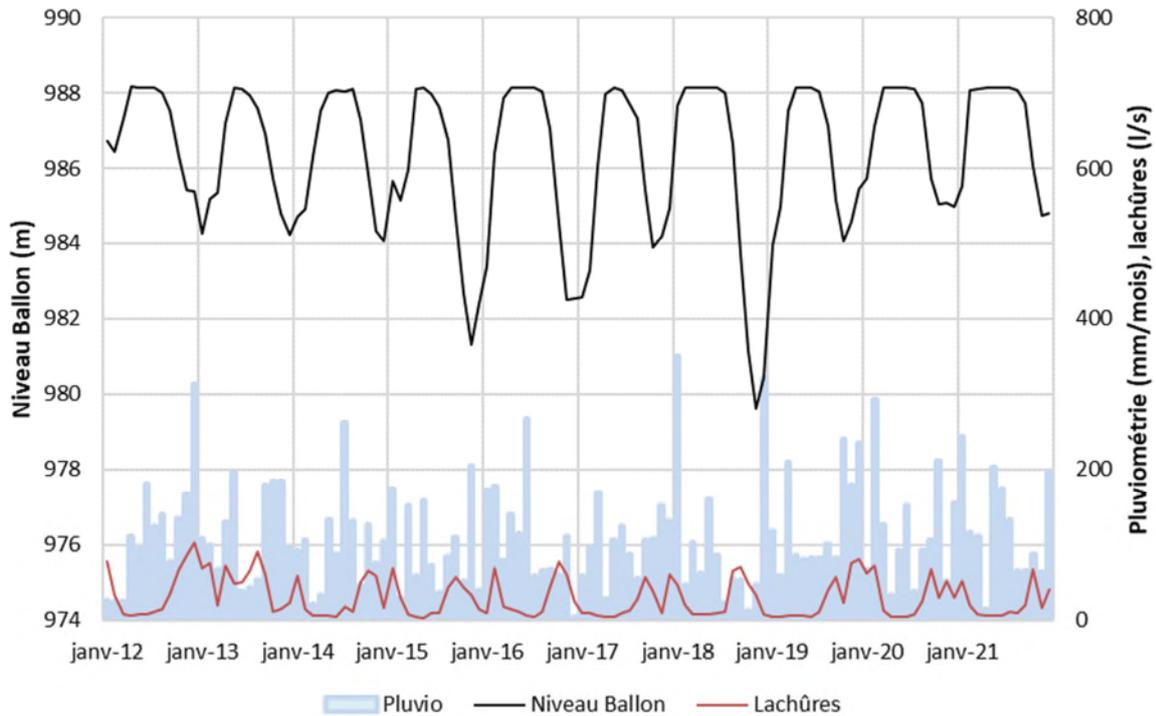


Figure 7 – Evolution mensuelle (2012-2021) de la pluviométrie, du niveau et des lachûres à la retenue du Ballon

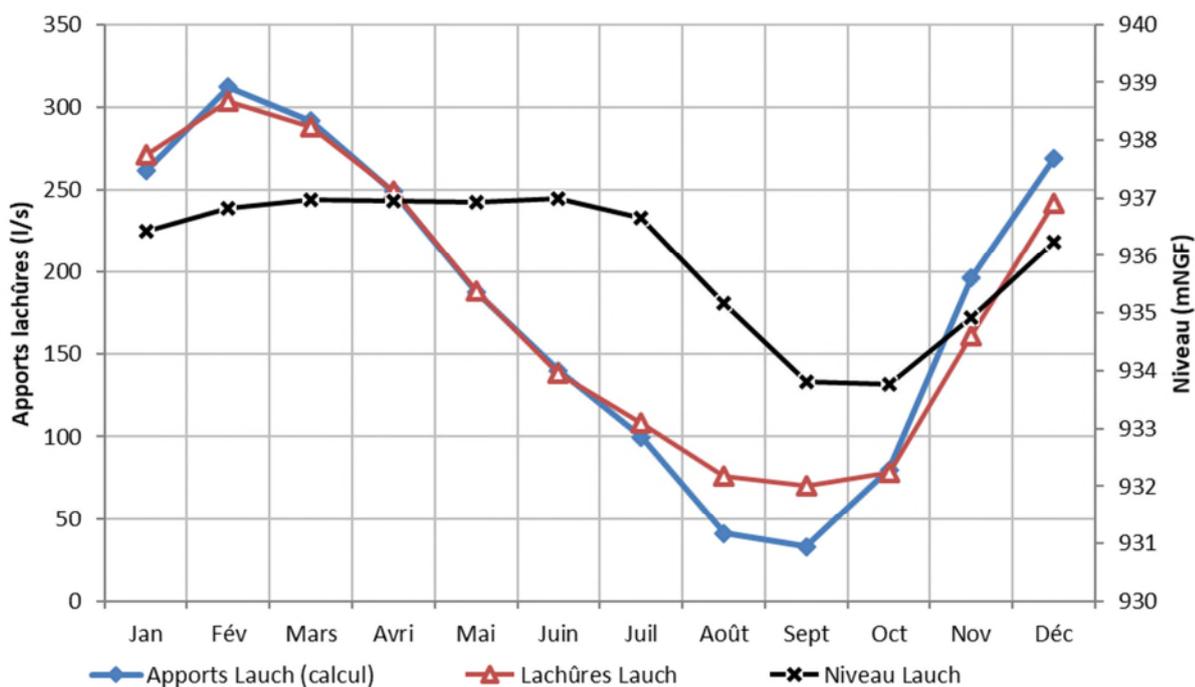


Figure 8 – Evolution moyenne saisonnière (2012-2021) des apports, du niveau et des lachûres à la retenue de la Lauch

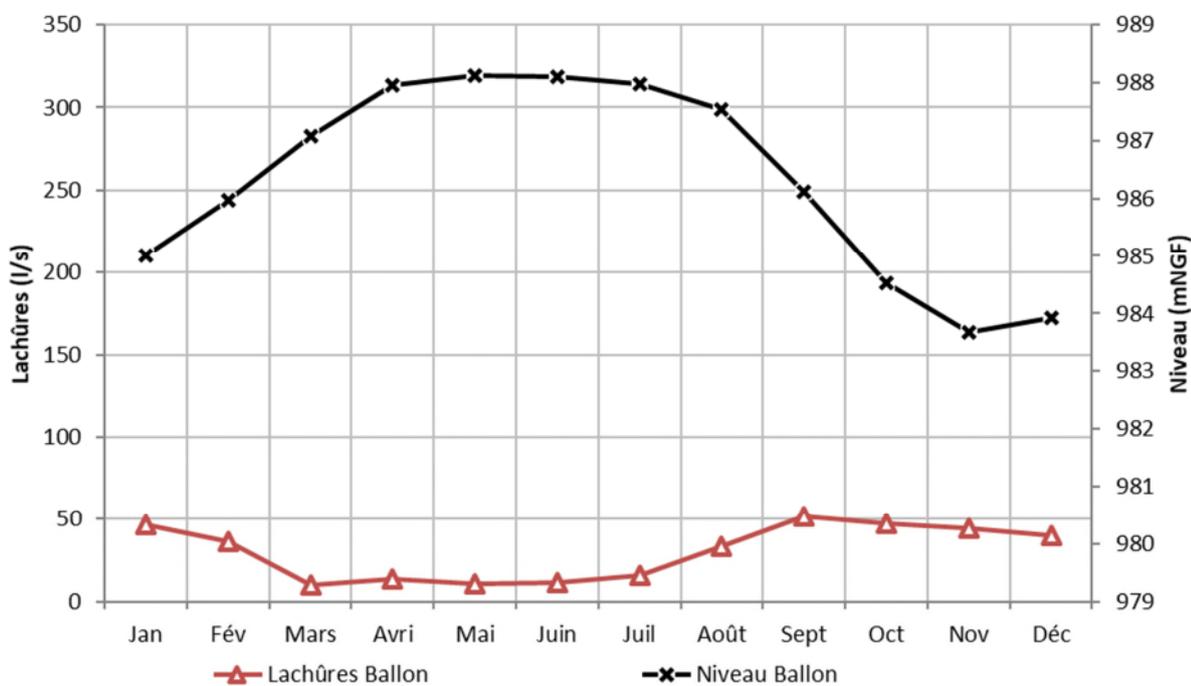


Figure 9 – Evolution moyenne saisonnière (2012-2021) du niveau et des lachûres à la retenue du Ballon

3.1.3. Etiages remarquables

La période 2012-2021 est marquée par des étiages remarquables, notamment en 2015, 2016 et 2018. Les séries journalières du niveau dans les retenues sur la période 2012-2021 sont illustrées à la Figure 10 ci-dessous. Les années 2015, 2016 et 2018 sont distinguées (respectivement en bleu foncé, bleu clair et orange) ; la moyenne est représentée par un trait rouge épais et les autres années sont représentées par un trait gris fin. Pour la retenue de la Lauch, on a représenté en pointillés le seuil dit « ARS » à 934,82 m en dessous duquel l’Autorité régionale de Santé (ARS) demande la réduction du débit sortant du barrage à la valeur du débit réservé, afin de lutter contre la prolifération des cyanobactéries dans la rivière aval (et ainsi indirectement limiter le risque à la prise d’eau potable de Linthal). Pour la retenue du Ballon, on a représenté un seuil à 981,7 m correspondant au volume de réserve ultime en eau de 620 000 m³ en principe non exploitable (au-delà un risque est pris sur le remplissage suivant de la retenue d’après les expériences vécues par l’ancien service d’exploitation du CD68).

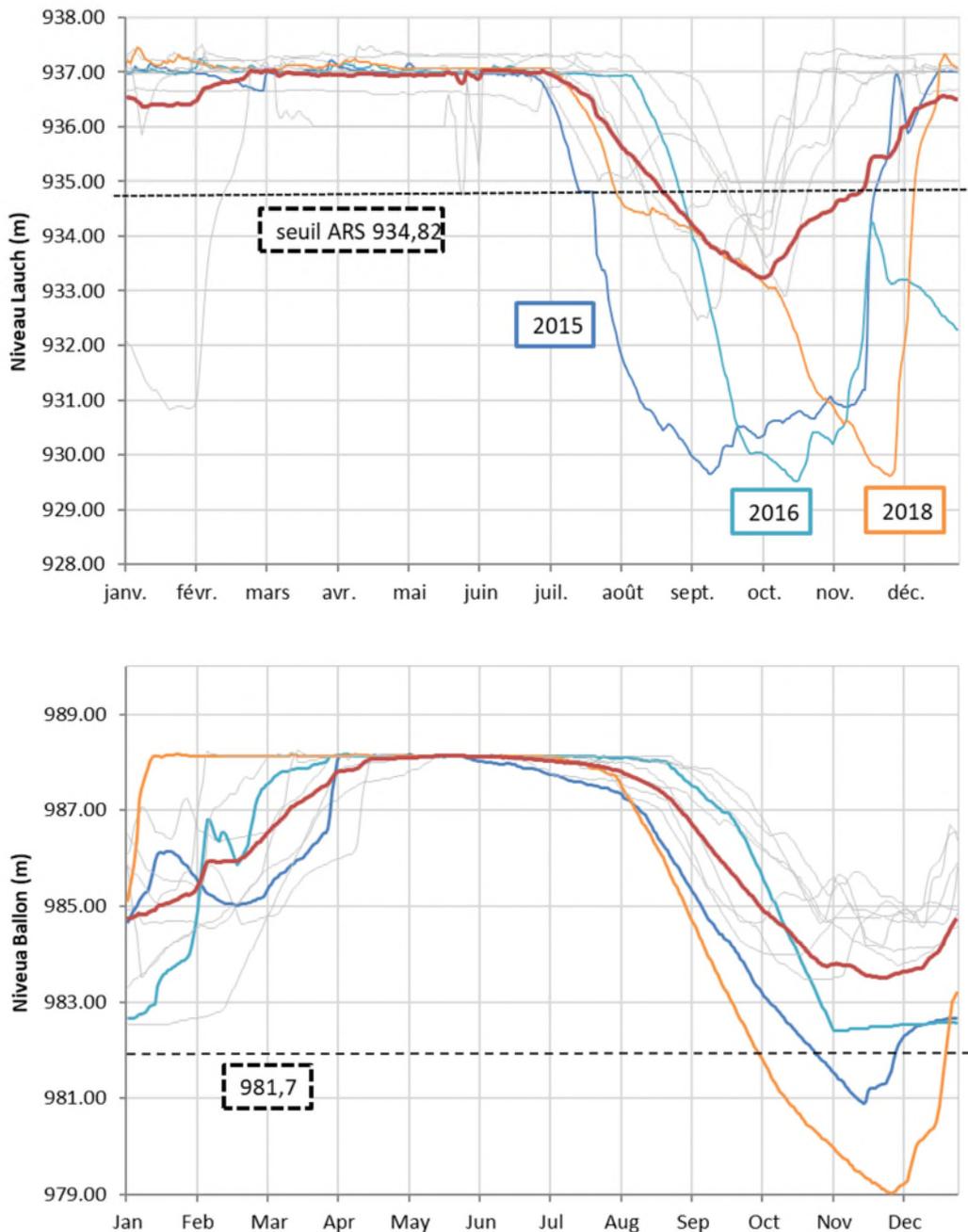


Figure 10 – Série journalière (2012-2021) du niveau dans les retenues de la Lauch (haut) et du Ballon (bas)

L'évolution de la pluviométrie et du débit de la Lauch à Linthal est illustrée à la Figure 11 ci-dessous pour la période restreinte de mai 2015 à mars 2017 ce qui permet d'analyser les campagnes de soutien d'étiage 2015 et 2016. L'évolution journalière comparée du niveau et des lâchures aux retenues de la Lauch et du Ballon est illustrée à la Figure 12 ci-dessous. On souligne les constats suivants :

- Pour l'année 2015, la pluviométrie présente un cumul normal en mai (160 mm), mais déficitaire ensuite.
- Suite à un épisode pluvieux important début mai 2015 (130 mm en 3 jours), le débit à Linthal est de l'ordre de 5 m³/s en début de période, mais chute ensuite rapidement pour atteindre de l'ordre de 200 à 250 l/s début juin. Le débit à Linthal suit ensuite une tendance stable voir à la baisse (minimum de 125 l/s le 16 novembre) jusqu'à l'épisode pluvieux remarquable du 19-20 novembre 2015 (142 mm).
- La campagne de soutien d'étiage 2015 s'engage à partir du mois de juin avec des débits relâchés de l'ordre de 50 à 100 l/s au lac de la Lauch et 10 l/s au Ballon.
- Les lâchures à la retenue de la Lauch restent supérieures à 60 l/s jusqu'environ mi-août. Le niveau de la Lauch est alors tombé à 931 m alors que celui du Ballon, jusqu'alors assez peu sollicité, est encore supérieur à 987 m.
- A ce moment, les courbes des débits relâchés se croisent. Les lâchures au Ballon deviennent prépondérantes, ajustées à 60 l/s, puis 40 l/s tandis que celles de la Lauch sont ramenées au débit réservé (18 à 20 l/s).
- Le niveau minimum est observé le 14 septembre 2015 (929,65 m) au lac de la Lauch et le 18 novembre 2015 (980,88 m) au lac du Ballon.
- Si l'épisode pluvieux du 20 novembre 2015 permet une remontée spectaculaire du niveau d'eau du lac de la Lauch, la pluviométrie déficitaire du mois de décembre 2015 (cumul 40 mm) ne permet pas un remplissage complet de la retenue de la Lauch avant le 22 décembre. Pour le lac du Ballon, il faut attendre le 25 mars 2016.
- Pour l'année 2016, la pluviométrie présente un cumul déficitaire en mars (78 mm), excédentaire en avril, mai et juin (267 mm pour le mois de juin), puis déficitaire à partir de juillet (60-70 mm/mois entre juillet et octobre).
- Suite à la bonne pluviométrie printanière le débit à Linthal s'élève à environ 1 m³/s jusque fin juin. Il chute ensuite pour atteindre de l'ordre de 200 l/s fin juillet. Le débit à Linthal suit ensuite une tendance assez stable avec des débits de l'ordre de 150 à 200 l/s.
- La campagne de soutien d'étiage 2016 s'engage début août avec des débits relâchés de l'ordre de 50 à 100 l/s à la retenue de la Lauch et 5 l/s au lac du Ballon (débit réservé).
- Les lâchures à la Lauch restent de l'ordre de 100 l/s jusque fin septembre 2016. Le niveau du lac de la Lauch est alors tombé à 930-931 m alors que celui du Ballon, jusqu'alors assez peu sollicité, est encore de l'ordre de 987 m.
- A ce moment, les courbes des débits relâchés se croisent. Les lâchures au lac du Ballon deviennent prépondérantes, de l'ordre de 60-80 l/s, tandis que celles du lac de la Lauch sont ramenées au débit réservé (18 à 20 l/s).
- Le niveau minimum est observé le 20 octobre 2016 (929,51 m) à la retenue de la Lauch et le 7 novembre 2016 (982,40 m) au lac du Ballon.
- La fin de l'année 2016 est assez atypique puisque la remontée des débits à Linthal normalement observée à l'automne et observée ici sous l'effet des pluies de novembre, est contrariée cette année par la pluviométrie très déficitaire de l'hiver 2016-2017 (5 mm en décembre, 60 mm en janvier). Le débit minimum à Linthal est observé le 28 janvier 2017 à 145 l/s.
- Après un bref soulagement lié aux épisodes pluvieux du mois de novembre 2016, les retenues sont à nouveau sollicitées en décembre 2016 et janvier 2017 pour soutenir les débits à Linthal. Le niveau à Linthal repasse sous le niveau 931 m presque tout au long du mois de janvier 2017 et ne retrouve, de façon exceptionnelle, son niveau RN que fin février 2017. Pour le Ballon, il faut attendre mi-avril 2017.

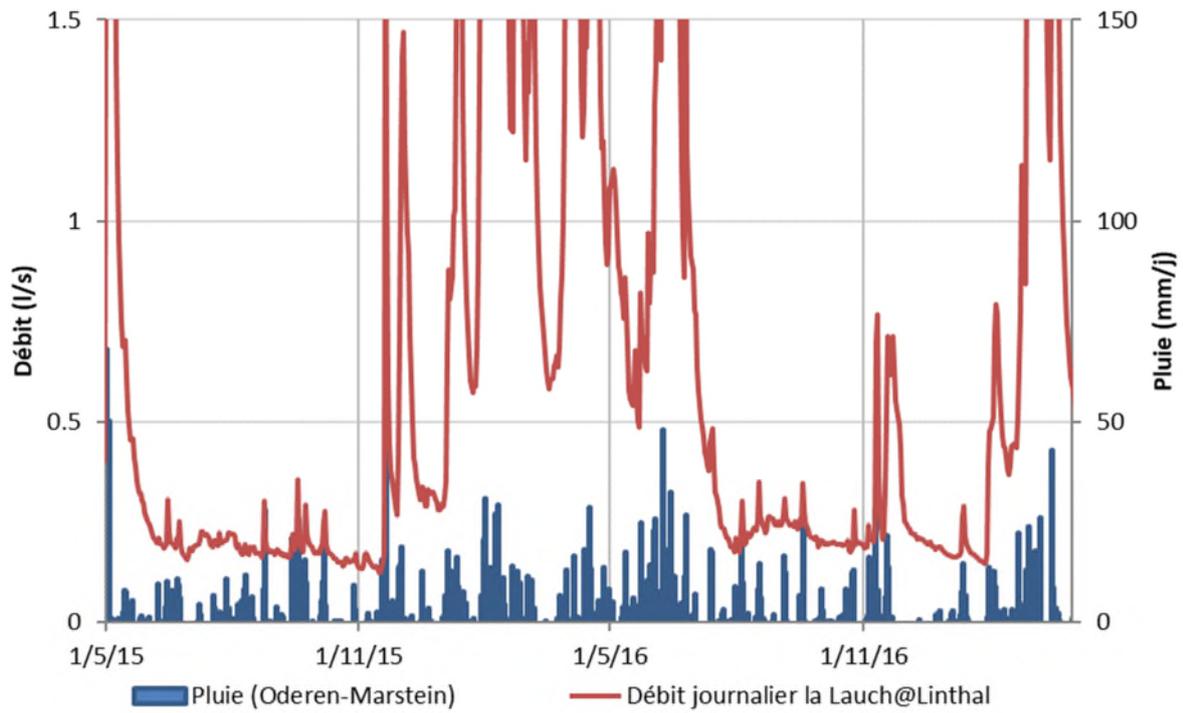


Figure 11 – Evolution de la pluviométrie et du débit à Linthal (2015-2016)

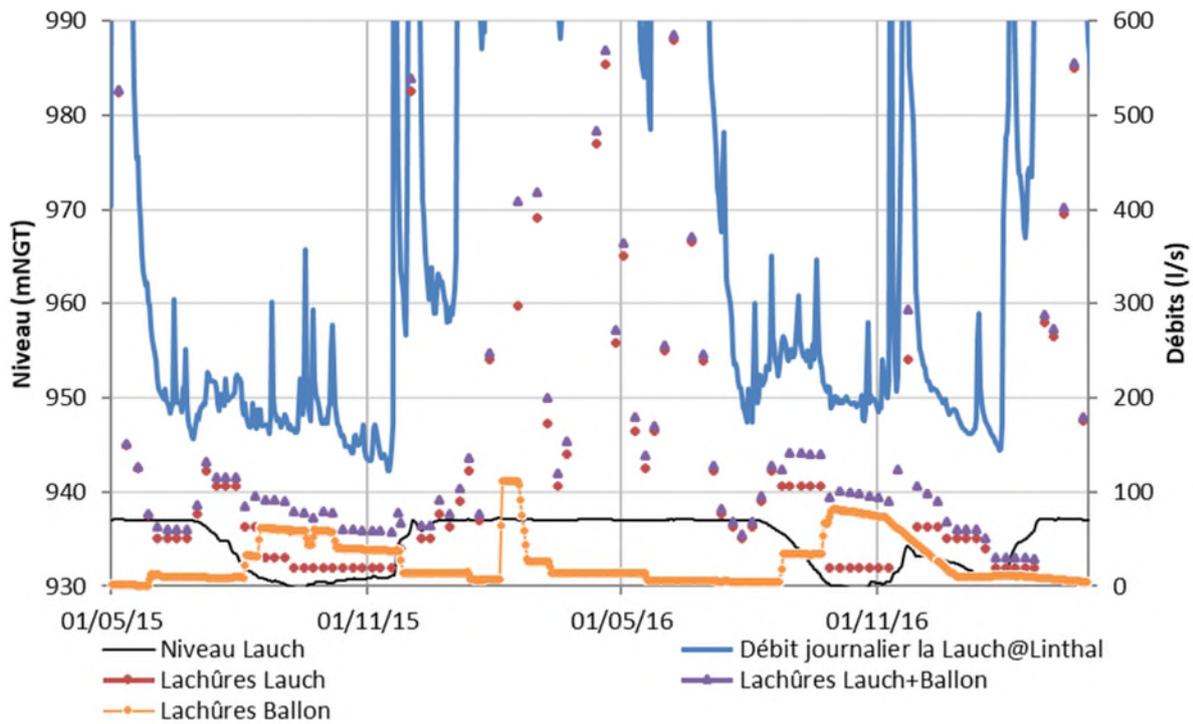


Figure 12 – Evolution du niveau et des lâchures aux retenues de la Lauch et du Ballon (2015-2016)

L'évolution de la pluviométrie et du débit de la Lauch à Linthal est illustrée à la Figure 13 ci-dessous pour la période restreinte de mai 2018 à mars 2019 qui couvre la campagne d'étiage 2018. L'évolution journalière comparée du niveau et des lâchures aux retenues de la Lauch et du Ballon est illustrée à la Figure 14 ci-dessous. On fait les constats suivants :

- La pluviométrie est globalement assez déficitaire sur l'ensemble de la période d'étiage avec un cumul de seulement 23 mm en juillet 2018 ou 14 mm en octobre 2018.
- Le débit à Linthal chute rapidement sur la 2^{ème} quinzaine de juin pour atteindre de l'ordre de 200 à 250 l/s début juillet. Le débit à Linthal suit ensuite une tendance assez stable (minimum de 152 l/s le 23 novembre 2018) jusqu'aux épisodes pluvieux de fin novembre et surtout début décembre.
- La campagne de soutien d'étiage s'engage à partir de mi-juillet 2018 avec des débits relâchés de l'ordre de 50 à 100 l/s au lac de la Lauch et 10 à 20 l/s au lac du Ballon.
- Les courbes des débits relâchés se croisent dès le début du mois d'août 2018, et semblent correspondre au moment où le niveau du lac de la Lauch atteint le niveau seuil 934,82 m (problématique cyanobactéries). Les lâchures au Ballon deviennent prépondérantes, ajustées à 60-70 l/s, tandis que celles de la Lauch sont ramenées au débit réservé (18 à 20 l/s).
- Au cours de la 1^{ère} quinzaine d'octobre 2018, le niveau du lac du Ballon atteint un niveau de l'ordre de 981 m tandis que le lac de la Lauch est au niveau 933 m. Les lâchures au Ballon sont alors abaissées à environ 40 l/s tandis que celles du lac de la Lauch remontent un peu au-dessus du débit réservé.
- Le niveau minimum est observé le 1^{er} décembre 2018 (929,61 m) au lac de la Lauch et le lendemain (929,02 m) au Ballon.
- La bonne pluviométrie du mois de décembre 2018 (cumul 320 mm) permet un remplissage complet de la retenue de la Lauch avant la fin de l'année 2018. Pour le Ballon, il faut attendre le 15 mars 2019.

