

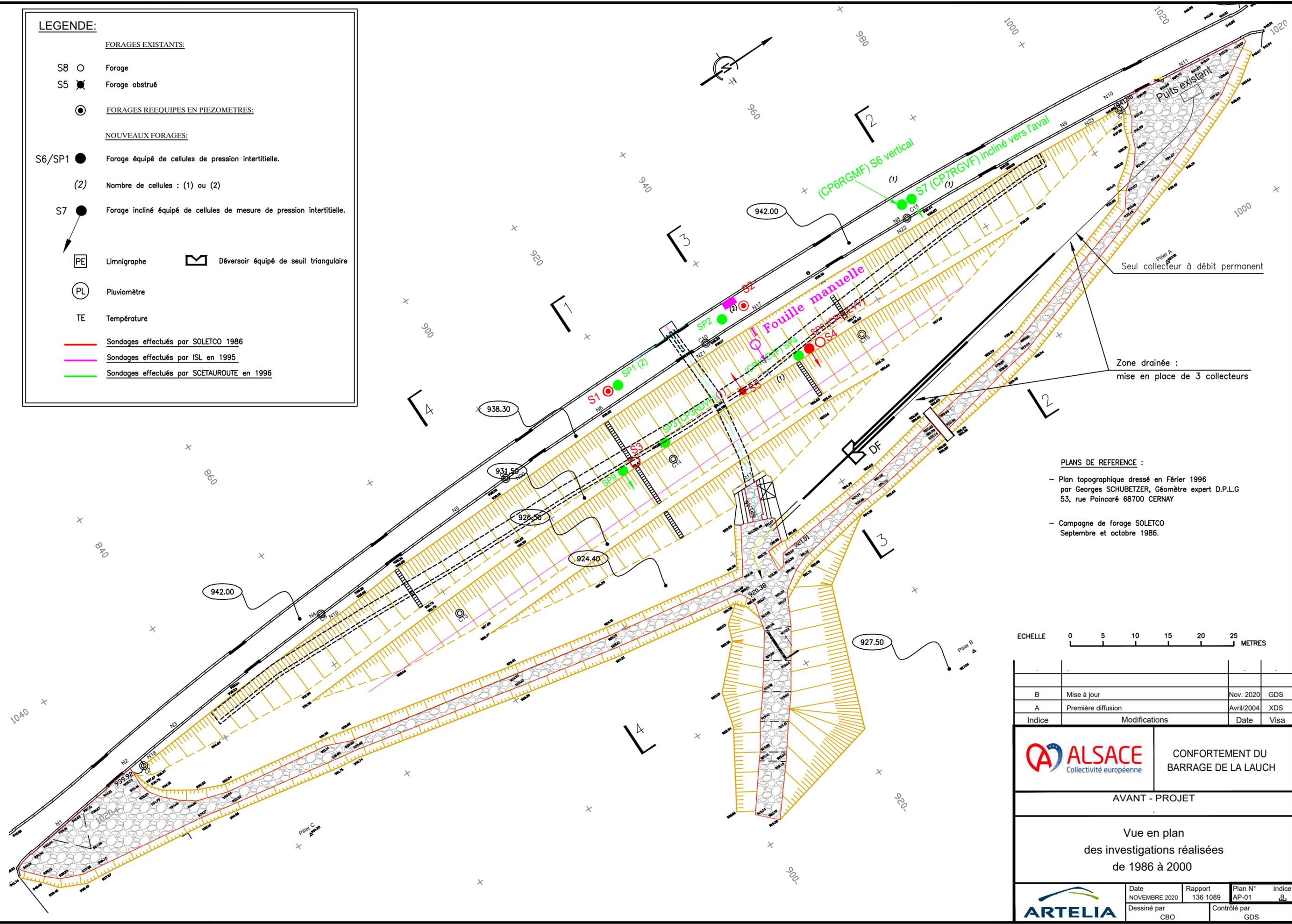


# ANNEXE A

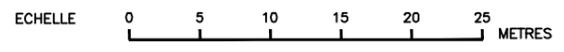
## PLANS DE L'OUVRAGE EXISTANT

**LEGENDE:**

- FORAGES EXISTANTS:**
- S8 ○ Forage
  - S5 ⦿ Forage obstrué
- FORAGES REEQUIPES EN PIEZOMETRES:**
- (with circle) Forage équipé de cellules de pression interstitielle.
- NOUVEAUX FORAGES:**
- S6/SP1 ● Forage équipé de cellules de pression interstitielle.
  - (2) Nombre de cellules : (1) ou (2)
  - S7 ● Forage incliné équipé de cellules de mesure de pression interstitielle.
- PE** Limnigraphe      **DF** Déversoir équipé de seuil triangulaire
- PL** Pluviomètre
- TE** Température
- Sondages effectués par SOLETCO 1986
- Sondages effectués par ISL en 1995
- Sondages effectués par SCETAURROUTE en 1996