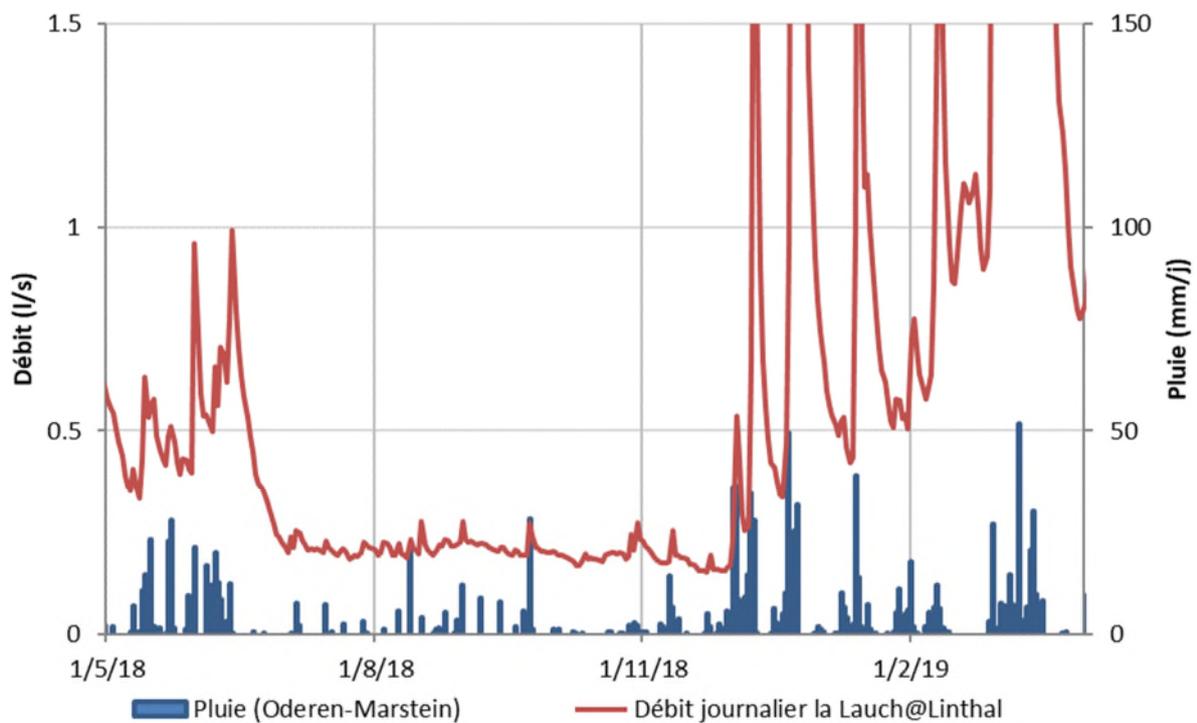


Figure 13 – Evolution de la pluviométrie et du débit à Linthal (2018-2019)

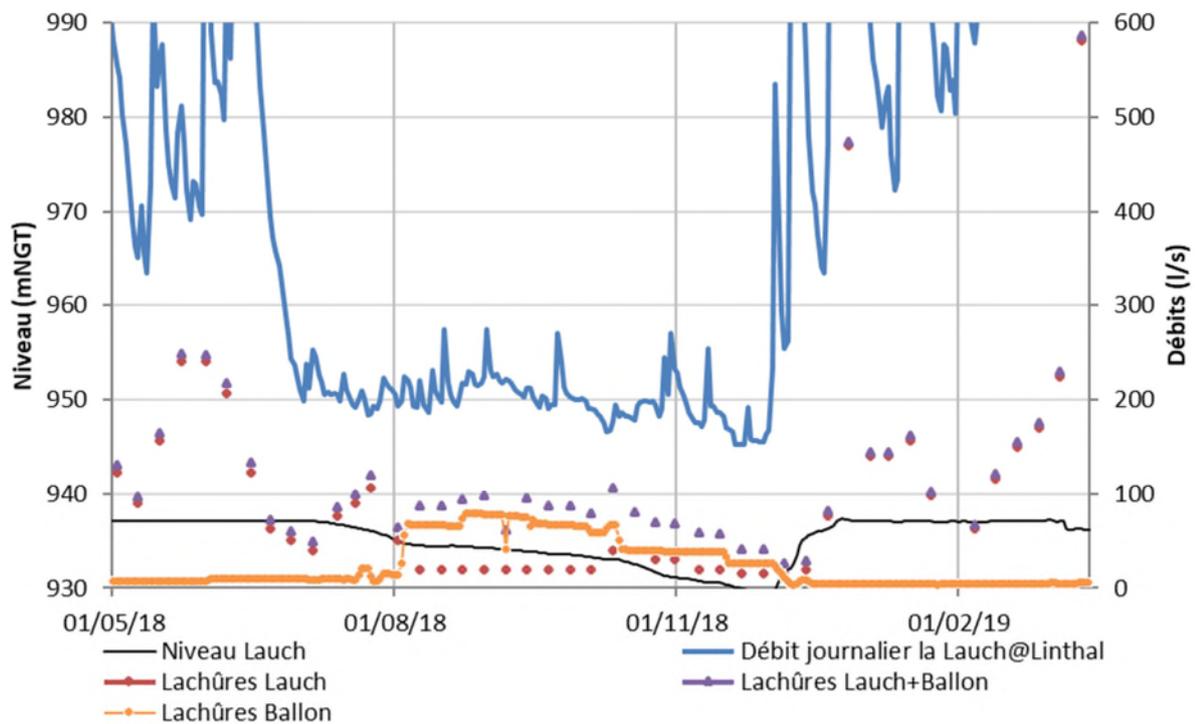


Figure 14 – Evolution du niveau et des lachûres aux retenues de la Lauch et du Ballon (2018-2019)

3.2. HYDROLOGIE POUR LA MODELISATION

3.2.1. Données

La construction et l'utilisation du modèle d'allocation des ressources requiert d'établir des séries complètes d'apports hydrologiques aux bassins versants constitutifs du modèle. Ici, les bassins versants d'intérêt sont :

- le bassin versant d'alimentation de la retenue de la Lauch ;
- le bassin versant d'alimentation de la retenue du Ballon ;
- le bassin versant intermédiaire entre la station hydrométrique de Linthal et les barrages de la Lauch/du Ballon ;
- le bassin versant intermédiaire entre les stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller.

Les apports hydrologiques à ces bassins versants doivent être représentatifs d'apports hydrologiques naturels, c'est-à-dire non influencés par la présence et le fonctionnement d'ouvrages hydrauliques ou de prélèvements.

Or les données hydrologiques disponibles aux stations hydrométriques de la Lauch à Linthal et à Guebwiller sont caractéristiques d'une hydrologie influencée par les retenues de la Lauch et du Ballon et de surcroît par le prélèvement à la prise d'eau de Linthal pour la station de Guebwiller ; de plus ces séries présentent des périodes de données manquantes. Ainsi, ces données ne peuvent donc pas être directement utilisées comme référence pour la reconstitution des séries d'apports aux bassins versants d'intérêt.

L'analyse des données hydrométriques disponibles dans la région d'étude révèle une hétérogénéité assez marquée des conditions d'écoulement (Figure 15 et Figure 16), qui peut s'expliquer par le relief marqué et ses effets sur la pluviométrie.

Sur l'ensemble de la période disponible (à partir de 1975), les débits spécifiques observés sont compris entre 18 l/s/km² (Wissbach à Willer-sur-Thur, 21 km²) et 46 l/s/km² (la Thur à Wildenstein, 7,8 km² et la Doller à Sewen, 8,5 km²). La Lauch est trouvée égale à 30,5 l/s/km² à Linthal et 20,5 l/s/km² à Guebwiller, ce qui reflète bien le gradient pluviométrique dans la vallée.

Au-delà de ces différences, on observe néanmoins une bonne homogénéité régionale de la variabilité des écoulements, depuis la variabilité interannuelle des débits (Figure 18) jusqu'à la dynamique journalière (Figure 17). Ce sont bien, en général, les mêmes épisodes de précipitation qui génèrent les écoulements, même si ces épisodes peuvent précipiter davantage sur un bassin versant plutôt qu'un autre (effet orographique, orientation etc.).

La station de la Petite Fecht à Stosswihr (45 km²) présente un débit spécifique très similaire à celui de la Lauch à Linthal (30,2 l/s/km²) et semble assez bien représentative du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant non (ou peu) influencé. Sa distance par rapport à la station de Linthal est de l'ordre de 12 km. La présence du lac Vert et du lac du Forlet dans le bassin versant de la Petite Fecht, compte-tenu de la faible superficie de leur bassin versant d'alimentation par rapport au bassin versant à Stosswihr, ne semble pas en mesure d'influencer les débits de manière très significative.

Cette station est donc retenue comme station de référence principale pour la reconstitution des apports hydrologiques aux bassins versants d'intérêt. La reconstitution des séries d'apports journaliers (1977-2021) est alors obtenue par application de la formule de transposition par ratio de superficie.

La différence des débits observés aux stations de Linthal et Guebwiller (compte-tenu du prélèvement à la prise de Linthal qui peut être ici considéré dans la modélisation comme constant et égal à 60 l/s) montre que le bassin versant intermédiaire entre ces stations (50,7 km²) présente un débit d'apport spécifique de l'ordre de 16 l/s, soit environ moitié moins que le débit spécifique observé à la station de référence. Ici, la formule de transposition est donc appliquée en introduisant le ratio des débits spécifiques plutôt que le ratio des bassins versants.

L'analyse de la variabilité à long terme des débits sur la zone d'étude (Figure 18) révèle le caractère globalement déficitaire des écoulements depuis 2009 avec des débits moyens annuels particulièrement faibles en 2009, 2011, 2014,

2015 et 2017. Les années 2011, 2014, et dans une moindre mesure 2017, se révèlent assez similaires des années de sécheresse historique de 2003 et 1976.

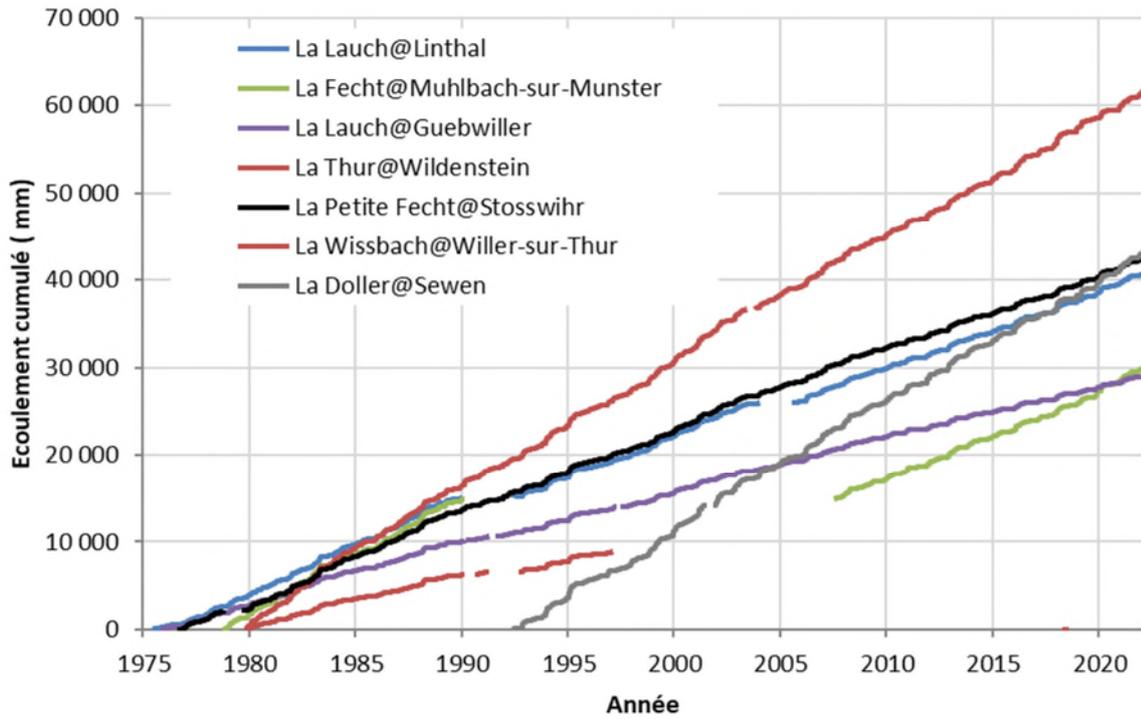


Figure 15 –Écoulement cumulé aux stations hydrométriques

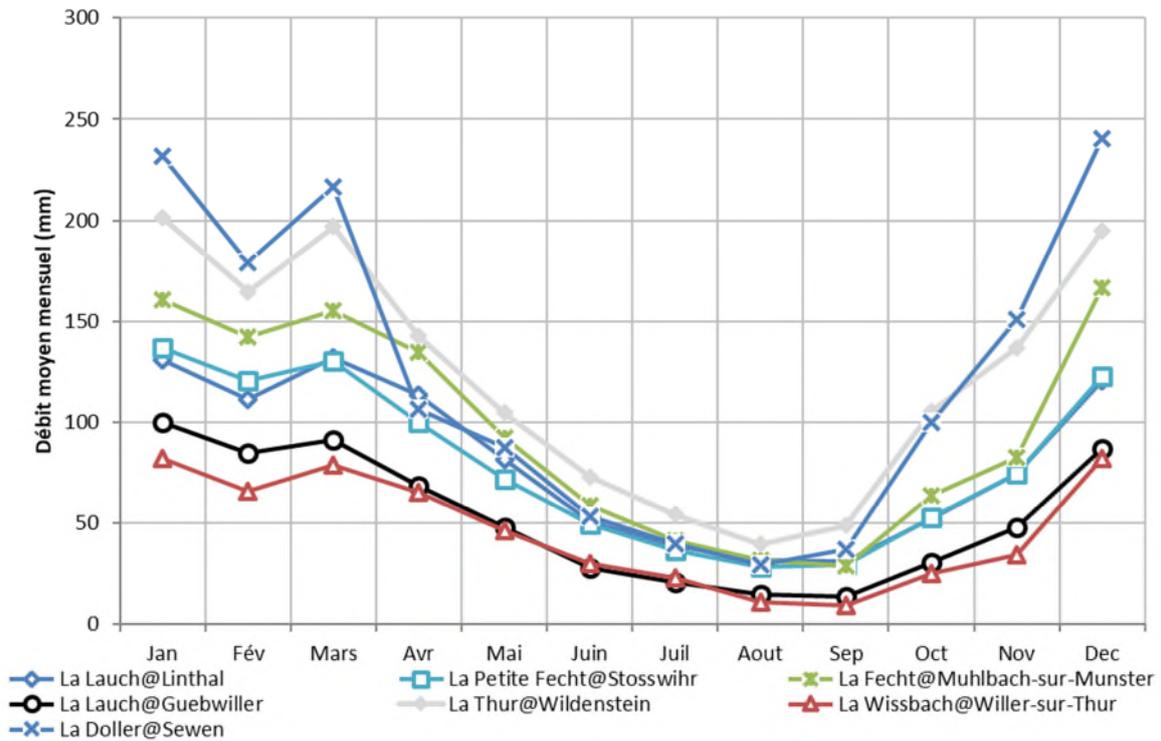


Figure 16 –Régime moyen saisonnier aux stations hydrométriques

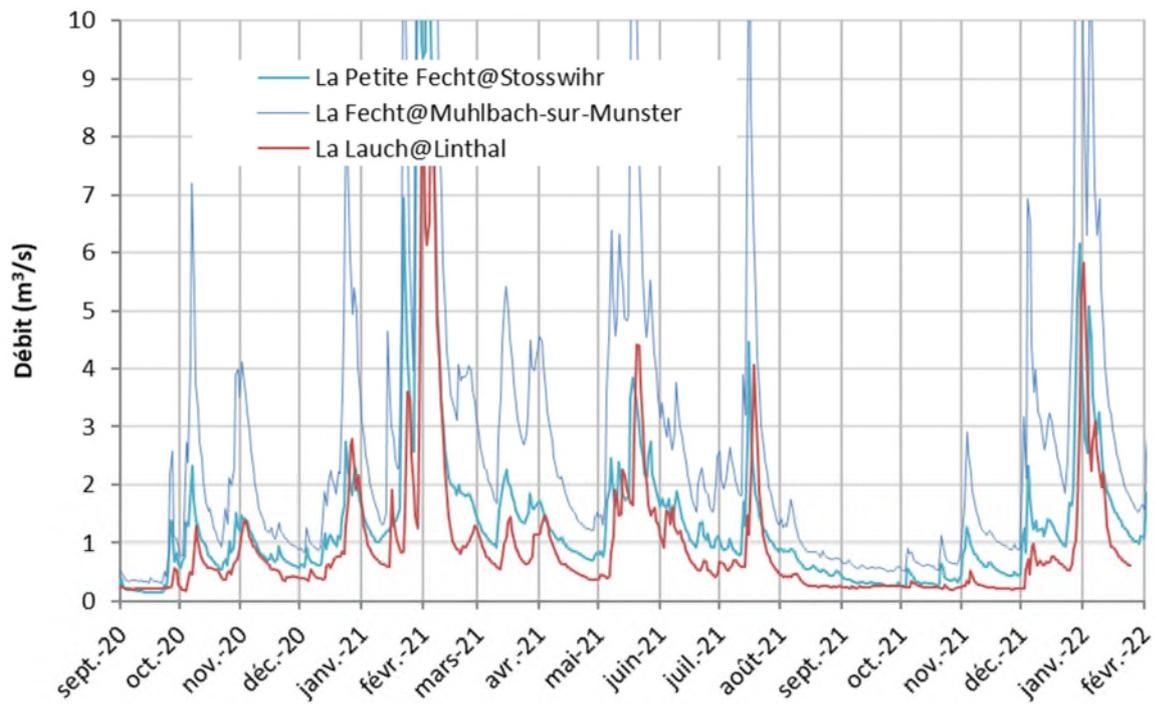


Figure 17 – Débits journaliers de la Lauch, la Fecht et la petite Fecht (2020-2022)

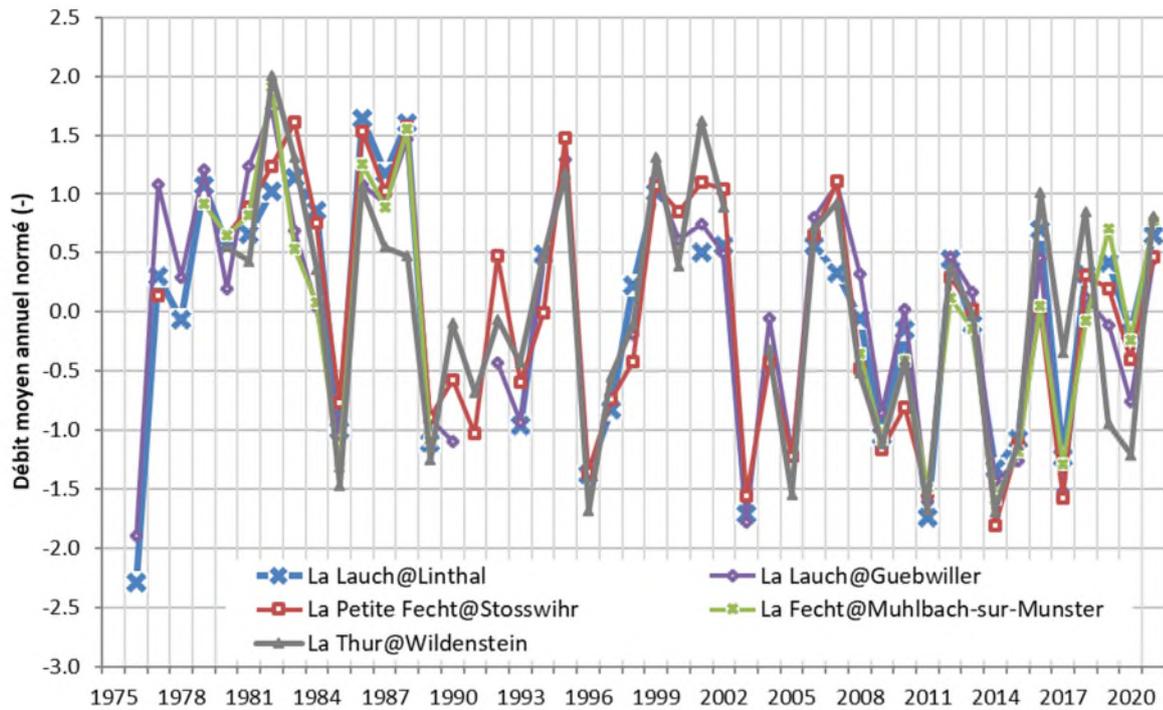


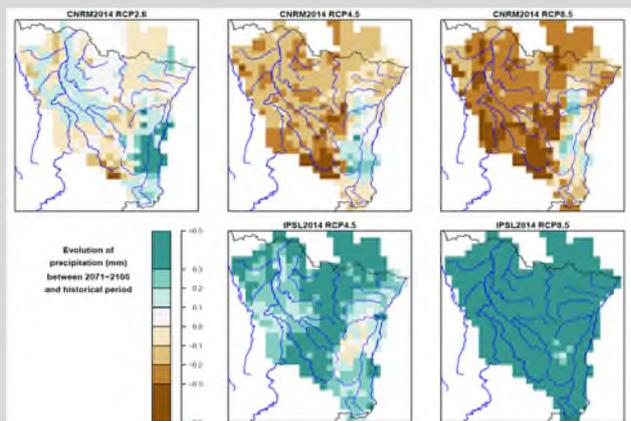
Figure 18 – Variabilité inter-annuelle des débits aux stations hydrométriques

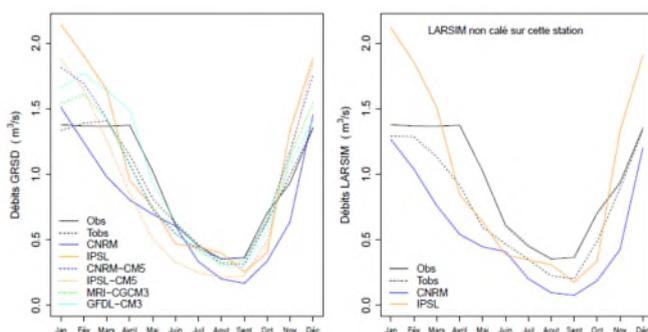
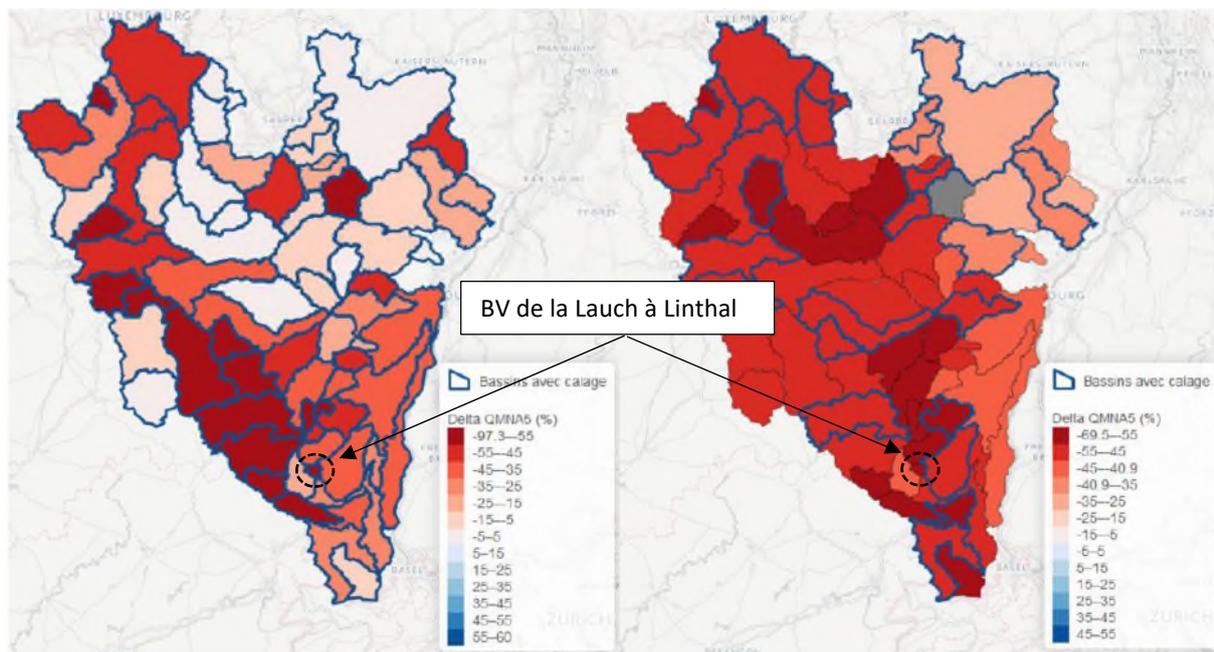
3.2.2. Projections temps futur

A l'échelle régionale, les travaux récents des projets CHIMERE21 (<https://webgr.inrae.fr/projets/projets-acheves/chimere-21/>) et MOSARH21 (<https://webgr.inrae.fr/projets/projets-acheves/mosarh21/>), centrés respectivement sur les bassins versants français de la Meuse et de la Moselle-Sarre-Rhin, ont eu pour objectif d'évaluer les impacts futurs des changements climatiques sur les débits en utilisant les dernières simulations climatiques disponibles produites dans le cadre du cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et disponibles sur le portail DRIAS-Climat (<http://www.drias-climat.fr/>).

Les fiches de synthèse par bassin versant produites par le projet MOSARH21 sont utilisées comme référence pour l'évolution des débits dans le bassin versant de la Lauch en temps futur. Une synthèse du projet MOSARH21 est donnée dans l'encadré ci-dessous ainsi qu'un extrait de la fiche de synthèse MOSARH21 du bassin versant de la Lauch à Linthal (Figure 19).

<p>Synthèse du projet MOSARH21 (source : https://webgr.irstea.fr/)</p> <p>MOSARH21 (2015-2018) est un projet de recherche financé par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dont l'objet est l'étude des évolutions des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de changement climatique.</p> <p>Ce projet a eu pour objectif de faire une évaluation des impacts futurs des changements climatiques sur les débits de la partie française des affluents du Rhin (MOselle-SARre-RHin), en utilisant les dernières simulations climatiques disponibles produites dans le cadre du 5ème rapport du GIEC. Une approche exploitant deux modèles hydrologiques a été mise en place et utilisée conjointement avec un ensemble de projections climatiques.</p> <p>Les impacts ont été quantifiés sur la base de divers indicateurs relatifs aux régimes, aux crues et aux étiages. Une attention particulière a été donnée à la quantification des incertitudes associées à la chaîne de modélisation. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus dans le cadre d'études d'impact antérieures réalisées sur le bassin.</p> <p>Les évolutions des débits annuels moyens indiquent une légère augmentation, qui pourrait même devenir importante pour le scénario radiatif RCP 8.5 (le plus pessimiste en termes de réchauffement climatique).</p>	<p>L'aléa de crue devrait s'intensifier dans un futur proche (2021-2050). En revanche, dans un futur plus lointain (2071-2100), l'évolution des indicateurs de crue est incertaine, les projections hydrologiques étant divergentes.</p> <p>Les débits d'étiages seraient à la baisse dans le futur proche. Leur évolution dans un futur lointain est plus incertaine, allant de la baisse drastique à une augmentation sensible selon le scénario choisi</p> <p>Les résultats ont été comparés à ceux obtenus dans le cadre d'études d'impact antérieures réalisées sur le bassin. Compte tenu des différences méthodologiques et des résultats obtenus, on peut conclure que les études précédentes sont cohérentes avec les conclusions du projet MOSARH21.</p>
--	--





	QMNA5	VCN3	VCN7	
ADC	Qsim CNRM (m^3/s)	0.07	0.02	0.08
	Qsim IPSL (m^3/s)	0.12	0.07	0.13
	Qsim min (m^3/s)	0.09	-	0.10
	Qsim med (m^3/s)	0.13	-	0.14
	Qsim max (m^3/s)	0.14	-	0.15
ADC	Qsim CNRM (m^3/s)	0.05	0.01	0.05
	Qsim IPSL (m^3/s)	0.08	0.03	0.08
	Qsim min (m^3/s)	0.06	-	0.06
	Qsim med (m^3/s)	0.09	-	0.09
	Qsim max (m^3/s)	0.09	-	0.09
ADC	Qsim CNRM (m^3/s)	0.04	0.01	0.04
	Qsim IPSL (m^3/s)	0.07	0.02	0.07
	Qsim min (m^3/s)	0.05	-	0.05
	Qsim med (m^3/s)	0.08	-	0.08
	Qsim max (m^3/s)	0.08	-	0.08

Figure 19- Evolution possible des débits d'été sur les bassins de la Moselle, de la Sarre et du Rhin (haut) et détails de la Lauch à Linthal (bas) (RCP8.5 horizon 2071-2100) – source : MOSARH21

L'horizon retenu est l'horizon « 2071-2100 » ou « futur lointain » comme identifié dans le rapport MOSARH21, car il correspond à l'horizon de temps ciblé dans le cadre de la présente étude, et le scénario d'émission de gaz à effets de serre (RCPs) est le RCPs 4.5. L'évolution des débits de la Lauch telle qu'établie par le projet MOSARH21 est celle d'une augmentation en moyenne des débits d'hiver et d'une diminution en moyenne des débits d'été et d'automne.

Les séries chronologiques des apports hydrologiques caractéristiques du temps futur sont établies en appliquant la méthode dite des deltas ou des anomalies : l'évolution des régimes hydrologiques telle que documentée par les résultats du projet MOSARH21 est appliquée de manière homogène, pour chaque série d'apports, à la chronique des débits reconstitués sur la période historique de référence.

Les débits moyens mensuels des apports hydrologiques à la Lauch en temps présent et en temps futur sont illustrés à la Figure 20 ci-dessous.

La zone hachurée en bleu correspond à une évolution à la hausse des précipitations moyennes saisonnières et des débits (période hivernale), tandis que la zone hachurée en rouge correspond au contraire à une évolution à la baisse des précipitations et des débits (période été-automne).

En moyenne, les débits d'hiver (décembre à février) sont en augmentation de 18%. Les débits de printemps sont relativement inchangés et les débits d'été et d'automne (juin à novembre) sont diminués de -23%. En moyenne sur l'année, le débit moyen augmente de 5%.

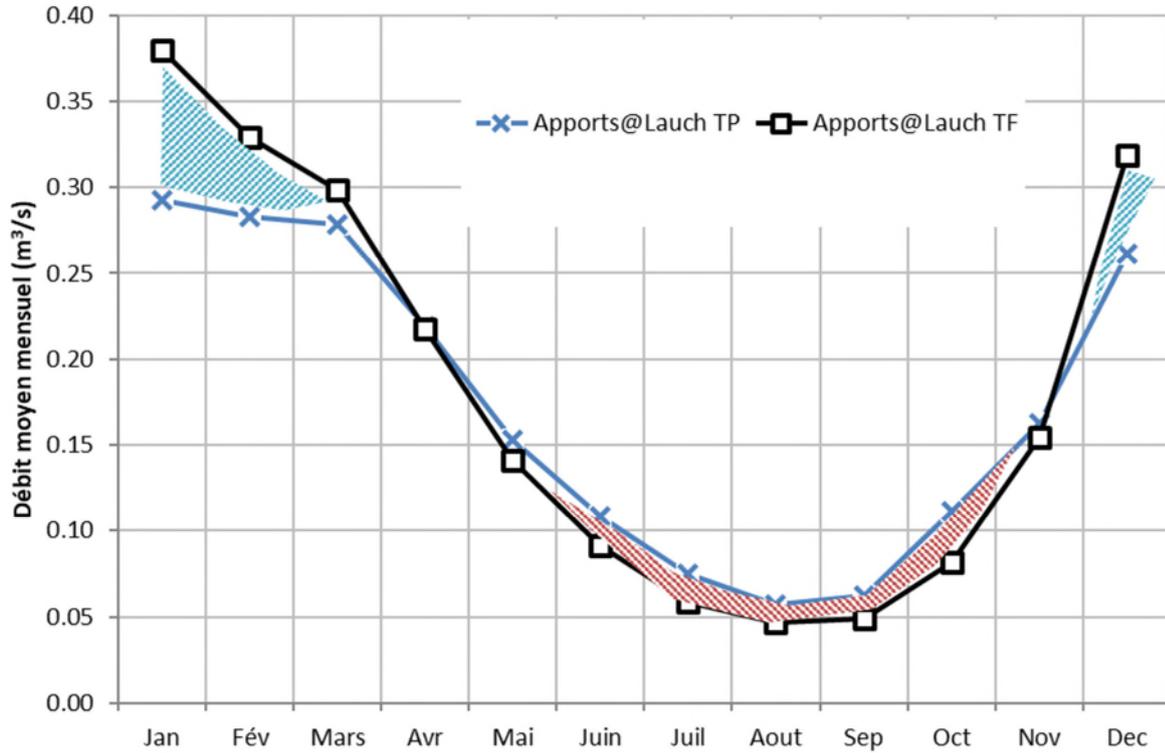


Figure 20 – Débits moyens mensuels des apports à la Lauch temps présent (TP) et temps futur (TF)

En hiver un excédent de l'ordre de 589 000 m³ (zones en bleu ci-dessus) est estimé en temps futur par rapport au temps présent, contre le reste de l'année un déficit en étiages de l'ordre de - 369 000 m³ (zone en rouge ci-dessus).

3.3. MODELE D'ALLOCATION (OU DE GESTION)

3.3.1. Données

Le modèle d'allocation des ressources en eau est développé à l'aide du logiciel Mike Hydro Basin du *Danish Hydraulics Institute*. A titre illustratif de l'environnement logiciel, une capture d'écran du modèle d'allocation est présentée à la Figure 21 ci-dessous. Les composants principaux du modèle sont comme suit :

- Les retenues de la Lauch et du Ballon ;
- Les stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller (points de contrôle) ;
- La prise d'eau de Linthal ;
- Les bassins versants d'intérêt (cf. chapitre 3.2 Hydrologie pour la modélisation).

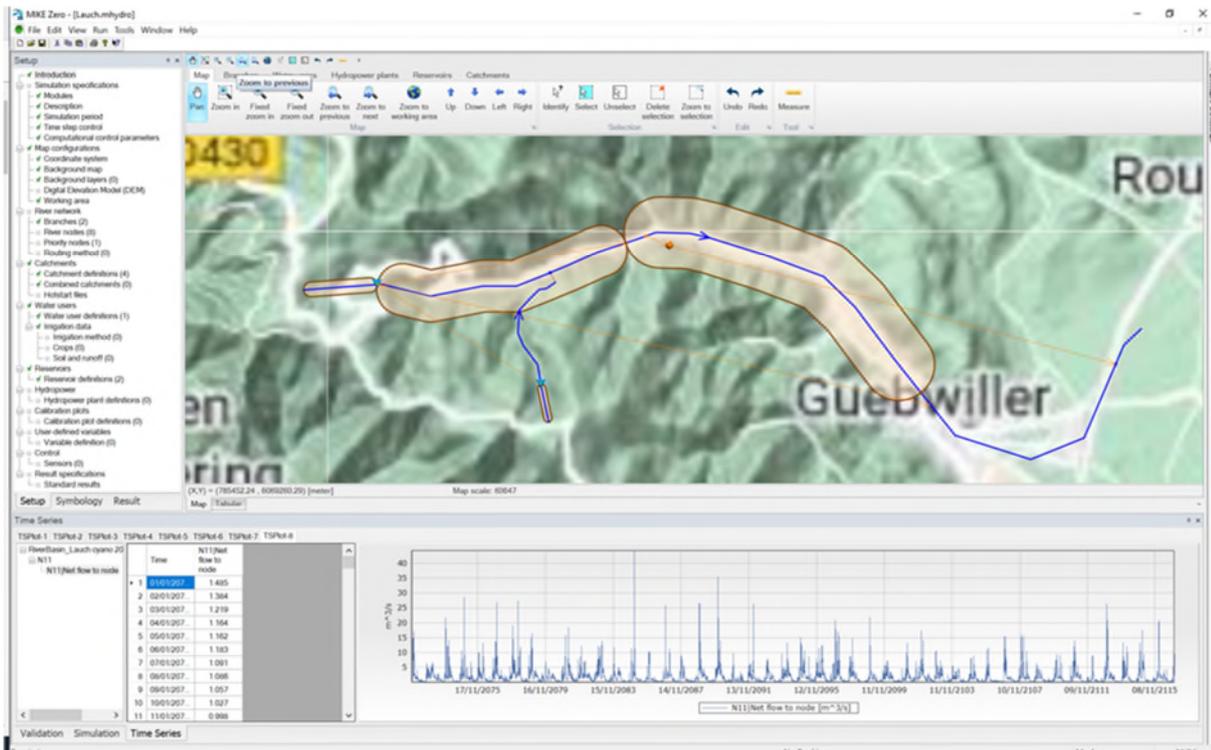


Figure 21 – Capture d'écran du modèle d'allocation de la Lauch

Les retenus de la Lauch et du Ballon sont paramétrées suivant leurs caractéristiques physiques (courbes hauteur-volume et hauteur-superficie) ainsi qu'un certain nombre de règles de gestion. Les courbes hauteur-volume sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Lac de la Lauch							
Niveau (m)	Volume (m ³)	Niveau (m)	Volume (m ³)	Niveau (m)	Volume (m ³)	Niveau (m)	Volume (m ³)
921.72	0	935.47	314 143	938.67	569 035	939.92	690 323
930.02	64 124	935.62	324 305	938.70	571 803	940.12	710 862
931.62	113 469	935.92	345 155	938.87	587 621	940.27	726 471
932.52	150 012	936.52	388 964	938.90	590 436	940.30	729 614
932.72	158 992	936.64	398 063	938.92	592 316	940.32	731 713
933.17	180 339	937.02	427 619	939.00	599 869	940.42	742 256
933.47	195 448	937.12	435 585	939.20	618 971	940.47	747 556
933.92	219 431	937.22	443 628	939.37	635 453	940.52	752 876
934.12	230 598	937.42	459 949	939.40	638 385	940.57	758 216
934.32	242 077	937.72	485 017	939.52	650 183	940.62	763 575
934.52	253 868	937.92	502 119	939.64	662 094	940.67	768 954
934.67	262 917	938.07	515 151	939.72	670 097	940.72	774 352
934.92	278 388	938.37	541 741	939.77	675 124		
935.42	310 795	938.62	564 437	939.87	685 237		
Lac du Ballon							
Niveau (m)	Volume (m ³)	Niveau (m)	Volume (m ³)	Niveau (m)	Volume (m ³)	Niveau (m)	Volume (m ³)
969.45	0	974.50	200 000	979.50	481 018	984.50	809 727
970.00	8 615	975.00	232 397	980.00	511 404	985.00	845 635
970.50	28 508	975.50	257 813	980.50	542 342	985.50	882 096
971.00	48 953	976.00	283 780	981.00	573 832	986.00	919 108
971.50	69 951	976.50	310 300	981.50	605 875	986.50	956 673
972.00	91 501	977.00	337 373	982.00	638 469	987.14	1 000 000
972.50	113 603	977.50	364 997	982.50	671 616	987.50	1 033 460
973.00	136 257	978.00	393 174	983.00	705 316	988.00	1 070 000
973.50	159 464	978.50	421 903	983.50	739 567		
974.00	183 223	979.00	451 184	984.00	774 371		

Les règles de gestion retenues dans le paramétrage visent à reproduire le plus fidèlement possible la gestion réelle observée au cours des 10 dernières années. Parmi ces règles de gestion, on trouve par exemple les objectifs de gestion, les niveaux RN, les niveaux limites à ne pas dépasser, les débits réservés. Les principales règles de gestion retenues à ce stade sont détaillées ci-dessous.

	Lauch	Ballon
Niveau RN (m) (m ³)	937,00 (425 000)	988,00 (1 070 000)
Niveau minimum (m) (m ³)	930,00 (64 000)	981,70 (620 000)
Niveau seuil cyano-bactéries (m) (m ³)	934,82 (270 000)	-
Débit réservé (l/s)	18	4
Débit seuil d'alerte étiage (l/s)	150 l/s à Linthal 230 l/s à Guebwiller	

Le niveau seuil à 934,82 m à la Lauch a été fixé par l'ARS pour des raisons sanitaires du fait de la présence de cyanobactéries dans les eaux du lac de la Lauch. En pratique, la campagne de soutien d'étiage de 2018 a, pour la première fois, intégré pleinement cette contrainte de gestion et on a pu constater précédemment l'influence de ce niveau seuil sur la gestion coordonnée des retenues de la Lauch et du Ballon avec un transfert plus rapide et plus franc des volumes à relâcher pour le soutien d'étiage vers la retenue du Ballon.

Dans la suite, ce niveau seuil sera adopté comme niveau limite en dessous duquel les lâchures de la Lauch sont limitées au débit réservé.

Le niveau minimum au Ballon (981,70 m,) est pris assez supérieur au niveau minimum précisé dans le document réglementaire (972,50 m) pour correspondre à la gestion réelle des retenues (réserve ultime en cas d'hiver très sec ne permettant pas de remplir les retenues + faible taux de renouvellement (ou remplissage) annuel). Ainsi, le volume réellement disponible au Ballon (sans toucher à sa réserve ultime interannuelle) vaut $1\ 070\ 000 - 620\ 000 = 450\ 000\ \text{m}^3$.

Le principe de gestion retenu est la satisfaction, à tout instant, du débit objectif à Linthal et Guebwiller sous contraintes des règles de gestion.

Le débit de prélèvement à la prise d'eau de Linthal est pris constant égal à 60 l/s sur toute la période de simulation. Cette valeur de débit est extraite dans le modèle de la Lauch entre les stations de Linthal et de Guebwiller.

Au cours de la procédure du calage, il est apparu nécessaire d'ajuster les séries d'apports hydrologiques aux bassins versants d'intérêt en accentuant les plus faibles débits afin de reproduire la dynamique de vidange des retenues de la Lauch et du Ballon en accord avec l'évolution des débits au droit des stations hydrométriques de Linthal et Guebwiller (points de contrôles). La transformation à la baisse (facteur 0,75) des débits journaliers inférieurs au quantile de dépassement 90% des débits permet de mieux reproduire le fonctionnement hydrologique observé du bassin versant de la Lauch. Il faut noter que cette transformation est sans effets significatifs sur les débits moyens d'apports.

3.3.2. CALAGE

La simulation est réalisée au pas de temps journalier sur la période du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2021.

La comparaison de l'évolution des niveaux journaliers observés et simulés sur la période 2012-2021 est illustrée respectivement à la Figure 22 pour la retenue de la Lauch et à la Figure 24 pour celle du Ballon. On observe globalement une assez bonne cohérence entre les séries simulées et observées. Les moyennes mensuelles (régime saisonnier) du niveau et des débits sortants observés et simulés sont représentés respectivement à la Figure 23 pour la retenue de la Lauch et à la Figure 25 pour celle du Ballon.

Pour la retenue de la Lauch, on constate que le volume moyen annuel simulé des lâchures est inférieur de 10% par rapport à l'observé. Par ailleurs, la simulation tend à remplir plus vite la retenue de la Lauch après la campagne de soutien d'étiage. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans la simulation les lâchures à cette période sont limitées au respect du débit objectif à Linthal. Dès lors que cette condition est remplie, la retenue cherche à reconstituer son stock d'eau au plus vite. En gestion réelle, on observe au contraire des lâchures supérieures au débit réservé alors même que les débits objectifs à Linthal et Guebwiller sont dépassés. Ceci s'explique en pratique par une gestion plus progressive permettant de recharger les milieux aquatiques et la nappe d'accompagnement de la rivière lorsque cela est possible en fin d'étiage pour l'année suivante. D'autre part on limite ainsi les débits déversés subis en saison hivernale par les barrages.

Pour le lac du Ballon, on constate que le volume moyen annuel simulé des lâchures est supérieur de 10% par rapport à l'observé. Cela s'explique par une gestion plus prudente et économe de cette ressource en eau du Ballon dans la réalité que celle du lac de la Lauch, dictée par une productivité plus faible de ce bassin versant (de plus petite superficie).

Les débits sortants simulés d'octobre à décembre (c'est-à-dire en moyenne après ou en fin de campagne de soutien d'étiage) sont en moyenne inférieurs aux débits sortants observés (recharge de la rivière et de sa nappe d'accompagnement dans la réalité).

A l'inverse, les débits sortants simulés de mars à juin (c'est-à-dire en moyenne bien après la campagne de soutien d'étiage) sont en moyenne supérieurs aux débits sortants observés (gestion plus prudente dans la réalité).

Ces divergences entre simulation et observation n'ont néanmoins pas ou peu d'effets sur le comportement des retenues en période de soutien d'étiage, qui est la période présentant le plus d'enjeux. Il faut aussi rappeler que les différences observées entre observation et simulation s'expliquent également en partie par les incertitudes sur la dynamique journalière des apports aux lacs de la Lauch et du Ballon.

La comparaison de l'évolution des débits observés et simulés à Linthal 2012-2021 est illustrée à la Figure 26 et à la Figure 27 (moyenne mensuelle) ci-dessous. On observe globalement une assez bonne cohérence entre les séries simulées et

observées. En moyenne, les débits simulés à Linthal sont inférieurs de 6% par rapport aux débits observés. Les débits simulés en période d'étiage sont très similaires. Pour la Lauch à Guebwiller, les différences entre simulé et observé sont aussi assez faibles, de l'ordre de 1% sur le débit moyen annuel.