- PLANS DE REFERENCE :**
- Plan topographique dressé en Février 1996 par Georges SCHUBETZER, Géomètre expert D.P.L.G 53, rue Poincaré 68700 CERNAY
  - Campagne de forage SOLETCO Septembre et octobre 1986.



B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

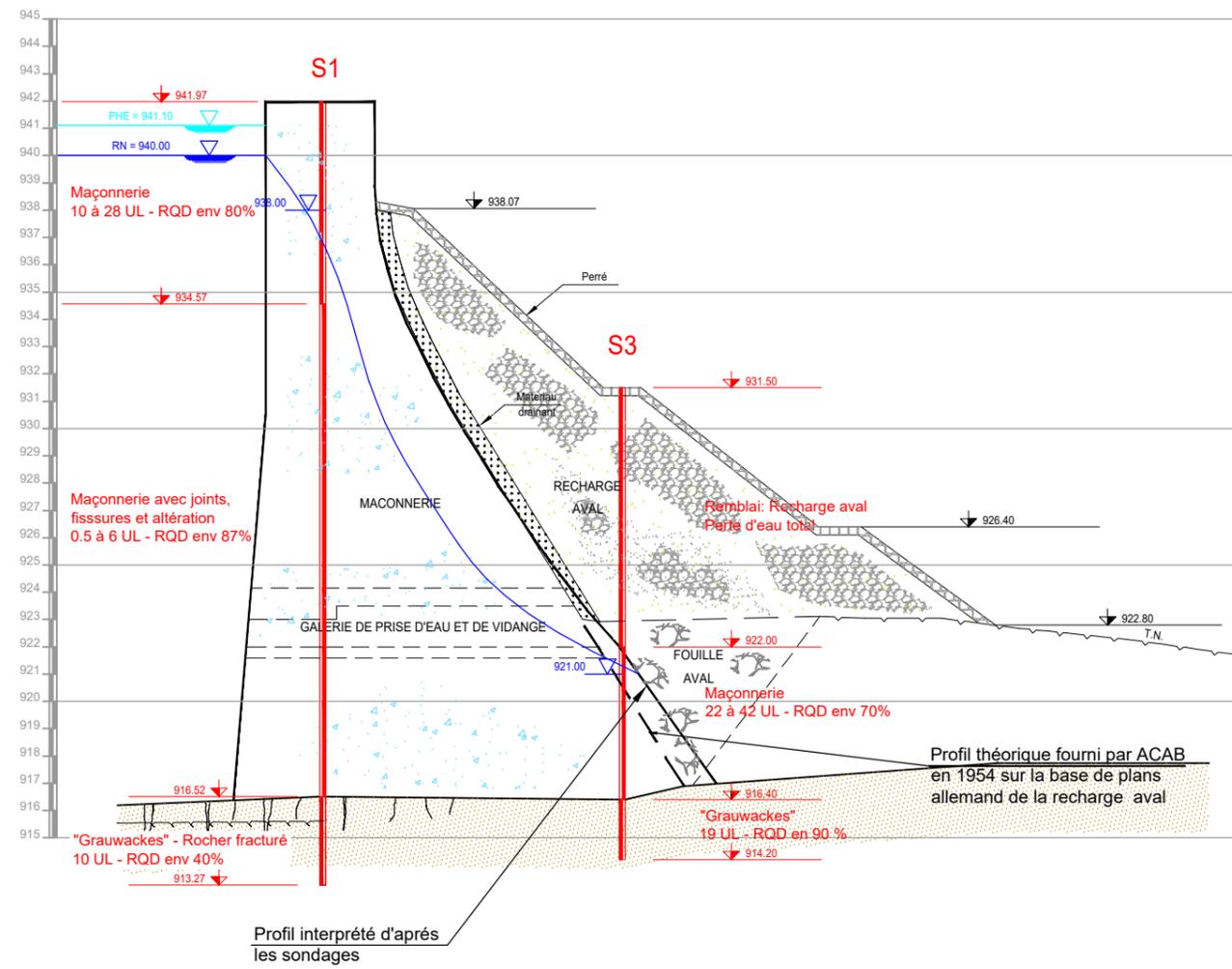
Vue en plan des investigations réalisées de 1986 à 2000