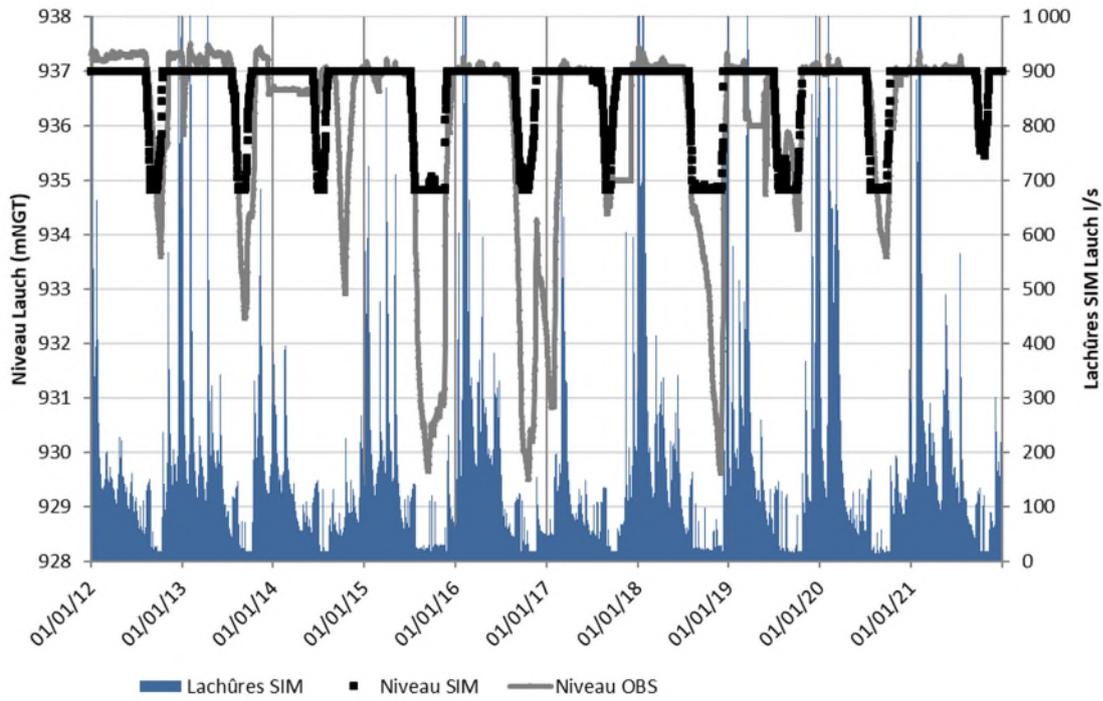


Figure 22 – Comparaison des niveaux observés et simulés à la Lauch

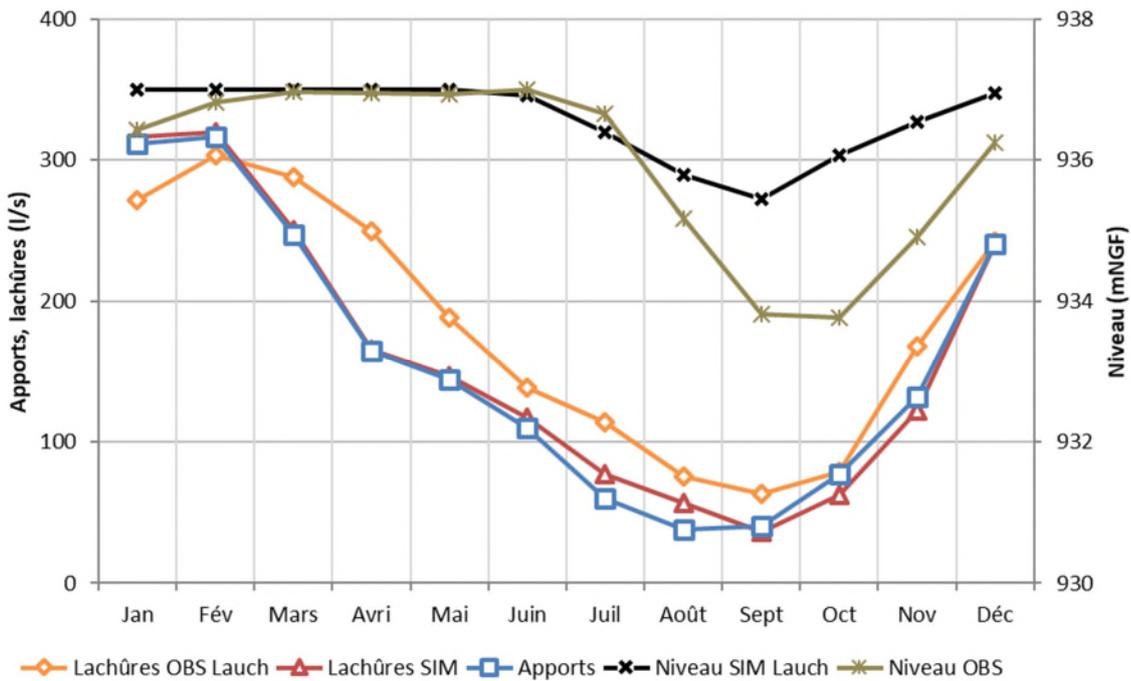


Figure 23 – Comparaison des niveaux et lachûres observés et simulés à la Lauch

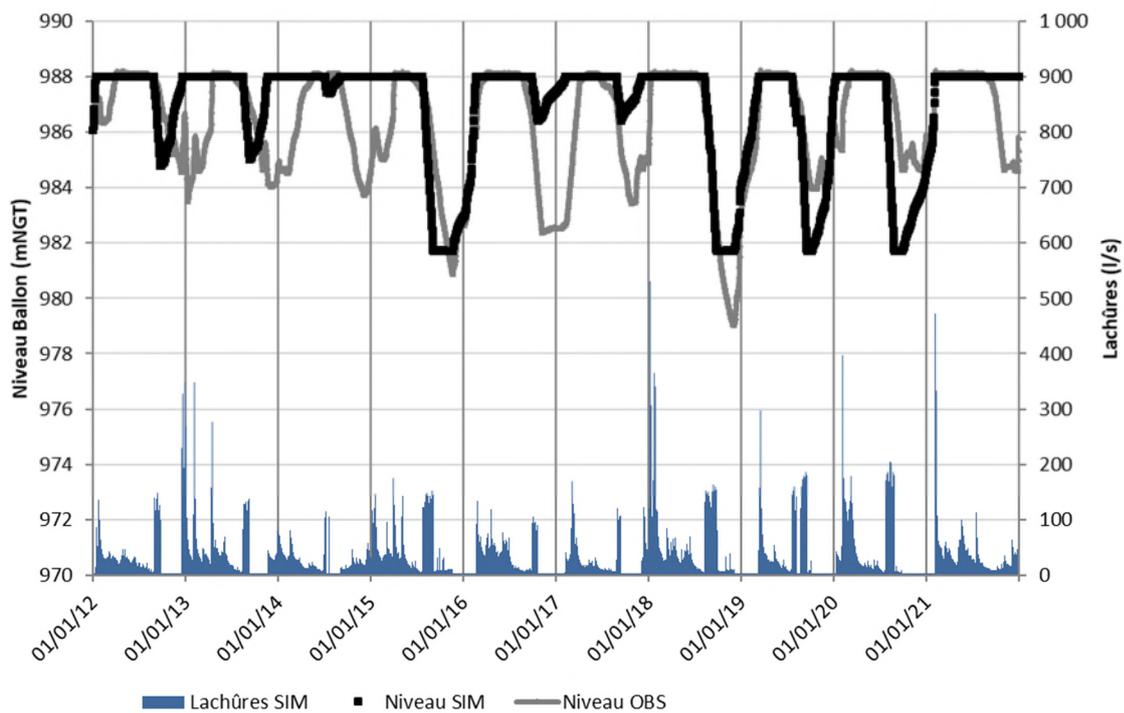


Figure 24 – Comparaison des niveaux observés et simulés au Ballon

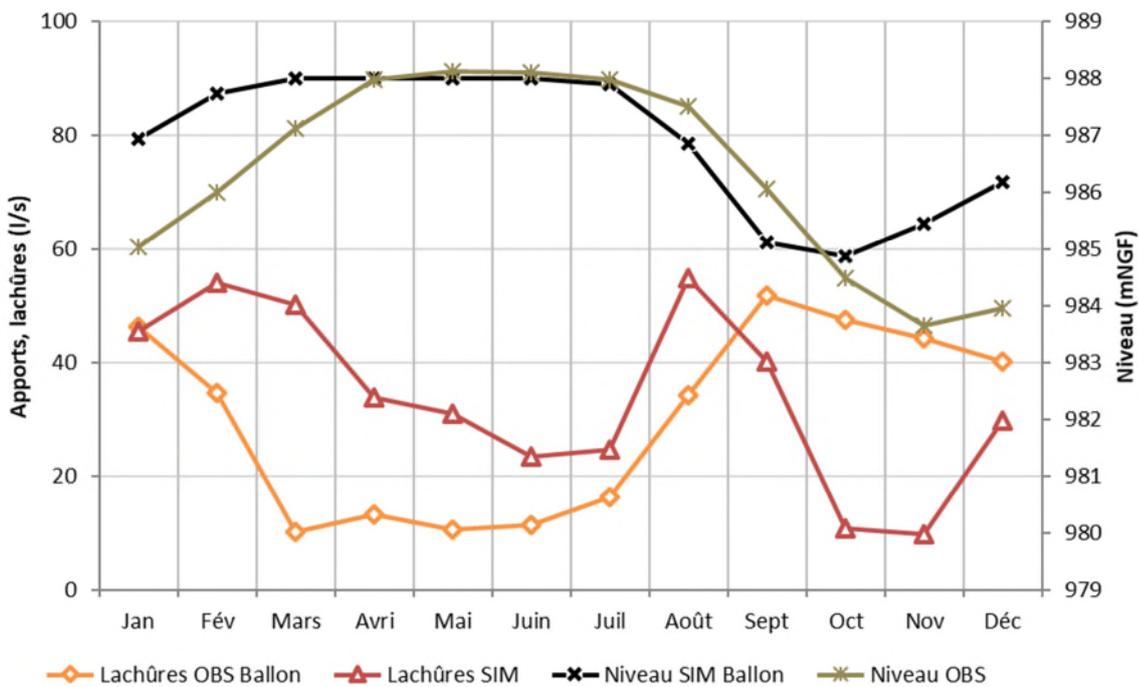


Figure 25 – Comparaison des niveaux et lâchures observés et simulés au Ballon

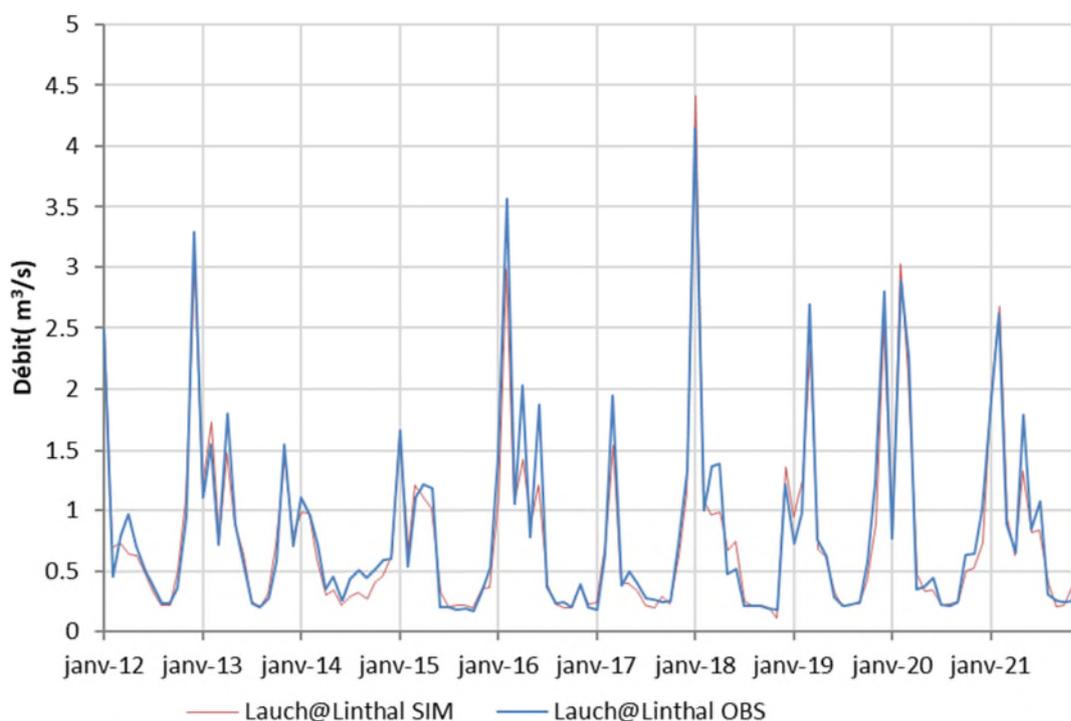


Figure 26 – Comparaison des débits observés et simulés à Linthal

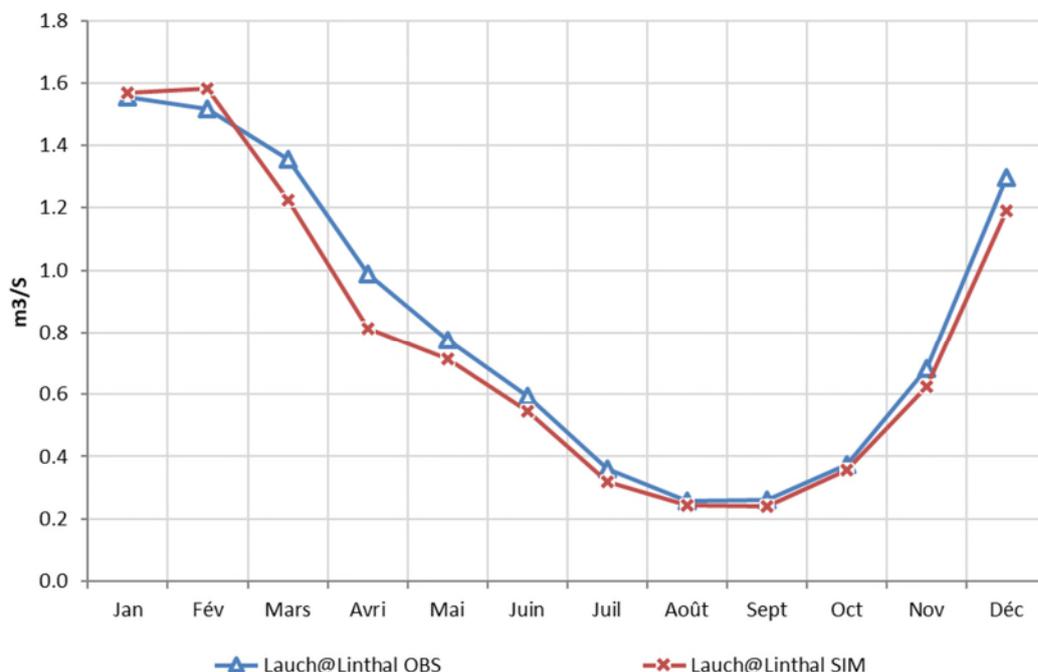


Figure 27 – Comparaison des débits observés et simulés à Linthal (moyenne mensuelle)

La comparaison des données d’exploitations des retenues et des données hydrométriques aux stations de Linthal et Guebwiller permet de valider à ce stade le jeu des paramètres de gestion et des « forçages » hydrologiques du modèle. Dès lors, on considère que le modèle est capable de reproduire fidèlement le comportement réel de « l’hydro système » (au sens du bassin versant ici considéré de la Lauch et de ses principaux aménagements (barrages Lauch et Ballon, prise d’eau à Linthal jusqu’à la station de Guebwiller).

3.4. RESULTATS

3.4.1. Scénario de référence temps présent

Suivant les bons résultats de la phase de calage, le modèle d'allocation peut être utilisé sur l'ensemble de la période retenue comme période de référence du temps présent (1977-2021). Tous les paramètres du modèle demeurent inchangés sauf le niveau RN au barrage de la Lauch qui est pris égal à 940 m (cote pleine d'origine). Les séries du niveau du lac de la Lauch et du débit de la rivière Lauch à Linthal sont illustrées respectivement à la Figure 28 et la Figure 29 ci-dessous. Pour la Figure 28 (niveau simulé du lac de la Lauch), est également représenté le niveau dépassé en moyenne 9 années sur 10. Pour la Figure 29 (débit simulé dans la rivière Lauch à Linthal), sont également représentés, pour chaque jour, les quantiles de débits 5%, 50% et 95%.

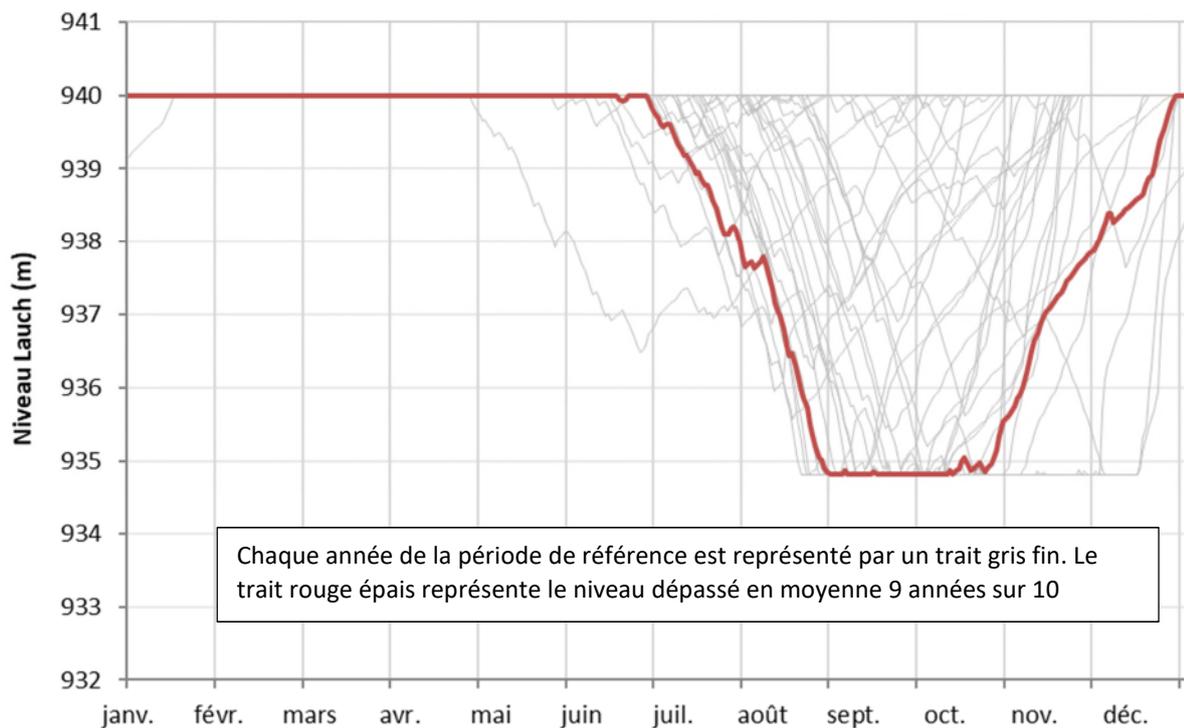


Figure 28 – Série du niveau simulé au barrage de la Lauch (1977-2021)

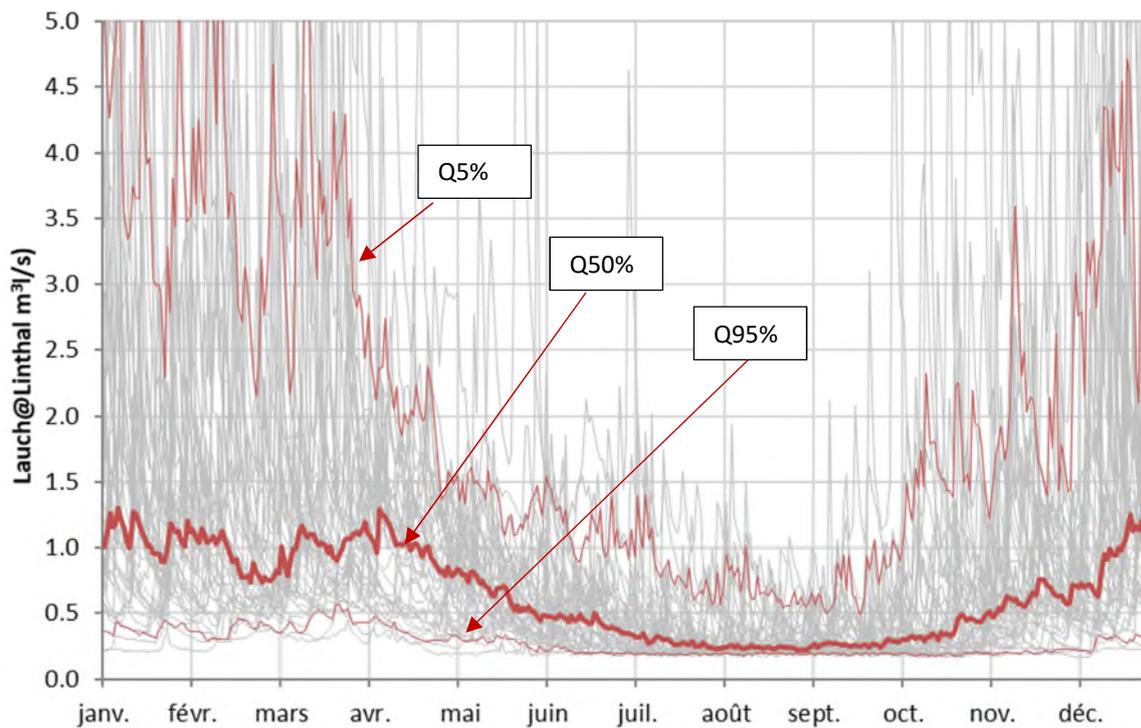


Figure 29 – Série du débit simulé de la Lauch à Linthal (1977-2021)

Le débit objectif (seuil d’alerte étiage) à Linthal est satisfait 99% du temps sur l’ensemble de la période de simulation. On dénombre tout de même 3 années (sur un total de 45, soit 1 année sur 15) pour lesquelles la non-atteinte de cet objectif à Linthal est observée pendant plusieurs semaines, respectivement 10 jours (année 2020), 29 jours (2015) et 40 jours (2018) consécutifs. Elle peut être assez prononcée puisque le débit minimum à Linthal pendant ces périodes critiques peut descendre sous la barre des 100 l/s.

Les débits simulés à Linthal pour ces 3 années sont distingués à la Figure 30 ci-dessous. Pour des raisons de lisibilité, on a restreint l’échelle des débits entre 0 et 250 l/s et limité la figure à la période des basses eaux de mai à décembre. On a aussi représenté le débit objectif de la Lauch à Linthal de 150 l/s.

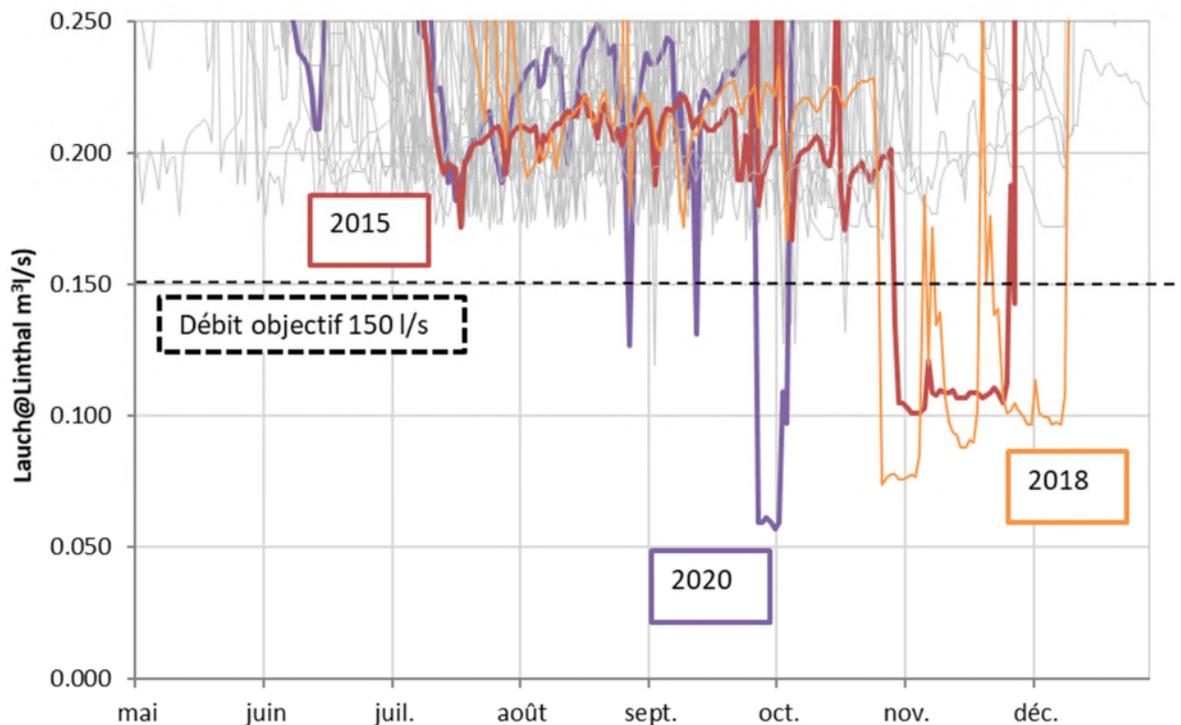


Figure 30 – Série du débit simulé de la Lauch à Linthal (1977-2021) – zoom sur les périodes sèches

Le niveau seuil sanitaire « ARS » de 934,82 m au lac de la Lauch (seuil cyanobactéries) est atteint ou dépassé (par le bas) en moyenne 1 année sur 3.

Le niveau bas (seuil avant réserve ultime) de 981,70 m au lac du Ballon est atteint ou dépassé (par le bas) en moyenne 1 année sur 15.

Le volume annuel de soutien d'étiage délivré par chaque retenue est calculé comme le volume annuel des lâchures motivées uniquement par l'objectif de maintenir un débit minimum de 150 l/s à Linthal et/ou 230 l/s à Guebwiller.

Le volume annuel moyen de soutien d'étiage vaut respectivement 333 600 m³ au lac de la Lauch et 110 900 m³ au lac du Ballon. Sur l'ensemble de la période de simulation, ce volume annuel atteint un maximum égal respectivement à 1 140 000 m³ et 538 000 m³. On peut noter qu'au lac de la Lauch, ce volume maximal, simulé pour l'année 2011, dépasse largement le volume exploitable théorique (de l'ordre de 425 000 m³). Ceci s'explique (i) par les apports hydrologiques dans le lac de la Lauch, entrants et relâchés pendant la période de soutien d'étiage, (ii) la possibilité de reconstituer tout ou partie du volume utile après le début de la campagne de soutien d'étiage. Ainsi, pour l'année 2011 (déficitaire), on assiste à des lâchures précoces, dès le mois d'avril, provoquant une baisse du niveau sur la période mai-juin. Puis, on constate une remontée du niveau en juillet-août du fait d'une bonne hydrologie, avant une nouvelle baisse motivée par le soutien d'étiage de septembre à décembre.

Le débit moyen dans la rivière Lauch à Linthal sur l'ensemble de la période de simulation vaut 520 l/s sur la période de mai à novembre et 340 l/s sur la période de juillet à septembre.

Le débit moyen dans la rivière Lauch à Guebwiller sur l'ensemble de la période de simulation vaut 960 l/s sur la période de mai à novembre et 580 l/s sur la période de juillet à septembre.

3.4.2. Temps futur – soutien des étiages

Le modèle d'allocation est maintenant utilisé avec comme entrée hydrologique les séries d'apports hydrologiques caractéristiques du temps futur. Tous les paramètres précédents du modèle demeurent par ailleurs inchangés (en

particulier le prélèvement à la prise d'eau de Linthal (60 l/s)). La simulation permet d'apprécier les changements de comportement et de performances du système attribuables uniquement au changement des conditions hydrologiques.

Le débit objectif (seuil d'alerte étiage) à Linthal est satisfait plus de 98,5% du temps sur l'ensemble de la période de simulation temps futur, soit un recul de 0,5% par rapport à la simulation « temps présent ».

La non-atteinte de ce débit objectif à Linthal (seuil d'alerte étiage à 150 l/s) est par contre désormais observée en moyenne 1 année sur 6 (contre 1 année sur 15 pour la référence temps présent) pour une durée de quelques jours jusqu'à un maximum de 60 jours consécutifs. Elle peut être assez prononcée puisque le débit minimum simulé à Linthal pendant ces périodes critiques peut descendre sous la barre des 100 l/s.

Le niveau critique de 934,82 m au lac de la Lauch (seuil cyanobactéries) est atteint ou dépassé en moyenne presque 1 année sur 2, contre 1 année sur 3 pour la référence temps présent.

Le niveau bas (seuil avant réserve ultime) de 981,70 m au lac du Ballon est atteint ou dépassé en moyenne 1 année sur 6, contre en moyenne 1 année sur 15 pour la référence temps présent.

Sur l'ensemble de la période de simulation, le débit moyen de la rivière Lauch à Linthal vaut 450 l/s sur la période de mai à novembre (- 13% par rapport à la référence temps présent) et 285 l/s sur la période de juillet à septembre (-15%).

Le débit moyen de la rivière Lauch à Guebwiller sur l'ensemble de la période de simulation vaut 810 l/s sur la période de mai à novembre (-16%) et 465 l/s sur la période de juillet à septembre (-20%).

3.4.3. Temps futur – protection contre les crues

A ce stade, on introduit comme nouvelle fonction au barrage de la Lauch la fonction de protection contre les crues (consigne saisonnière uniquement). Afin de ménager une tranche de laminage dans la retenue pour l'écêtement des crues d'hiver, le niveau maximum dans la retenue est forcé à 937 m après la campagne de soutien d'étiage et jusqu'au 14 février de l'année suivante. Puis, du 15 février au 14 mars, on vise un remplissage progressif linéaire pour atteindre la cote RN 940 m au plus tôt le 15 mars. A partir de cette date, le risque d'occurrence d'une crue sur le bassin versant amont de la Lauch n'est certes pas complètement écarté, mais bien diminué néanmoins.

Il n'est pas introduit dans le modèle la capacité de gestion « dynamique » de la retenue par des manœuvres de la vanne de vidange de fond de l'ouvrage (débit porté jusqu'à 15 m³/s après travaux) associées à de la prévision météorologique/vigilance pour créer « à la demande » un creux préventif avant l'arrivée de la crue.

Les séries de niveau des lacs de la Lauch et du Ballon sont illustrées respectivement à la Figure 31 et la Figure 32 ci-dessous.

Sans exception, le niveau RN 940 à la Lauch est atteint chaque année de la période de simulation. De ce fait, l'introduction de la **fonction de protection contre les crues** est sans effets sur les performances de **soutien d'étiage** et **ces fonctions s'avèrent donc conciliables du point de vue de la gestion de la ressource en eau.**

L'introduction de la fonction de protection contre les crues entraîne en moyenne une augmentation sensible des débits relâchés (+30%) et donc des débits à Linthal (+6%) pendant le mois de décembre, et à l'inverse une diminution des débits pendant la période février-mars (respectivement -20% et -4%).

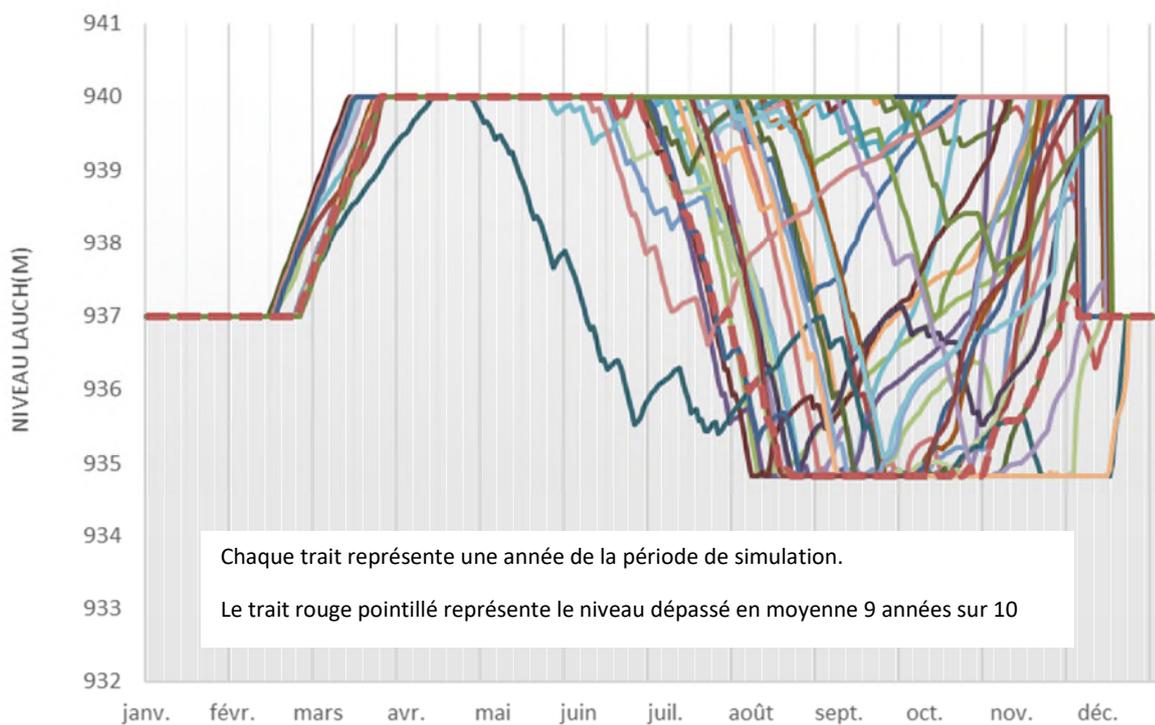


Figure 31 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur

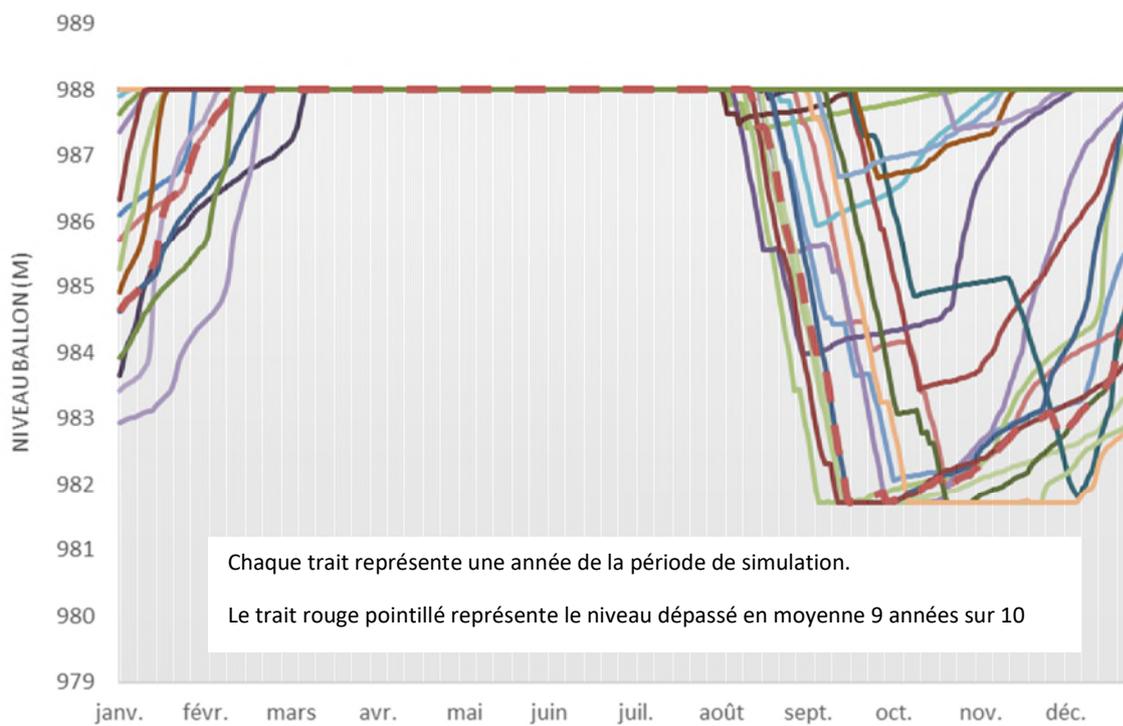


Figure 32 – Série du niveau simulé du barrage du Ballon - temps futur

3.4.4. Tableau de synthèse

En résumé les résultats de projection climatique à l'horizon 2100 sont synthétisés dans le tableau ci-dessous. On rappelle que, comme pour tout exercice d'étude prospective des impacts du changement climatique, les résultats sont associés à des incertitudes. Ici, les incertitudes propres à la modélisation du fonctionnement des retenues et autres hypothèse du modèle (par exemple volume de prélèvement à la prise d'eau de Linthal) s'ajoutent aux incertitudes liées à l'évolution des débits dans le futur (voir encadré ci-dessous, extrait du rapport MOSARH21).

Nom de la ressource en eau	Simulation du temps présent (TP)	Simulation du temps futur (TF)	
		Etiages	Crues
Rivière Lauch et bassin versant modélisé (en amont de Guebwiller)	Débit seuil d'alerte à Linthal (150 l/s) : satisfait 99% du temps mais épisodes d'étiages inférieurs 1 année sur 15 et de durée entre 10 et 40 jours consécutifs Débit moyen simulé à Linthal : 520 l/s de mai à novembre, 340 l/s de juillet à septembre	Débit seuil d'alerte à Linthal (150 l/s) : satisfait 98,5% du temps mais épisodes d'étiages inférieurs 1 année sur 6 (+250%) et de durée jusqu'à 60 jours consécutifs (+50%) Débit moyen simulé à Linthal : 450 l/s de mai à novembre (-13%), 285 l/s de juillet à septembre (-15%)	Fonction protection contre les crues compatible avec la fonction soutien d'étiage.
Lac de la Lauch	Seuil cyanobactéries (934,82m) atteint ou dépassé (par le bas) environ 1 année sur 3	Seuil cyanobactéries (934,82m) atteint ou dépassé (par le bas) environ 1 année sur 2 (+50%)	Remplissage complet de la retenue (cote 940m) possible chaque année au 15 mars après l'hiver
Lac du Ballon	Niveau seuil de réserve ultime (981,70m) atteint ou dépassé (par le bas) environ 1 année sur 15	Niveau seuil de réserve ultime (981,70m) atteint ou dépassé (par le bas) environ 1 année sur 6 (+250%)	-

Extrait du rapport final du projet MOSARH21 (source : <https://webgr.irstea.fr/>)

Le changement climatique impacte à la fois les températures et les précipitations, c'est-à-dire les deux facteurs climatiques ayant un impact de premier ordre sur régulant les débits des rivières. Cela peut se répercuter, selon la rivière et la région, par des modifications de régimes de précipitations, par des précipitations neigeuses moins abondantes et par une fonte du manteau neigeux plus précoce. Ces facteurs peuvent modifier à la fois la ressource en eau, le régime des rivières et les aléas de crues et d'étiages. La déclinaison de ce constat global à l'échelle locale ou régionale reste cependant délicate et entachée de fortes incertitudes, en raison notamment des difficultés à appréhender l'évolution fine des variables climatiques, mais également du caractère fortement non linéaire de la relation entre évolutions climatiques et hydrologiques.

De simples analyses statistiques ne permettent pas d'établir des conclusions directes entre les variations des variables climatiques et les modifications du régime hydrologique de cours d'eau tels que ceux du bassin Moselle-Sarre ou des affluents du Rhin. Il est donc nécessaire de réaliser des modélisations du fonctionnement hydrologique des bassins versants en utilisant des scénarios climatiques futurs pour estimer l'impact potentiel du changement climatique.

Afin de ne pas négliger les incertitudes présentes à chaque étape, nous avons utilisé pour chacune d'elles plusieurs variantes (scénarios radiatifs, modèles climatiques, descente d'échelle, modèles hydrologiques et leurs calages

4. STRATEGIE D'ADAPTATION – TEMPS FUTUR

Devant le constat de la non-atteinte du débit d'alerte étiage à Linthal (150 l/s) plus fréquente et plus longue chaque année à l'avenir, les trois scénarios d'adaptation évoqués au paragraphe 2.2 sont étudiés ci-après à un stade préliminaire :

- la réhausse adaptée du barrage de la Lauch dans le cadre de sa réhabilitation ;
- la construction d'une troisième retenue, située sur la Lauch, à l'aval du barrage existant de la Lauch (Dauvillers) ;
- 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 par pompage).

Ces trois scénarios sont identifiés de longues dates (voir dans les paragraphes suivants), notamment dès les années 1990-1992 lors de différentes études historiques réalisées directement par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) du Haut-Rhin à la suite d'épisodes réguliers d'assecs observés dans le lit de la Lauch entre Rouffach et Herlisheim à la fin des années 1980 et suite à la crue dévastatrice des 14-15 février 1990.

L'objectif de cette partie de l'étude est de préciser davantage les coûts à prévoir et les bénéfices en eau de ces scénarios.

4.1. STRATEGIE D'ADAPTATION 1 – REHAUSSE DU BARRAGE DE LA LAUCH

4.1.1. Description

Ce scénario est identifié dès 1992 à travers une étude « de faisabilité d'un (nouveau) barrage sur la Lauch supérieure » menée par la DDAF du Haut-Rhin. Dans cette étude, seul le principe de la réhausse du barrage existant de la Lauch est abordé en tant que variante à un nouveau barrage, avec seulement une estimation très douteuse et non détaillée d'un volume additionnel de l'ordre de 1,3 à 1,5 million de mètres cube d'eau pour une réhausse de 10 mètres.

Ici l'analyse préliminaire du scénario de réhausse du barrage de la Lauch porte sur l'évaluation de l'augmentation possible du volume de la retenue (basée sur des probabilités de remplissage) ainsi que sur l'évaluation préliminaire des coûts et des impacts au sol (emprises foncières, RD 430, etc.), le tout à partir d'un modèle numérique de terrain Lidar couvrant l'ensemble du secteur et relevé en 2020 par le Conseil Départemental du Haut-Rhin.

La figure ci-après (Figure 33) représente la topographie aux abords du réservoir de la Lauch avec une mise en avant des courbes de niveau aux altitudes 940 (niveau RN historique, représenté en orange) et 943 (niveau RN après réhausse de 3 mètres, représenté en vert). Les traits en gris clair sont d'autres courbes de niveau mètre après mètre.

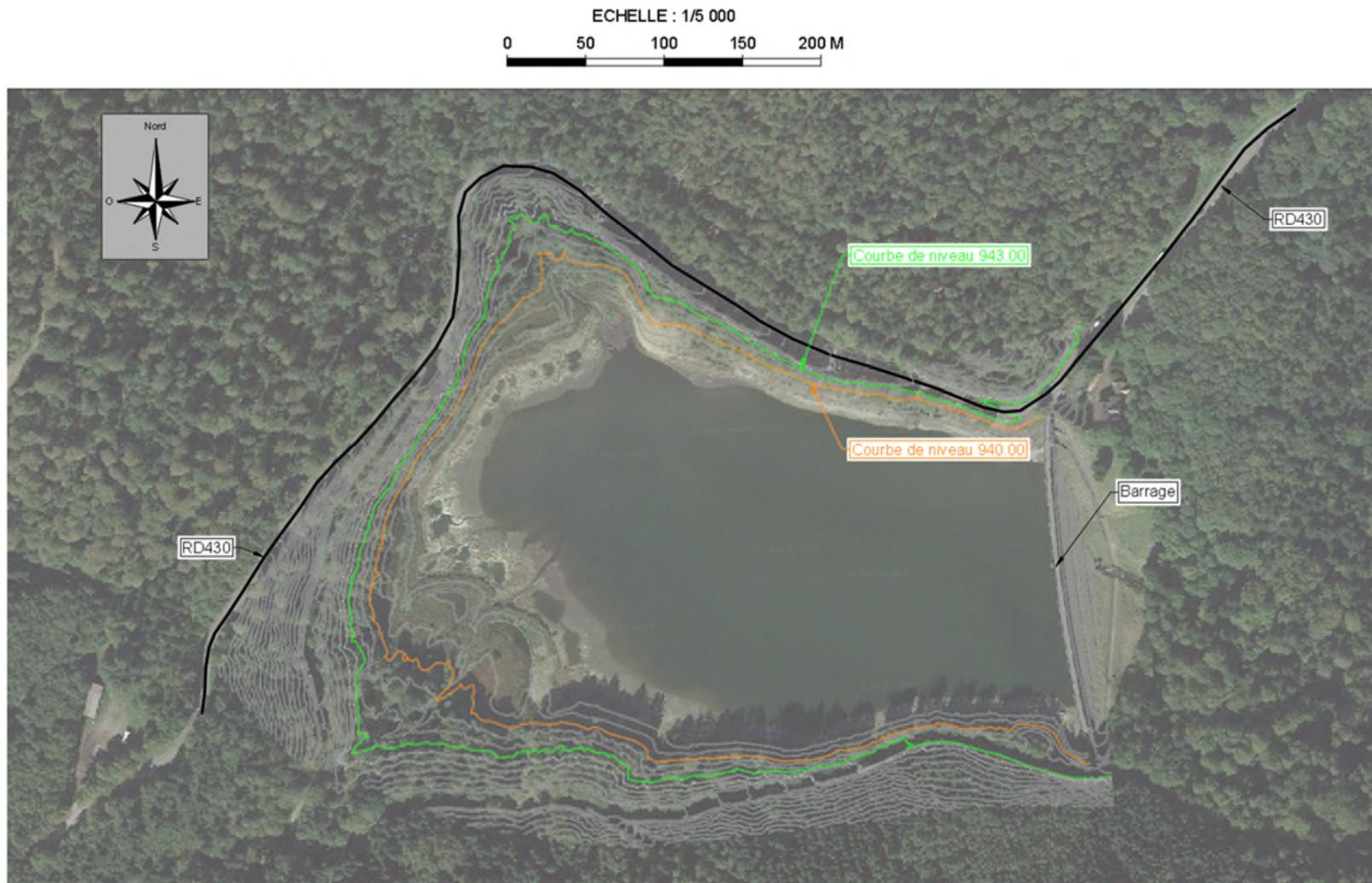


Figure 33 – Topographie existante aux abords de l'aménagement de la Lauch

Le graphique ci-après (Figure 34) illustre l'évolution possible du volume du réservoir de la Lauch en fonction de l'altitude de retenue normale (RN) :

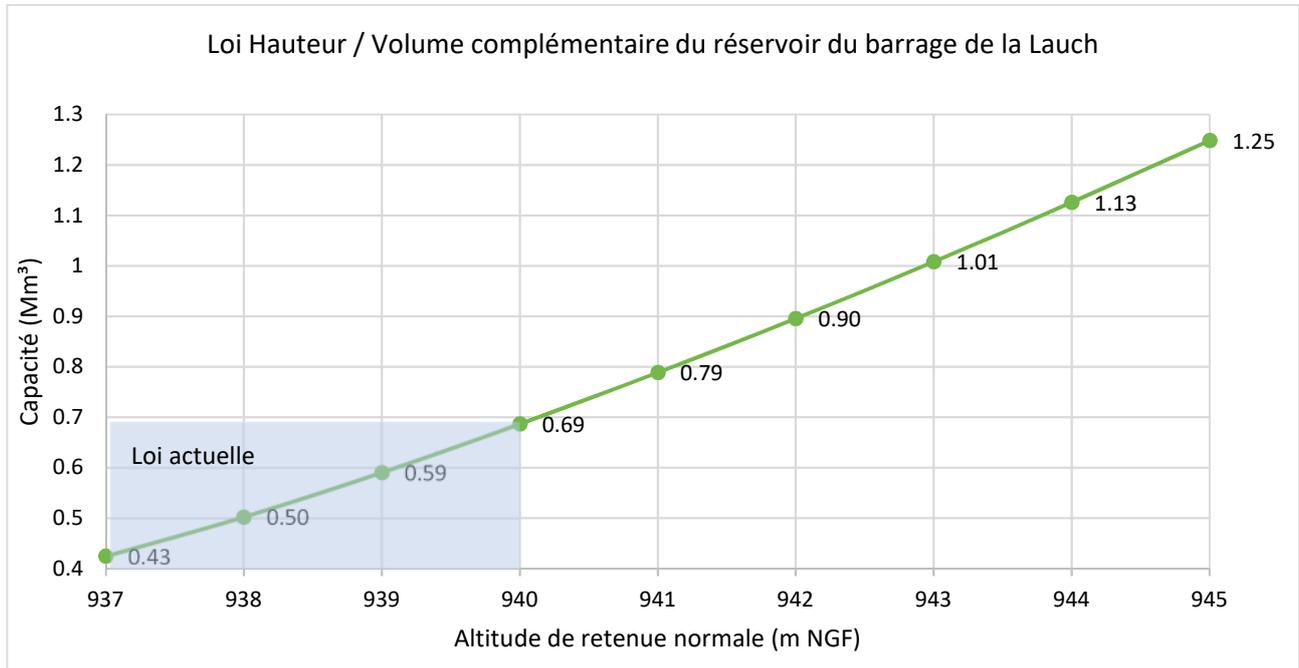


Figure 34 – Loi Hauteur / Volume du réservoir de la Lauch (au-delà de la RN 940 m)

Les travaux de réhausse envisagés à ce stade préliminaire consisteraient en la mise en œuvre d'une réhausse en béton conventionnel sur la crête du barrage en maçonnerie et d'adapter en conséquence les dimensions de la recharge en BCR pour assurer la stabilité de l'ouvrage rehaussé. Une coupe type du principe de réhausse est présentée à la Figure 35 ci-dessous.

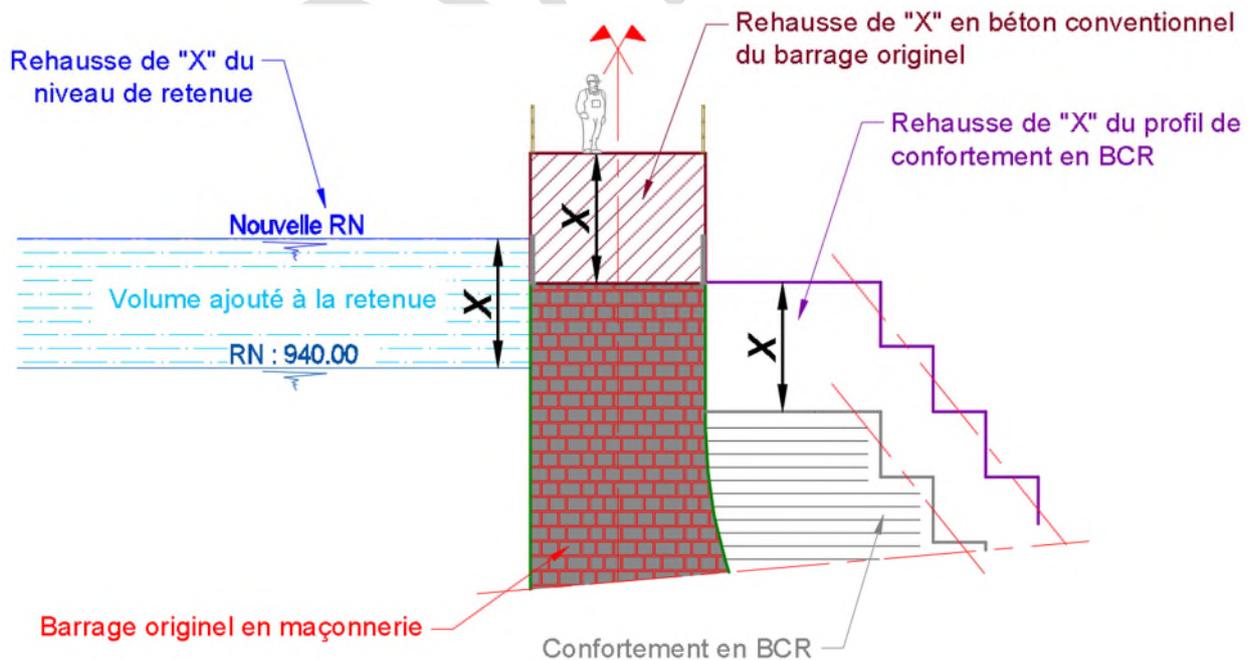


Figure 35 – Coupe-type du principe de réhausse au barrage de la Lauch

4.1.2. Bénéfices sur la ressource en eau

L'impact sur la gestion de la ressource en eau d'une éventuelle réhausse du barrage de la Lauch entre +1 m et +5 m est évalué grâce à la modélisation. La fonction de protection contre les crues est maintenue en assurant en hiver (comme précédemment dans l'étude) un creux théorique de 3 m sous le niveau RN simulé.

Le volume dans la retenue après réhausse du barrage, et par suite le volume mobilisable supplémentaire, est déduit de la courbe hauteur-volume établie sur la base du relevé LIDAR de la zone d'étude. Il vaut environ 100 000 m³ pour la réhausse de +1 m, 321 000 m³ pour la réhausse +3 m et 561 800 m³ pour la réhausse +5 m.

La série du niveau à la Lauch pour le cas de la réhausse +1 m (respectivement +3 m et +5 m) est illustrée à la Figure 36 (respectivement Figure 37 et Figure 38) ci-dessous. Le niveau dépassé en moyenne 9 années sur 10 est également représenté (trait rouge épais).

Pour les réhausses +1 m et +3 m on constate que le remplissage de la retenue est atteint chaque année de simulation sans exception. Pour la réhausse +3 m, le remplissage est néanmoins un peu plus difficile que pour la réhausse +1 m car, à apports hydrologiques constants, le volume à reconstituer est plus important.

A l'inverse, pour la réhausse +5 m on constate que le remplissage complet de la retenue n'est pas atteint pour au moins 1 année de simulation. Plus généralement, le remplissage total est atteint en moyenne plus tardivement au printemps que dans les cas précédents.

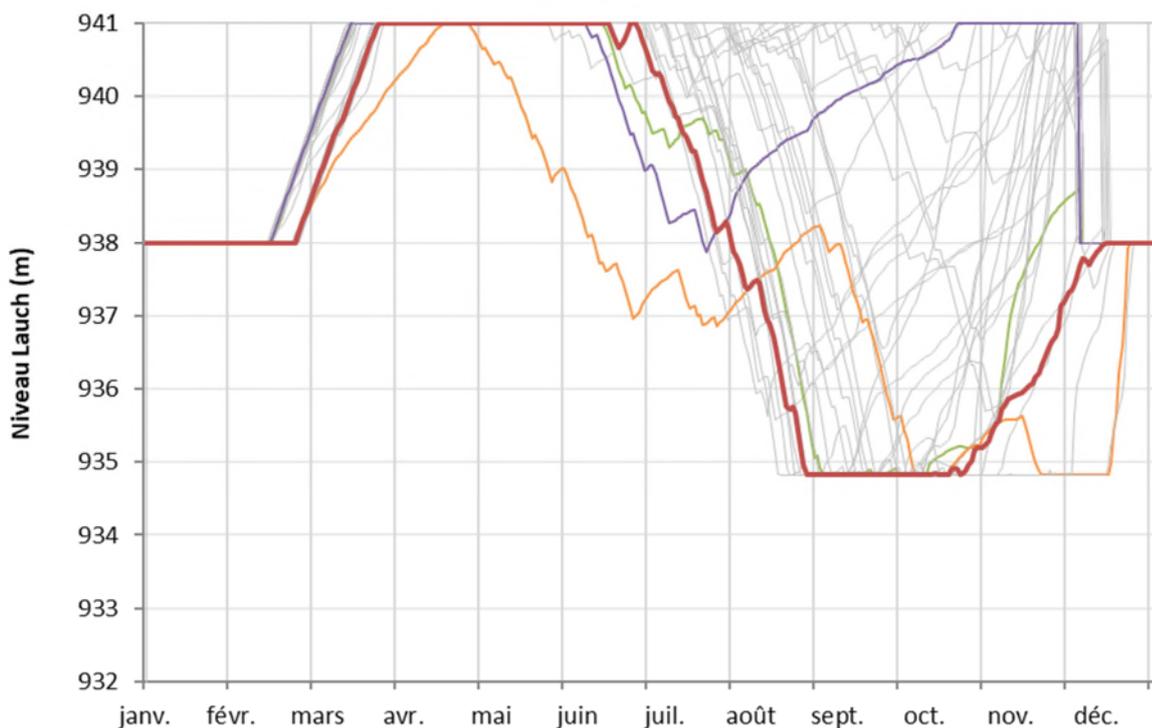


Figure 36 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur – réhausse +1 m

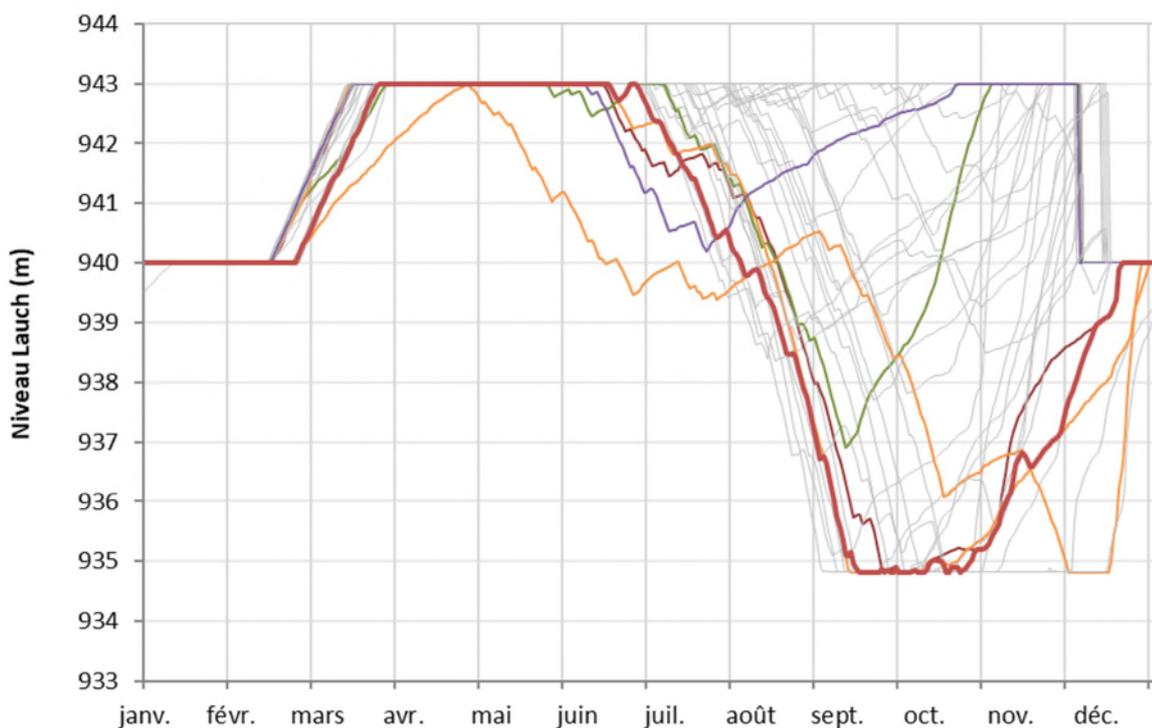


Figure 37 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur – réhausse +3 m

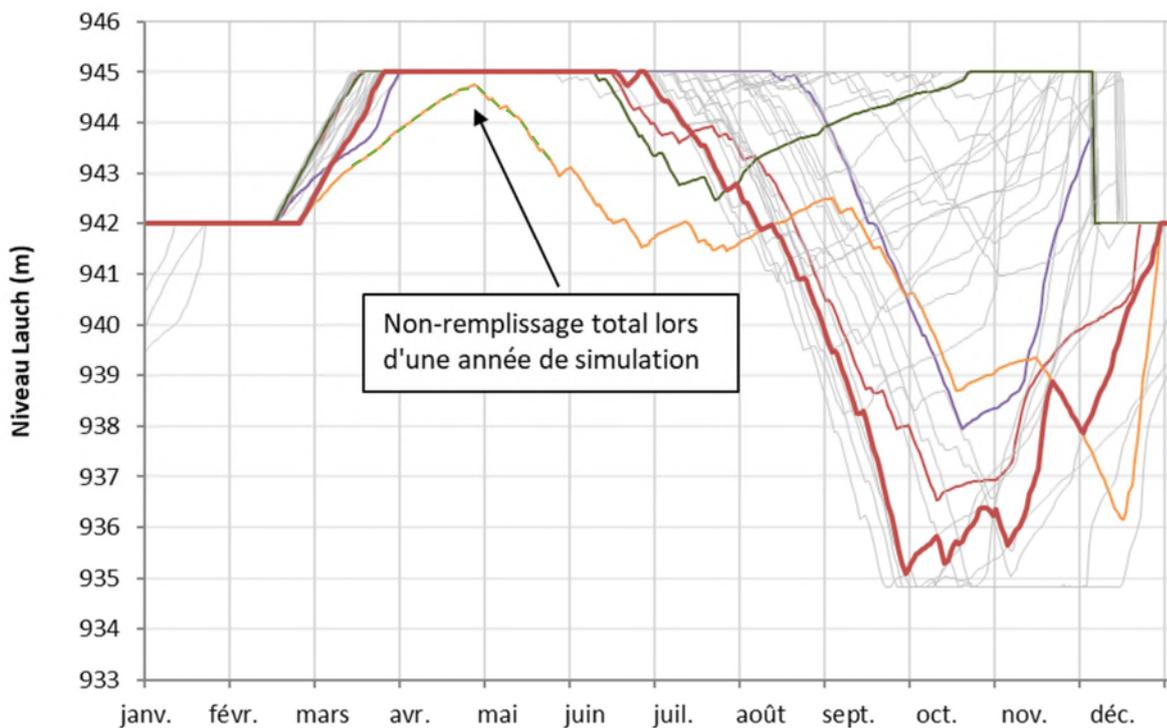


Figure 38 – Série du niveau simulé du barrage de la Lauch - temps futur – réhausse +5 m

Les résultats des simulations sont détaillés dans le tableau ci-dessous, en particulier les volumes totaux sous RN, les volumes exploitables aux retenues de la Lauch et du Ballon (450 000 m³, inchangé), le volume total de soutien d'étiage fourni par la Lauch et le Ballon sur une année moyenne, sur l'année maximale et le quantile 9 années sur 10, la fréquence de non-atteinte du débit objectif à Linthal et la durée maximale de persistance de non-atteinte.

Enfin, les principaux résultats sont illustrés à la Figure 39 ci-dessous. Sont représentés pour les différents cas de réhausse les volumes exploitables des retenues de la Lauch et du Ballon, les volumes moyens annuels de soutien d'étiage fournis par les retenues de la Lauch et du Ballon, enfin le volume annuel de soutien d'étiage par la retenue de la Lauch dépassé en moyenne 9 années sur 10.

Les principales observations sont comme suit :

- Le volume exploitable à la Lauch augmente avec la réhausse, de +25% pour une réhausse de 1 m, **+75% pour une réhausse de 3 m**, et +130% pour une réhausse de 5 m.
- **Le niveau RN à la Lauch est atteint sans exception chaque année de la période de simulation pour une réhausse jusque +3 m.** Au-delà, on voit apparaître le risque de ne pas remplir complètement la retenue entre 2 campagnes de soutien d'étiage (présence de séries n'atteignant pas la RN).
- Une non-atteinte du débit objectif à Linthal est observée en moyenne 1 année sur 6 pour une durée de quelques jours jusqu'à un maximum de 50 jours consécutifs pour une réhausse de +1 m, en moyenne 1 année sur 15 pour une durée jusqu'à un maximum de 40 jours consécutifs pour une réhausse de +3 m (conservation de la situation actuelle), et en moyenne 1 année sur 20 pour une durée maximale 15 jours consécutifs pour une réhausse de +5 m.
- Avec la réhausse et l'augmentation associée du volume exploitable à la Lauch, et compte-tenu du principe de gestion qui accorde la priorité du soutien d'étiage à la Lauch avant le Ballon, on observe que la période pendant laquelle la retenue de la Lauch assure seule la fonction de soutien d'étiage augmente, et par suite aussi le volume annuel de soutien d'étiage (respectivement +10%, **+35%** et **+45% pour une réhausse de 1 m, 3 m et 5 m**).
- Par suite, le volume moyen annuel de soutien d'étiage associé au Ballon diminue avec la réhausse du barrage de la Lauch, par exemple **-17% pour une réhausse de 3 m**.

En conclusion, avec une réhausse de 3 m, les performances de soutien d'étiage sont trouvées équivalentes à celles de la référence temps présent. Ceci est permis par une augmentation du volume exploitable à la Lauch de +75%, qui permet une augmentation moyenne des volumes annuels de soutien d'étiage de 35% (et **même 45%** pour les années les plus déficitaires). Cette augmentation permet de compenser la diminution des débits naturels d'été et d'automne en temps futur.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, une rehausse de 3 mètres du barrage de la Lauch se distingue parmi les valeurs de la plage étudiée.

	Volumes Retenues				Soutien d'étiage (m³)				Non-atteinte du débit objectif à Linthal (1 année sur X)	Durée de persistance (jours)
	Lauch			Ballon	Lauch			Ballon		
	RN (m)	Volume sous RN (m³)	Volume exploitable (m³)	Volume exploitable (m³)	Année moyenne	Quantile 9/10	Année maximale	Année moyenne		
Réf temps présent	940	698 550	426 500	450 000	333 630	671 200	1 139 600	110 850	1/15	40
Temps futur +0m	940	698 550	426 500	450 000	352 150	664 700	1 013 500	157 200	1/6	60
+1m	941	800 500	528 300		391 600	739 600	1 120 500	136 750	1/6	50
+2m	942	907 530	635 300		424 400	846 300	1 231 800	115 500	1/9	40-45
+3m	943	1 020 000	747 850		456 800	962 850	1 346 320	91 700	1/15	40
+4m*	944	1 137 900	865 700		485 800	1 085 000	1 458 000	68 600	1/15	30
+5m*	945	1 260 482	988 280		508 300	1 186 000	1 483 900	52 275	1/20	15

* Risque identifié lors de la simulation de non remplissage complet entre 2 campagnes de soutien d'étiage (hors effets cumulatifs d'années successives)

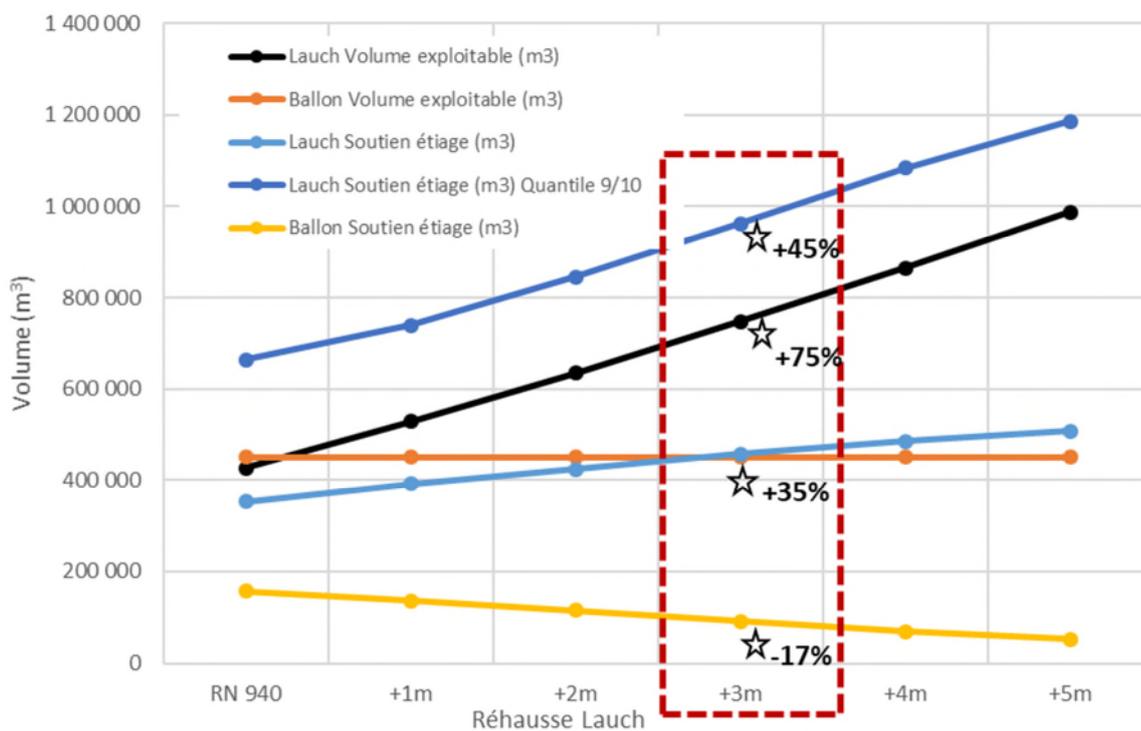


Figure 39 – Comparaison des résultats après éventuelle réhausse du barrage de la Lauch

4.1.3. Impacts et conséquences induits

Les résultats des modélisations des bilans de gestion de la ressource en eau privilégient une réhausse du barrage de la Lauch de 3 mètres (RN à 943 m NGF) car :

- Avec une réhausse de 3 m, le niveau RN à la Lauch est atteint sans exception chaque année de la période de simulation. Au-delà, on voit apparaître un risque identifié de ne pas remplir complètement la retenue entre 2 campagnes de soutien d'étiage ;
- Avec une réhausse de 3 m, les performances de soutien d'étiage sont trouvées équivalentes à celles de la référence temps présent.

Cette hauteur de réhausse n'est cependant pas sans conséquences (techniques, économiques et environnementales) sur l'aménagement. Le site du barrage de la Lauch se situe dans et à proximité de plusieurs zonages de protection réglementaires d'espaces naturels :

- intégralement : dans un site Natura 2000 ZPS Hautes Vosges n° FR4211807 (Directive Oiseaux) ;
- en Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type 1, en zone de tranquillité pour la faune sauvage (lac de la Lauch et berges), dans le Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges ;
- partiellement : dans un site Natura 2000 ZSC Hautes Vosges n° FR4201807 (Directive Habitat) ;
- à proximité : de la Réserve Biologique Intégrale (RBI) de la Forêt domaniale de Guebwiller n° FR2400170, de la Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) n°AC09 Hautes Vosges.

En complément le Conservatoire Botanique d'Alsace (C.B.A.) signale à minima la présence de 4 espèces floristiques patrimoniales dans l'emprise ou à proximité immédiate de l'aménagement envisagé. La Figure 40 ci-après présente une cartographie fournie par le maître d'ouvrage signalant les lieux d'inventaires et précisant leur niveau de vulnérabilité.

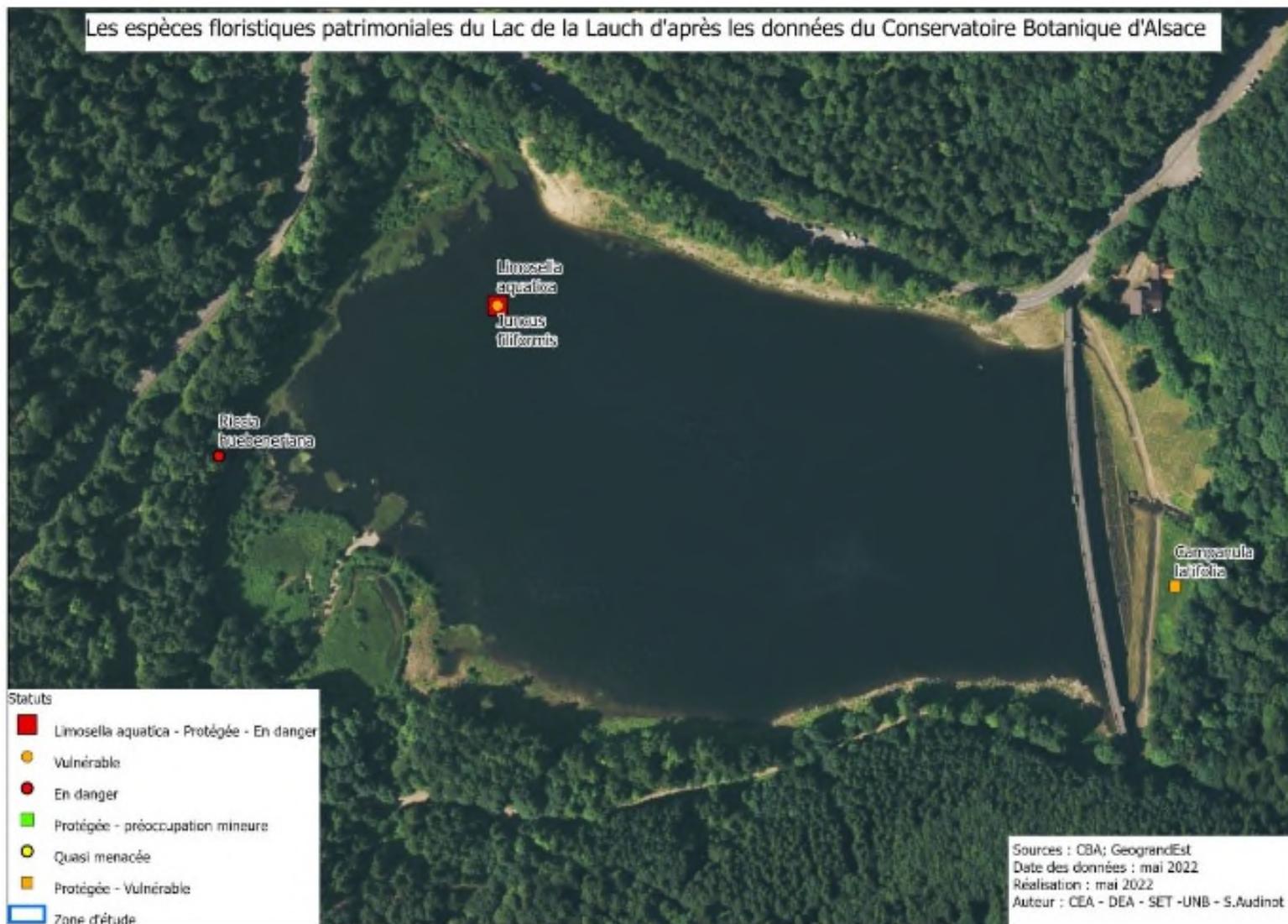


Figure 40 – Cartographie des espèces floristiques patrimoniales répertoriées à ce jour sur le site du barrage de la Lauch

A l'analyse de ces différentes données, il s'avère que des études environnementales spécifiques devront être menées préalablement à la mise en œuvre du projet. L'augmentation du niveau de retenue aura un impact environnemental certain, et des dispositions dédiées devront être prises en conséquence. L'extension du réservoir doit donc faire l'objet de dossiers réglementaires d'autorisation environnementale conduisant vers des mesures importantes selon le principe « Eviter – Réduire – Compenser » (ou ERC), au moins à hauteur de la valeur des zones perdues ou impactées.

Par ailleurs, la réhausse du barrage est susceptible d'impacter une partie du linéaire de la route départementale D430 qui contourne le réservoir dans sa partie Nord et Ouest et demeure l'unique accès routier à la crête de barrage.

Toutefois, une réhausse de 3 mètres de la cote de retenue normale du barrage de La Lauch semble avoir des impacts limités sur l'existant aux abords de l'aménagement. L'emprise du réservoir est globalement maintenue dans une aire délimitée par le tracé actuel de la RD 430, à l'exception d'une zone faiblement étendue, en rive gauche à l'amont immédiat du barrage.

Afin d'éviter les différents impacts identifiés sur la RD430 et sur le couvert forestier, une solution technique pertinente est de contenir l'extension du réservoir en rive gauche par la construction d'un ouvrage de fermeture protégeant la route, depuis le parement amont du barrage et se fermant contre la route qui remonte progressivement vers l'amont (voir Figure 41 ci-dessous). Cette solution s'inscrit dans une démarche volontaire de prioriser les mesures d'évitement par rapport aux mesures de réduction et de compensation, conformément au principe ERC.

La construction d'une rampe d'accès, s'appuyant sur le mur de fermeture de la retenue et sur un mur de soutènement à construire, permettrait l'accès à la crête réhaussée sans impacter la route.

Par analogie avec les études de confortement du barrage de La Lauch menées en 2021, la cote des Plus Hautes Eaux (PHE) est fixée arbitrairement à ce stade à 1,1 mètre au-dessus de la cote de Retenue Normale (RN). Pour une réhausse, de 3 mètres du niveau RN (943 m NGF), la cote PHE est ainsi fixée à 944,10 m NGF.

Ci-après, la Figure 41 décrit l'ensemble des dispositifs constructifs relatifs à une réhausse ainsi que la retenue et ses emprises surfaciques selon les niveaux d'eau atteints tout en rappelant les positions des espèces floristiques patrimoniales répertoriées par le C.B.A. présentées précédemment.

4.1.4. Chiffrage préliminaire

Le tableau suivant présente une estimation préliminaire des coûts de travaux pour une réhausse de 3 m du réservoir de la Lauch. Cette estimation intègre le coût des travaux de réhausse ainsi que les coûts additionnels du confortement de l'ouvrage associés à cette réhausse.

A ce stade préliminaire, une provision de 30% (aléas de chantier et aléas économiques) a été intégrée à l'estimation du coût des travaux.

Sont également comptabilisés des coûts de démolition des 3 bâtiments largement désaffectés et existants à proximité de l'ouvrage ainsi qu'une fourchette pour les coûts des mesures compensatoires et environnementales, estimées à ce stade entre 1 et 2 millions d'€.

Ces mesures pourraient inclure en particulier la création d'un crapauduc traversant la RD430 et de 2 aménagements d'immersion de digue par batardeau en fond de lac sur chaque rive pour créer des zones de stagnation des eaux favorables à la ponte des œufs des amphibiens et au retour des plantes floristiques qui se sont développées en bordure de retenue suite à l'abaissement du plan d'eau sous la cote 940 m.

Concernant les surfaces brutes impactées par la réhausse du barrage, on distingue la superficie de terrain comprise entre les altitudes 937 m et 940 m, égale à 23 200 m² et la superficie de terrain comprise entre les altitudes 940 m et 943 m, égale à 15 000 m². Ces surfaces formeront un élément déterminant dans le cadre de la préparation des mesures ERC.

Réhausse et prolongations de la crête de barrage à altitude 945.00 – Réhausse 3m (€)	2 362 000
Mur de fermeture de retenue rive gauche pour protection D430 (€)	416 250
Dispositifs de soutènements et d'accès à la crête réhaussée depuis D430 (€)	211 500
Démolition de bâtiments existants à proximité de l'ouvrage (€)	121 000
Sous-total HT (€)	3 110 000
Etudes et investigations complémentaires/ Aléa / Incertitudes / Divers	30%
Total estimé HT (€) hors mesures compensatoires et environnementales	4 050 000
Mesures compensatoires et environnementales comprenant études et travaux	1 à 2 millions d'€
Total estimé HT y compris mesures compensatoires et environnementales	5 à 6 millions d'€

En annexe est présenté un détail des coûts d'ensemble présentés ci-dessus.

4.2. STRATEGIE D'ADAPTATION 2 – TRANSFERT CLUSBACH

4.2.1. Description

Le ruisseau du Clusbach est un affluent en rive gauche du Seebach (la vallée à l'aval du lac du Ballon), lui-même affluent en rive droite de la Lauch. Le Clusbach rejoint le Seebach environ 500 m à l'aval des cascades du Seebach, au droit de l'abri Jeannot repéré sur la carte IGN (altitude environ 740 m) en aval du lac du Ballon (qui est sur le Seebach).

Le scénario de dérivation des eaux du Clusbach vers la retenue existante du Ballon est identifié dès 1990 dans l'*Etude de faisabilité d'un barrage sur la Lauch supérieure et amélioration du stockage du lac du Ballon* (DDAF68).

Un extrait de ce document est repris ci-dessous. La dérivation du Clusbach vers le Ballon y est présentée comme une solution « en association avec [la] solution de base [c'est-à-dire la création d'un nouveau barrage-réservoir de faible capacité sur la Lauch à l'amont de Linthal] » et justifiée par une augmentation attendue des apports au Ballon et par suite un rôle plus affirmé du lac du Ballon en relais ou secours dans la régulation des débits de la Lauch à Linthal.

- En association avec cette solution de base, on pourrait dériver le Clusbach vers le lac du Ballon. En effet, ce lac a une capacité de retenue de 1.100.000 m³ mais il n'est que rarement rempli à cause du faible bassin versant qui l'alimente. Si l'on ajoutait le Clusbach au lac du Ballon, le bassin versant serait sensiblement doublé et du coup ce lac pourrait jouer un rôle de régulation des débits plus efficace. Les crédits d'étude à prévoir pour cet aménagement concerneraient un levé topographique.

Au niveau du site projeté pour le captage (altitude environ 990 m) et le transfert des eaux du Clusbach vers la retenue du Ballon, le torrent est formé a priori par 3 branches distinctes. En considérant que ces 3 branches puissent être équipées, le bassin versant intercepté du ruisseau du Clusbach serait de l'ordre de 1,5 à 1,7 km², soit une superficie assez similaire à celle du bassin versant d'alimentation du lac du Ballon (1,5 km²). En première approche, on peut donc considérer que les apports potentiels du Clusbach au droit du captage soient similaires à ceux reconstitués pour le lac du Ballon. De même, on retient à ce stade que le débit réservé à l'aval du captage du Clusbach est égal au débit réservé à l'aval du lac du Ballon, soit un débit réservé de 4 l/s.

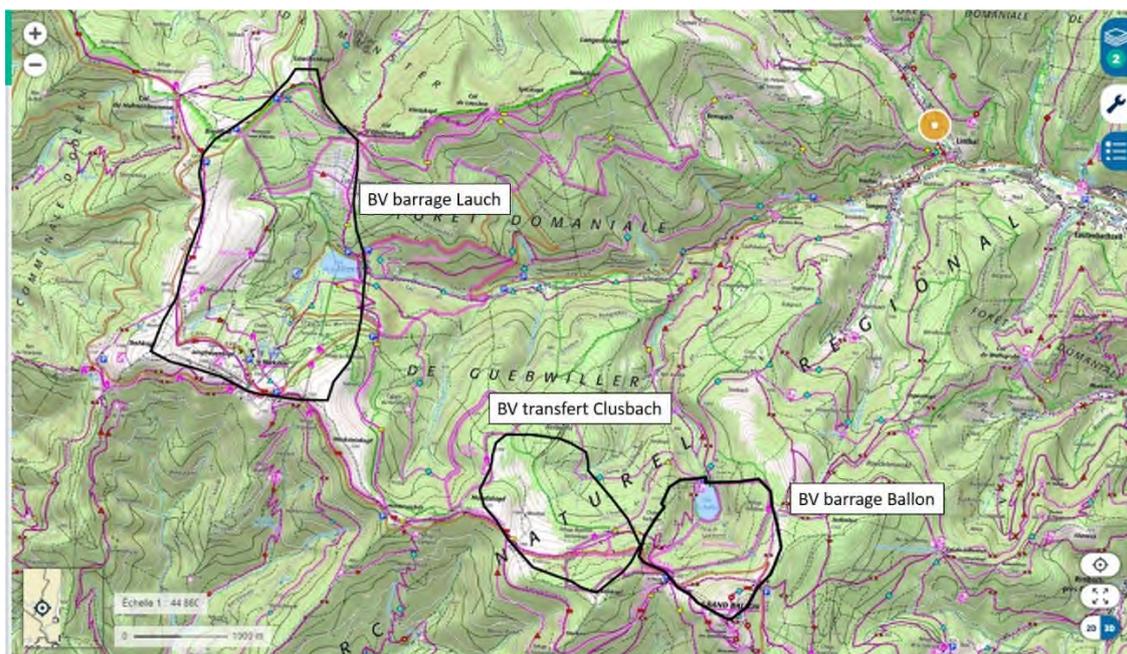


Figure 42 – Carte de localisation des bassins versants des barrages de la Lauch, du Ballon et des torrents du Clusbach au droit du site envisagé pour la dérivation

Dans la continuité de l'étude initiale de 1990, un tracé du parcours du transfert est ici identifié et emprunte le chemin forestier dit « Chemin du Gluswald » jusqu'en limite de bassin versant, pour ensuite continuer son cheminement via une piste forestière débouchant au droit de la retenue du Ballon. Ce tracé d'environ 1,7 km présente l'avantage de se situer exclusivement sous des pistes déjà existantes. Il impose cependant le recours à un dispositif de pompage-

Le dispositif complet de transfert d'eau serait composé de :

- 2 points de captage (1 dans le cours d'eau isolé au Nord et 1 positionné à la confluence des 2 autres plus au Sud) composés pour chacun d'1 ouvrage de rétention en béton armé et d'1 système de filtration grossière en entrée ;
- 1 conduite en fonte ductile équipée sur l'ensemble de son linéaire de différents points de vidange et de purge ;
- 1 station de pompage contenant l'ensemble des équipements mécaniques et électriques nécessaires ;
- 1 ouvrage de restitution dans le lac du Ballon.

La carte illustrée en Figure 43 ci-après décrit l'ensemble du cheminement effectué par la conduite depuis les points de captage jusqu'au point de rejet.

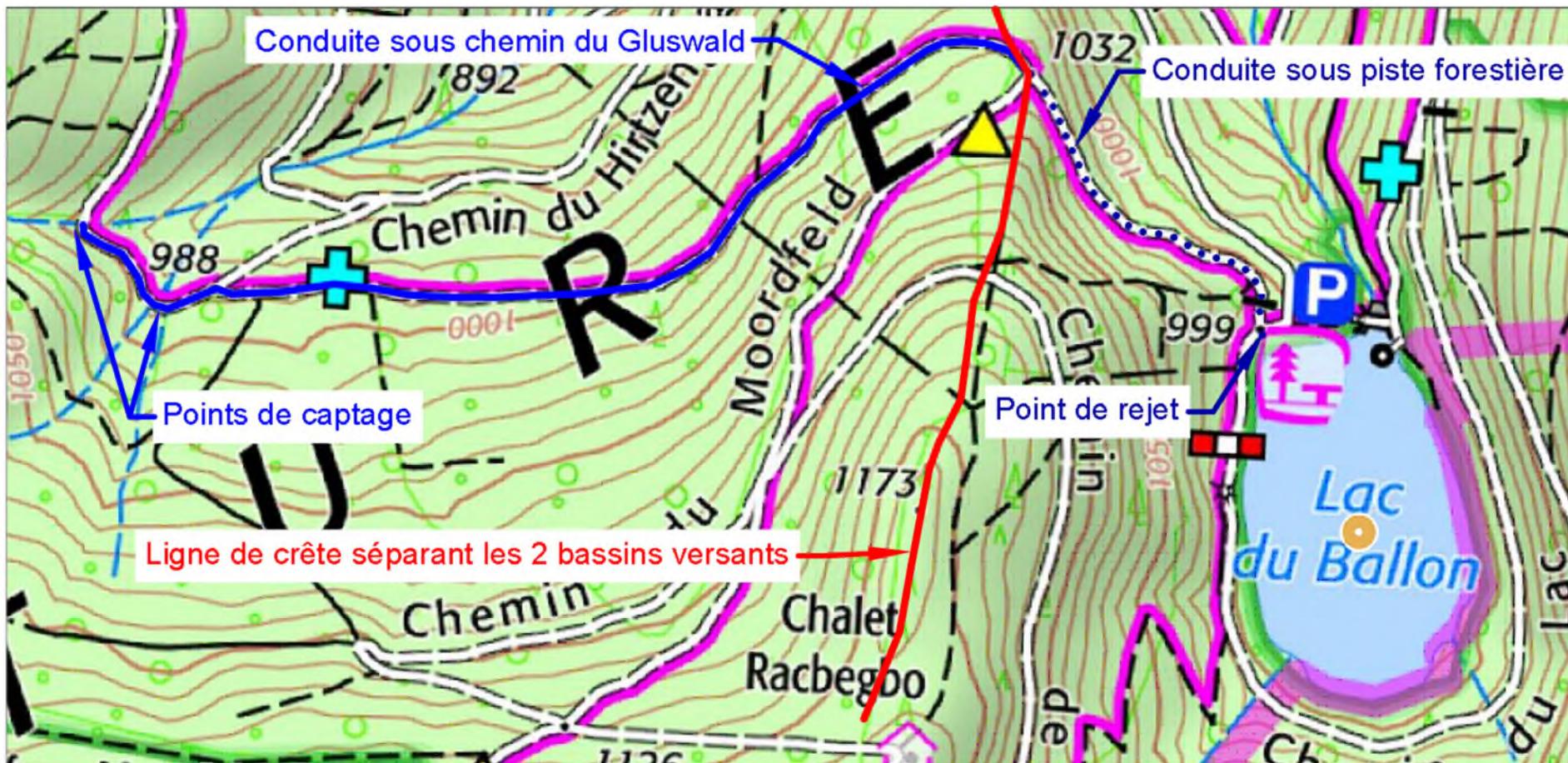


Figure 43 – Carte de localisation des principaux ouvrages du scénario de transfert des eaux du Clusbach vers le lac du Ballon

4.2.2. Bénéfices sur la ressource en eau

Le bénéfice du transfert des eaux du Clusbach est évalué grâce à l'introduction dans le modèle d'allocation du transfert des eaux du Clusbach vers la retenue du Ballon.

Les simulations ne permettent pas de mettre en évidence un effet bénéfique significatif d'un transfert des eaux du Clusbach vers la retenue du Ballon sans remise en cause du statut quo concernant le principe de gestion accordant le rôle principal et la priorité au barrage de la Lauch dans le soutien d'étiage. Le lac du Ballon doit conserver son rôle de « réserve de sécurité » vis-à-vis de l'exploitation du barrage de la Lauch.

En effet, compte-tenu des règles de gestion actuelles où le Ballon prend le relais de la Lauch dans le soutien d'étiage, les apports de transfert « ne servent qu'à » remonter plus vite le niveau du Ballon après la campagne de soutien d'étiage. **Au moment où les apports de transfert seraient utiles, les apports naturels du Clusbach sont trop faibles pour être transférés** (car l'on tient compte du respect d'un débit réservé à l'aval de la prise d'eau du Clusbach). Pour donner du sens au transfert Clusbach, il faudrait sans doute remettre en question les principes de gestion coordonnée des retenues de la Lauch et du Ballon selon les pistes suivantes :

- Mobiliser le volume exploitable du Ballon plus tôt pendant la campagne de soutien d'étiage, avant que les débits du Clusbach n'atteignent leur niveau bas et deviennent de ce fait « intransférables », et ce bien sûr quelle que soit la capacité maximale des ouvrages de transfert.
- Augmenter le volume exploitable du Ballon car les apports supplémentaires dus au transfert Clusbach en hiver/printemps permettent d'augmenter le taux de renouvellement de la retenue. On pourrait donc imaginer augmenter le volume exploitable sans crainte d'aggraver le risque de ne pas remplir la retenue entre 2 campagnes de soutien d'étiage (on resterait à risque constant par rapport à la gestion actuelle).

Sous réserve que de telles considérations puissent être envisagées dans le futur, il apparaît que la capacité maximale très incertaine de transfert de ce dispositif lors des périodes favorables serait de l'ordre de 10 à 50 l/s selon le dimensionnement retenu par le maître d'ouvrage. Toutefois ce dispositif ne supprimera pas les risques de non-atteinte des débits seuils d'alerte étiage ou de non remplissage complet de la retenue du Ballon entre deux campagnes de soutien d'étiage.

Pour une approche à « risque limité » sur la gestion de la ressource en eau dans le temps futur, ce scénario serait plutôt à envisager en association après la mise en œuvre de l'un des deux autres scénarios d'adaptation.

4.2.3. Impacts et conséquences induits par le projet

Pour cette stratégie d'adaptation, seules des données mises à disposition par le site gouvernemental Géoportail sont à ce stade considérées dans le cadre de cette étude. Elles couvrent les sites de captage, voies et pistes empruntées par la conduite et le lac du Ballon. Les informations suivantes y sont indiquées :

- Le lac du Ballon et ses abords sont intégralement compris dans une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I ;
- L'ensemble du projet est intégralement compris dans une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type II ;
- L'ensemble du projet est intégralement compris dans une Zone NATURA 2000 (Directive Oiseaux) classifié : Zone de Protection Spéciale (ZPS) ;
- La totalité des talus amont des voies empruntées par la conduite sont dans une Zone NATURA 2000 (Directive Habitats) classifié : Site d'Importance Communautaire (SIC) ;
- L'ensemble du projet est intégralement situé dans un parc naturel régional.

Des études environnementales spécifiques devront également être conduites préalablement à la mise en œuvre du projet.

A ce stade très préliminaire, on peut imaginer des mesures compensatoires telles que l'acquisition des parcelles forestières confiées en gestion à l'ONF et impactées par le développement du projet. Seraient alors concernées a priori les emprises des ouvrages de prises d'eau et des ouvrages annexes (local technique), mais pas le linéaire du tracé du chemin d'eau qui suit la piste forestière.

4.2.4. Chiffrage préliminaire

Bien que cette solution ne permette pas d'atteindre les objectifs de résilience de la ressource en eau, ce scénario est chiffré pour mémoire.

Au vu des résultats issus de la modélisation, deux chiffrages ont été effectués correspondant aux valeurs de la plage des débits considérés (10l/s et 50 l/s).

Le tableau suivant présente une estimation préliminaire des coûts de travaux pour la création d'un dispositif complet assurant le captage d'eau sur les 3 ruisseaux formant le Clusbach, ainsi que son transfert dans le lac du Ballon à un débit de 50l/s.

A ce stade préliminaire et compte-tenu du faible niveau d'information disponible, une provision de 60% a été intégrée à l'estimation du coût des travaux.

L'ordre de grandeur des mesures compensatoires s'élèverait à une fourchette comprise entre 200 000 et 500 000 €HT.

Aménagements et dispositifs de captage des affluents du Clusbach (€)	80 000
Aménagements et dispositif de restitution au lac du ballon (€)	25 000
Station de pompage et équipements	210 000
Conduite d'acheminement du Clusbach au lac du Ballon	900 000
Sous-total HT (€)	1 365 000
Etudes et investigations complémentaires/ Aléas / Incertitudes / Divers	60%
Total HT (€) hors mesures compensatoires et environnementales	1 945 000
Mesures compensatoires et environnementales comprenant études et travaux (€)	200 000 à 500 000
Total estimé HT y compris mesures compensatoires et environnementales - – Capacité maximale de transfert égale à 50 l/s	2 à 2,5 millions d'€

4.3. STRATEGIE D'ADAPTATION 3 – NOUVELLE RETENUE SUR LA LAUCH

4.3.1. Description

Le principe d'augmenter la capacité de régulation des débits saisonniers de la Lauch par la création d'une nouvelle retenue située entre le barrage existant et la ville de Linthal est historiquement déjà évoqué dans une étude sommaire de la DDAF du Haut-Rhin en 1992 (*Etude de faisabilité d'un 3^{ème} barrage sur la Lauch*).

Dans cette étude des investigations par reconnaissance géotechnique ont identifié parmi 4 lieux un site favorable et susceptible de créer une retenue estimée à l'époque à 1,5 millions de m³ en complément des aménagements existants des retenues de la Lauch et du Ballon. Ce site semble présenter des qualités propices à la création d'un nouveau barrage (présence d'un substratum peu profond) pour une hauteur avoisinant les 25m de hauteur pour atteindre la capacité de retenue escomptée.

La position de l'axe de ce nouvel aménagement se situerait à environ 2,6 km en aval du barrage de la Lauch.

Le nouveau barrage permettrait d'intercepter quelques affluents de la Lauch dont la confluence se situe entre le barrage existant et le site envisagé pour le nouveau barrage. Le bassin versant intermédiaire entre les 2 barrages est estimé entre 3 et 3,5 km², soit une superficie assez inférieure à celle du bassin versant de la Lauch à l'amont du barrage existant (5,7 km²). Comme néanmoins les débits d'apports à la Lauch sont en moyenne largement excédentaires, la nouvelle retenue pourrait aussi compter, sauf année extraordinaire, sur les volumes excédentaires déversés à l'amont en hiver et au printemps.

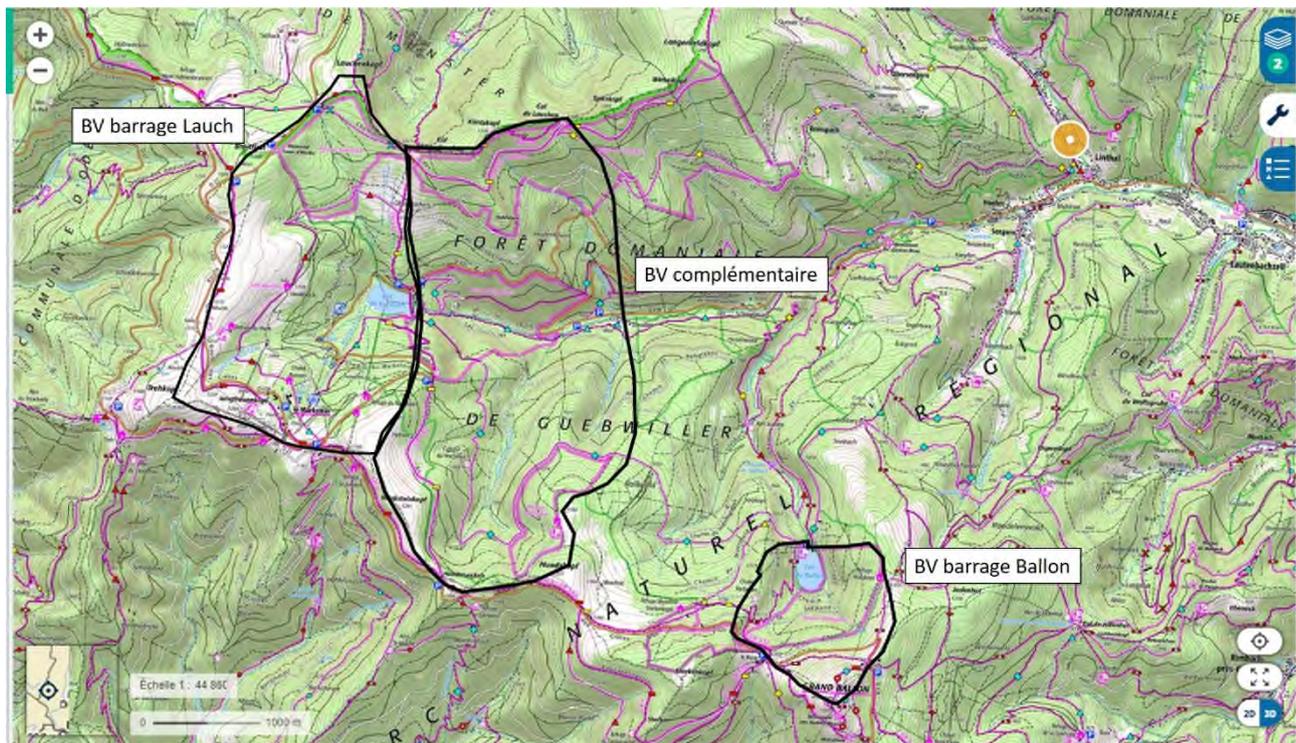


Figure 44 – Carte de localisation des bassins versants des barrages de la Lauch, du Ballon et d'un nouveau barrage au site envisagé

L'analyse préliminaire de la construction d'un nouveau réservoir, tant sur l'évaluation de l'augmentation du volume de retenue que sur l'évaluation des impacts au sol (emprises foncières, RD 430, etc.) s'appuie sur le relevé Lidar de la zone réalisé en 2020.

L'établissement de la loi hauteur/volume de ce nouveau réservoir montre que la capacité estimée en 1992 était largement surévaluée.

Le graphique ci-après (Figure 45) illustre l'évolution du volume du nouveau réservoir en fonction de l'altitude de retenue normale.

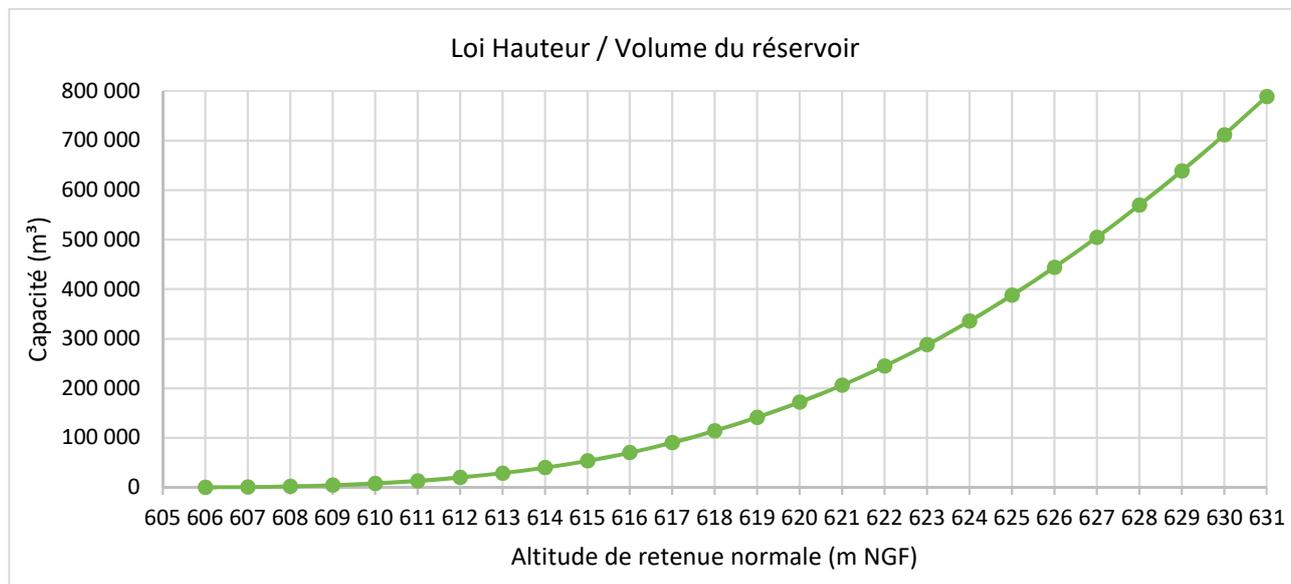


Figure 45 – Loi Hauteur / Volume du réservoir complémentaire

Un nouveau barrage avec un niveau fixé à 624,00 mNGF (soit plus de 18m de hauteur d'eau) permettrait d'atteindre une capacité de stockage d'environ 335 000m³, volume similaire au volume additionnel stocké dans la tranche de surélévation de 3m du niveau normal de la retenue du barrage de la Lauch.

Arasé à l'altitude de 627,60 (ajout d'une hauteur de revanche), ce barrage avoisinerait un total de 25m de hauteur par rapport au terrain naturel. Il serait de type poids en remblai et en théorie principalement constitué de matériaux issus du site. L'étanchéité du corps du barrage serait assurée par un noyau argileux.

L'évacuation des crues serait assurée par un évacuateur de crues latéral en rive droite à surface libre dont la capacité d'évacuation serait de l'ordre de celle de l'évacuateur du barrage de la Lauch soit environ 80 m³/s. L'eau déversée cheminerait dans un coursier fondé sur la berge en rive droite de l'ouvrage pour être ensuite restituée dans le lit de la rivière via un évacuateur de crue de type « saut à ski ».

En son pied, l'ouvrage serait muni d'une galerie le traversant d'amont en aval abritant les conduites de vidange et de prise d'eau de l'aménagement.

Les principales caractéristiques de l'ouvrage seraient les suivantes :

Type de barrage	Corps en remblai homogène avec noyau d'étanchéité argileux
Hauteur maximum	~25m
Longueur de la crête	~200m
Largeur de la crête	7.5m
Pente du talus amont	3h/1v
Pente du talus aval	3h/1v
Emprise Amont / Aval maximum	~170m

La Lauch est classée en liste 2 pour les truites fario. Il faudrait donc que le barrage dispose d'un ouvrage de franchissement piscicole adapté. Compte-tenu de la hauteur du barrage, une solution de type ascenseur à poissons serait à envisager.

Ci-après sont présentés Figure 46 une coupe type du barrage et Figure 47 un plan masse de l'aménagement.

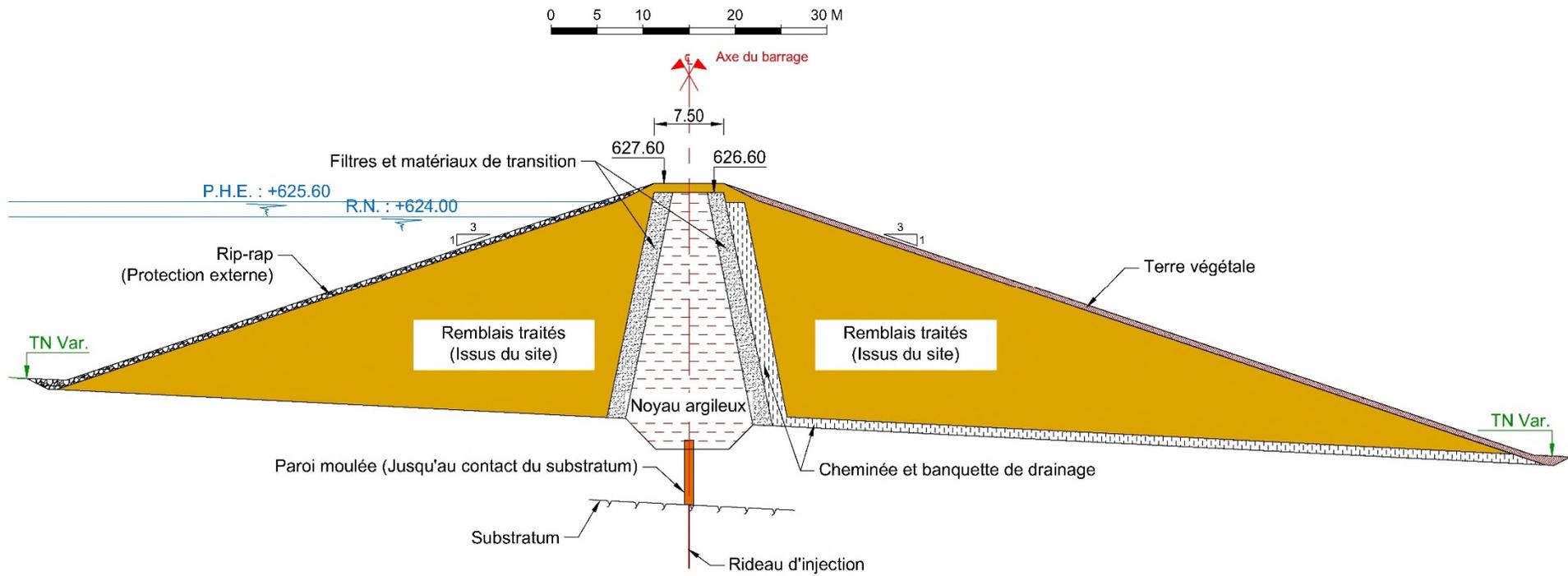


Figure 46 – Coupe-type du nouveau barrage sur la Lauch

ECHELLE : 1/5 000

0 50 100 150 200 M

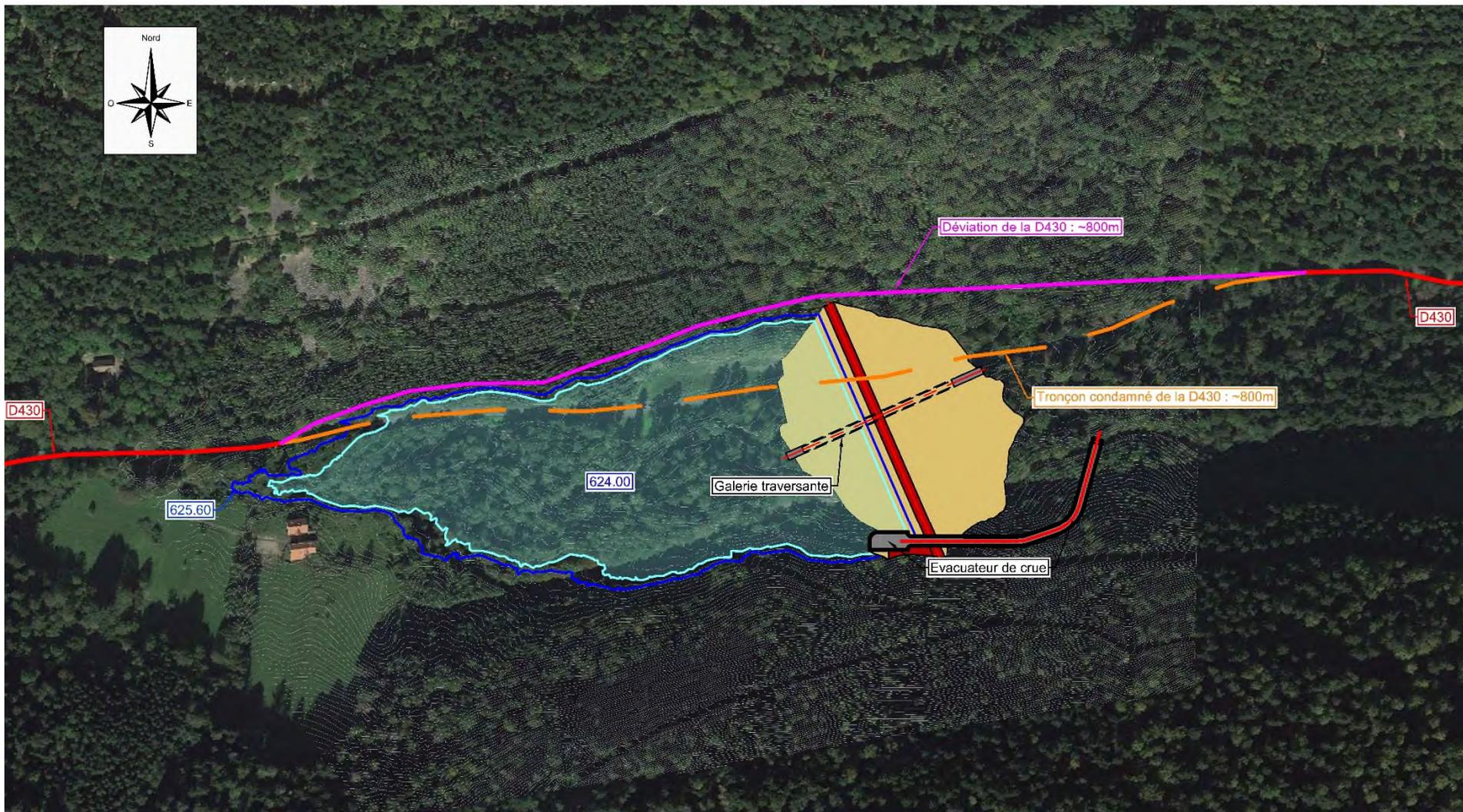


Figure 47 – Plan masse de l'aménagement complémentaire en aval du barrage de la Lauch

4.3.2. Bénéfices sur la ressource en eau

L'effet de la création de cette nouvelle retenue sur la régulation des débits de la Lauch est similaire à celui d'une réhausse du barrage de la Lauch, les volumes additionnels étant similaires.

- Le remplissage de ce réservoir est atteint sans exception chaque année de la période de simulation (Figure 48).
- Les performances de soutien d'étiage sont équivalentes à celles de la référence temps présent.

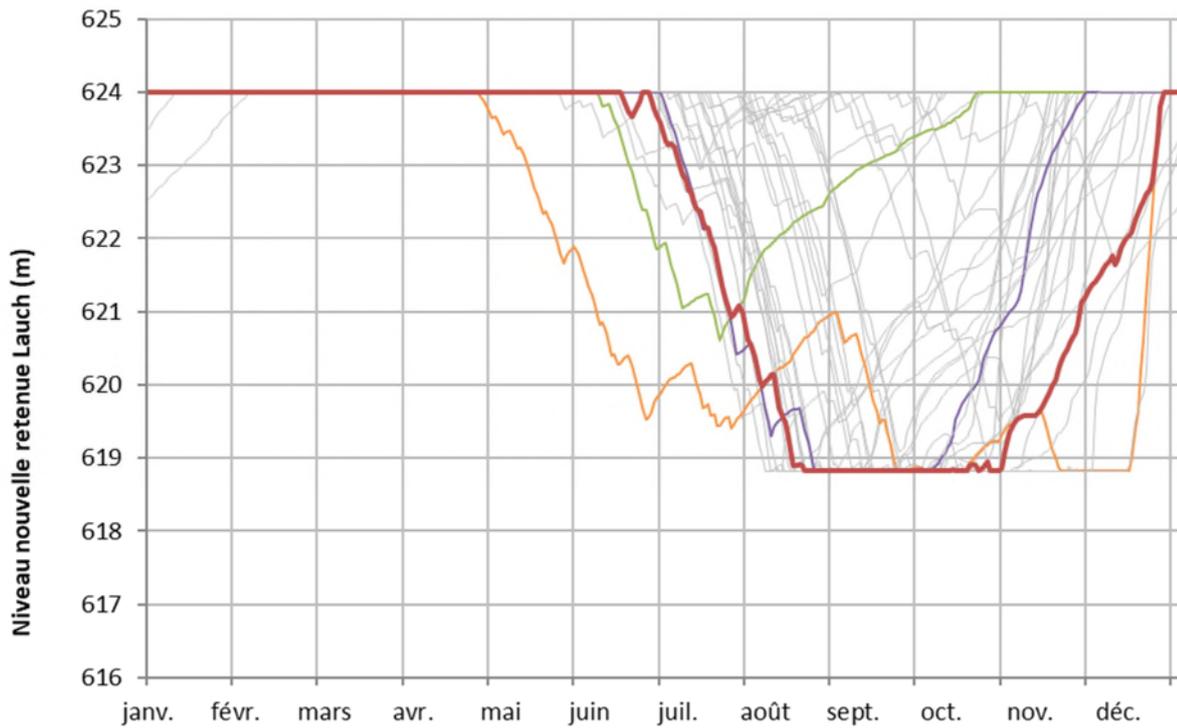


Figure 48 – Plan masse de l'aménagement complémentaire en aval du barrage de la Lauch

4.3.3. Impacts et conséquences induits par le projet

Au-delà de la mise en eau d'une partie de terres forestières de la vallée, la retenue créée viendrait noyer l'emprise actuelle de la route départementale RD430 située en rive gauche. Celle-ci serait déviée pour contourner la retenue et le barrage sur un linéaire compris entre 800 et 900m.

La zone impactée par le nouvel aménagement et la portion de route départementale déviée échappent à la Réserve Biologique Intégrale (R.B.I.) située en aval du barrage de la Lauch comme le montre la Figure 49 ci-après qui présente la carte issue de l'I.N.P.N. précisant l'étendue et les limites de la R.B.I.



Figure 49– Carte montrant la situation de la zone R.B.I. par rapport au nouvel aménagement

D'autres données d'ordre environnemental seraient toutefois à prendre en compte :

- L'extrémité amont de la retenue créée pourrait légèrement empiéter sur une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type II ;
- Le site serait intégralement situé dans le parc naturel régional des Ballons des Vosges et donc soumis aux orientations du Document d'Objectifs (DOCOB).

Des études environnementales spécifiques devraient être menées et des dispositions dédiées devraient être mises en œuvre en conséquence des divers impacts occasionnés. Ce projet doit donc également faire l'objet de dossiers réglementaire d'autorisation environnementale conduisant vers des mesures ERC importantes, à hauteur de la valeur des zones perdues ou impactées.

4.3.4. Chiffrage préliminaire

Le tableau suivant présente une estimation préliminaire des coûts de travaux pour construction d'un nouveau réservoir de volume 335 000 m³, incluant la déviation de la route départementale D430 sur le linéaire impacté.

A ce stade préliminaire, et compte-tenu du niveau d'information disponible à ce stade, une provision de 50% a été intégrée à l'estimation du coût des travaux.

L'ordre de grandeur des mesures compensatoires et environnementales est approché ici sur la base de l'acquisition des parcelles forestières comprises dans l'emprise du projet (environ 85 000 m²) à un coût par surface pris égal à 60% de la valeur urbaine. On retient une valeur d'acquisition possible comprise entre 60 et 120€/m², soit une estimation des mesures compensatoires et environnementales de l'ordre de 5 à 10 millions d'€.

Barrage (€)	9 369 000
Galerie et dispositifs de prise et de vidange de fond (€)	1 269 000
Evacuateur de crue (€)	2 590 000
Déviation et aménagements de la D430 (€)	3 840 000
Ouvrage de franchissement piscicole (€)	1 000 000
Sous-total HT (€)	18 100 000
Etudes et investigations complémentaires/ Aléa / Incertitudes / Divers	50%
Total estimé HT (€) hors mesures compensatoires et environnementales	27 100 000
Mesures compensatoires et environnementales comprenant études et travaux	De l'ordre de 5 à 10 millions d'€
Total estimé HT y compris mesures compensatoires et environnementales	32 à 37 millions d'€

En annexe est présenté un détail des coûts d'ensemble présentés ci-dessus.

5. CONCLUSION

5.1. PROJECTION LOCALISEE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La modélisation du fonctionnement hydrologique influencé du bassin versant de la Lauch permet d'évaluer les effets possibles du changement climatique sur l'équilibre besoin-ressources.

Les résultats présentés ci-dessus démontrent que, **dans le cadre des hypothèses retenues**, les ouvrages de la Lauch (après travaux et réhabilitation de la cote RN à 940 m) et du Ballon ne puissent plus continuer à assurer de manière aussi satisfaisante leur mission principale de soutien d'étiage.

Ainsi, une non-atteinte du débit objectif à Linthal (150 l/s) sera observée en moyenne 1 année sur 6 (contre 1 année sur 15 pour la référence temps présent) et la durée de non-atteinte augmentera en moyenne de l'ordre de 30% (jusqu'à 60 jours consécutifs, contre 40 jours pour la référence temps présent).

Les débits moyens de la Lauch à Linthal sur la période d'étiage seront globalement en baisse, de l'ordre de -15%.

La baisse des apports naturels en été et automne nécessitera une mobilisation plus fréquente et plus intensive des réserves mobilisables dans les retenues de la Lauch et du Ballon.

La hausse assez marquée des débits d'hiver permettra de garantir néanmoins un remplissage complet des retenues entre 2 campagnes de soutien d'étiage, y compris dans le cadre de l'introduction de la fonction de protection contre les crues (barrage de la Lauch), ce qui permettra de concilier la fonction de protection contre les crues avec celle de soutien d'étiage.

Il faut rappeler que les résultats de modélisation sont très dépendants du scénario retenu pour l'évolution attendue des apports hydrologiques naturels en temps futur. On ne peut pas exclure une évolution réelle plus défavorable des apports disponibles en temps futur, par exemple une accentuation des étiages encore plus marquée et une évolution moins favorable des débits d'hiver. Néanmoins, le cadre méthodologique retenu permet, au-delà des incertitudes inhérentes à cet exercice de prospection en temps futur, d'établir fermement l'analyse coût-bénéfice de chaque stratégie d'adaptation et in fine d'éclairer la décision publique en matière d'investissement.

5.2. DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE RESILIENCE DE LA RESSOURCE EN EAU DU SECTEUR FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Concernant les scénarios d'adaptation, les résultats de l'étude préliminaire permettent d'établir les éléments suivants.

Réhausse du barrage de la Lauch

La **réhausse de 3 m** du barrage de la Lauch, passant de la cote RN 940 à 943 m, permettrait une augmentation de 75% du volume exploitable, et permettrait de retrouver des **performances de soutien d'étiage équivalentes à celles de la référence temps présent**. L'augmentation du volume exploitable permettrait en effet une augmentation moyenne des volumes annuels de soutien d'étiage de 35% (et même 45% pour les années les plus déficitaires). Cette augmentation compensera la diminution des débits naturels d'été et d'automne en temps futur.

La réhausse de 3 m est compatible avec la coexistence sans concurrence des fonctions de protection contre les crues et de soutien d'étiage. Au-delà d'une réhausse de 3m, un risque de non remplissage de la retenue existe.

Par ailleurs, l'augmentation du volume exploitable de la Lauch permet de **conforter le rôle du lac du Ballon** comme relais de la Lauch dans sa fonction de soutien d'étiage et de **réserve ultime des ressources en eau**. Ainsi, le scénario de la réhausse du barrage de la Lauch permet de conserver les principes de gestion : priorité à la Lauch pour le soutien d'étiage et maintien d'un volume de réserve ultime au Ballon supérieur au volume exploitable (réserve ultime

620 000 m³). Ce scénario permet donc de conserver en temps futur **des marges de sécurité pour les gestionnaires** qui seront en responsabilité à l'horizon fin de siècle.

L'estimation préliminaire du coût de l'opération de réhausse y compris les mesures compensatoires et environnementales est de l'ordre de 5 à 6 millions d'€ hors taxe.

Transfert Clusbach

Pour créer un bénéfice en terme de soutien d'étiage, la stratégie fondée sur le transfert des eaux du Clusbach vers la retenue du Ballon nécessiterait de remettre en question les principes de gestion en introduisant un risque de non remplissage de la retenue du Ballon entre deux années successives.

Toutefois même sous réserve que de telles considérations puissent être envisagées dans le futur, il apparaît que la capacité maximale très incertaine de transfert des eaux du Clusbach vers le Ballon, lors des périodes favorables, serait de l'ordre de 10 à 50 l/s selon le dimensionnement retenu par le maître d'ouvrage. Toutefois ce dispositif ne supprimera pas les risques de non-atteinte des débits seuils d'alerte étiage ou de non remplissage complet de la retenue du Ballon entre deux campagnes de soutien d'étiage.

Pour une approche sans aucun risque sur la gestion de la ressource en eau dans le temps futur, ce scénario serait plutôt à envisager en association après la mise en œuvre de l'un des deux autres scénarios d'adaptation.

Par ailleurs ce scénario n'apporte pas de bénéfices en matière de protection des crues.

L'estimation préliminaire du coût de l'opération y compris les mesures compensatoires et environnementales est de l'ordre de 2 à 2,5 millions d'€ hors taxe.

Nouvelle retenue sur la Lauch

La construction d'une nouvelle retenue de volume 335 000 m³, comparable au volume additionnel stocké dans le barrage de La Lauch rehaussé de 3 mètres, permettrait de retrouver des **performances de soutien d'étiage équivalentes à celles de la référence temps présent**. Le barrage correspondant, haut de 25 mètres, est un ouvrage important présentant un indice hauteur/volume stocké faible.

L'estimation préliminaire du coût des travaux de construction d'un nouveau réservoir de volume 335 000 m³ s'établit à un coût très onéreux à hauteur de 32 à 37 millions d'€ hors taxe.

Préconisations de stratégie

Au terme de l'analyse, il apparaît que deux scénarios (réhausse modérée de 3 mètres du barrage de La Lauch et la construction d'un nouveau barrage) permettent d'atteindre l'objectif de soutien des étiages de la rivière pour un « Temps futur » équivalent à la performance actuelle dite « Temps présent », ce que ne permet pas le scénario de dérivation des eaux des torrents du Clusbach vers la retenue du lac du Ballon. A performance égale, la construction d'un nouveau réservoir a un coût significativement plus important que la réhausse du barrage.

Par ailleurs seul le scénario de réhausse du barrage de la Lauch permet aussi de cumuler des bénéfices en matière de protection contre les crues avec des possibilités plus importantes de creux préventifs de stockage des volumes d'eau.

En conclusion, parmi ces trois scénarios étudiés, le choix de la réhausse de trois mètres du barrage de la Lauch présente le meilleur résultat de l'analyse coût/bénéfices/limitation des impacts environnementaux.

Une synthèse de l'analyse coût-bénéfice est proposée dans le tableau ci-dessous.

Stratégie d'adaptation	Ressources en eau		Impacts environnementaux	Difficultés	Coûts	Niveau de priorité
	Soutien d'étéage	Protection contre les crues				
Réhausse du barrage	++	+	+	+	+	1 – solution recommandée horizon proche
Transfert Clusbach	()	()	+	-	+	2 – à réévaluer en 2050 en complément de la réhausse (horizon lointain)
Nouvelle retenue	++	+	--	--	--	3 – Bilan à faire à horizon fin de siècle (horizon très lointain)

Il est donc proposé à la maîtrise d'ouvrage de retenir pour la phase suivante de la conduite de l'opération (études d'avant-projet ou AVP) l'analyse technique de deux variantes de cote de réhabilitation du barrage de la Lauch : 940 et 943 m NGF (en retenue normale pleine ou RN).



ANNEXE A

STRATEGIE D'ADAPTATION 1 :

DETAIL DES QUANTITES ESTIMEES

	Unit é	Quantité totale	Coût HT unitaire (€)	Coût HT total (€)
REHAUSSE DU BARRAGE				
Déposes, démolitions en crête, évacuations et traitement	Ft	-	-	30000
Béton conventionnel/coffré/ferraillé	m3	2800	550	1540000
Béton de masse/propreté	m3	174	250	43500
Béton compacté au rouleau (dont enrichi)	m3	8246	80	659680
Injection des fondations	u	21	400	8400
Passerelle sur évacuateur	Ft	-	-	30000
Aménagements de crête	Ft	-	-	50000
MUR DE FERMETURE DE LA RETENUE				
Béton conventionnel/coffré/ferraillé	m3	550	550	302500
Béton de masse/propreté	m3	387	250	96750
Injection des fondations	u	42,5	400	17000
DEMOLITION DE 3 BATIMENTS DESAFFECTES (DESAMIANTAGE EVENTUEL)				
Démolition, évacuation et mise en dépôt	Ft	-	-	121000
DISPOSITIFS D'ACCES A LA CRETE REHAUSSE				
Béton conventionnel/coffré/ferraillé	m3	165	550	90750
Remblais traités et placés (accès et plateforme)	m3	2415	50	120750
SOUS-TOTAL				3 110 000
Etudes et investigations complémentaires/ Aléa / Incertitudes / Divers				30%
TOTAL HT (€) HORS MESURES COMPENSATOIRES ET ENVIRONNEMENTALES				4 050 000
MESURES COMPENSATOIRES ENVIRONNEMENTALES				
Etudes et travaux	Ft	-	-	1 à 2 millions d'€
TOTAL HT Y COMPRIS MESURES COMPENSATOIRES ET ENVIRONNEMENTALES				5 à 6 millions d'€



ANNEXE B

STRATEGIE D'ADAPTATION 3 : DETAIL DES QUANTITES ESTIMEES

	Unit é	Quantité totale	Coût HT unitaire (€)	Coût HT total (€)
BARRAGE				
Déboisement et préparation des terrains	m2	25000	10	250000
Décapage, terrassements et excavations	m3	25000	15	375000
Remblais traités	m3	242298	20	4845952
Argile	m3	36645	40	1465792
Filtres et transitions	m3	14729	50	736470
Cheminée et banquettes de drainage	m3	18923	40	756936
Rip-rap	m3	6378	30	191334
Terre végétale	m3	8522	40	340880
Geotextile	m2	15540	5	77700
Paroi moulée	m2	990	180	178200
Injection pour étanchéité du rocher	u	219	550	120450
Aménagements de crête	Ft	-	-	30000
GALERIE, DISPOSITIF DE PRISE ET DE VIDANGE DE FOND				
Béton conventionnel/coffré/ferraillé	m3	2228	550	1225620
Béton de masse/propreté	m3	174	250	43500
EVACUATEUR DE CRUE				
Débroussaillage et préparation des terrains	m2	1800	2,5	4500
Décapage, terrassements et excavations	m3	6848	15	102720
Béton conventionnel/coffré/ferraillé	m3	4200	550	2310000
Béton de masse/propreté	m3	687	250	171750
OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE				
	Ft			1000000
DEVIATION ET AMENAGEMENTS DE LA ROUTE DEPARTEMENTALE D430				
Terrassements, pose et aménagement de chaussée	ml	800	4800	3840000
SOUS-TOTAL				18 070 000
Etudes et investigations complémentaires/ Aléa / Incertitudes / Divers				50%
TOTAL HT (€) HORS MESURES COMPENSATOIRES ET ENVIRONNEMENTALES				27 100 000
MESURES COMPENSATOIRES ENVIRONNEMENTALES				
Etudes et travaux				5 à 10 millions d'€
TOTAL HT Y COMPRIS MESURES COMPENSATOIRES ET ENVIRONNEMENTALES				32 à 37 millions d'€