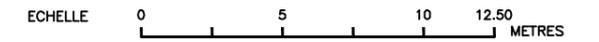
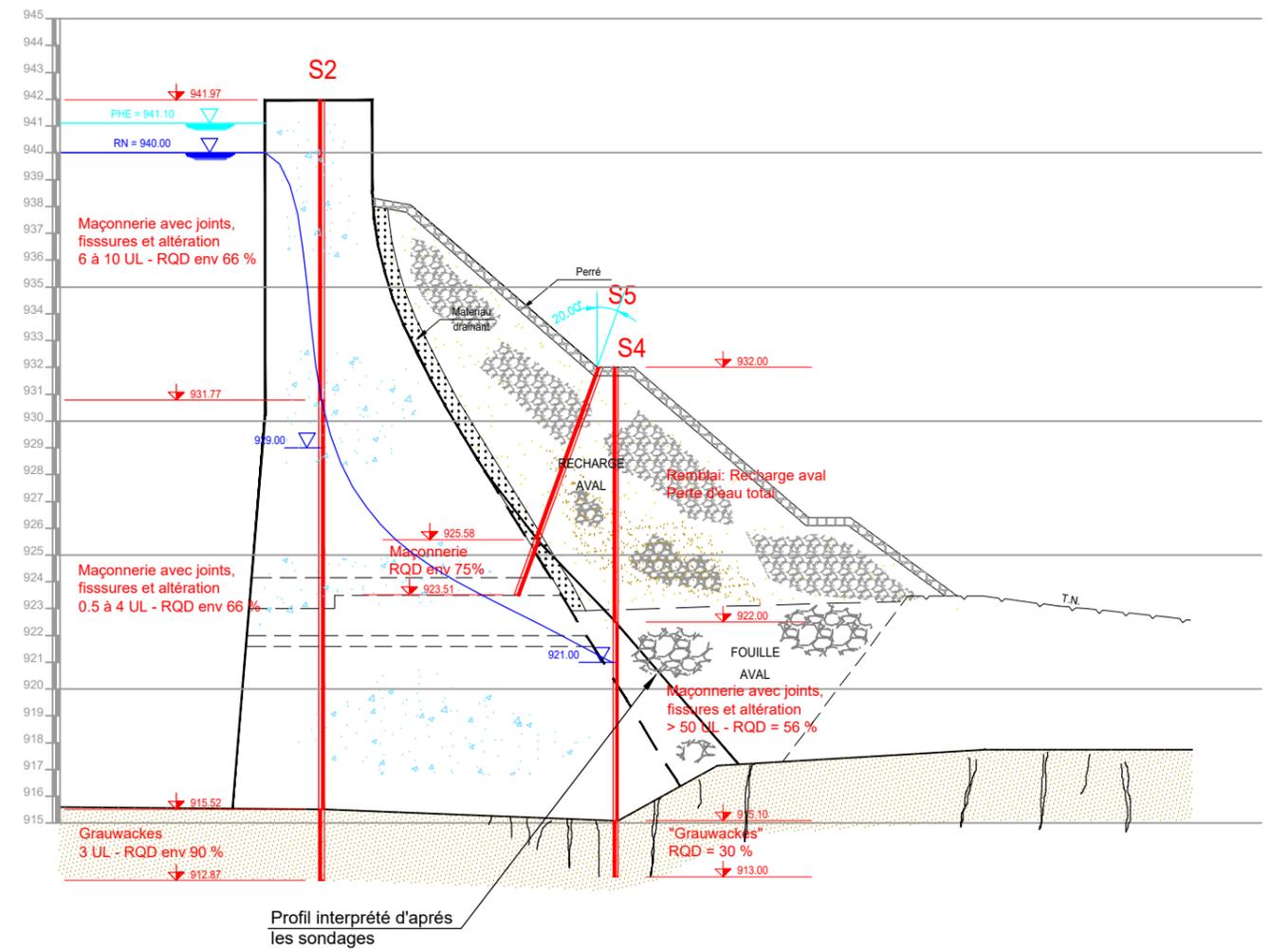
Date	Rapport	Plan N°	Indice
NOVEMBRE 2020	136 1089	AP-01	B
Dessiné par	Contrôlé par		
CBO	GDS		

DOSSIER N° : 136 1089  
NOM DU FICHIER : AR01\_A\_AR06\_Rev\_C.dwg

COUPE 1-1



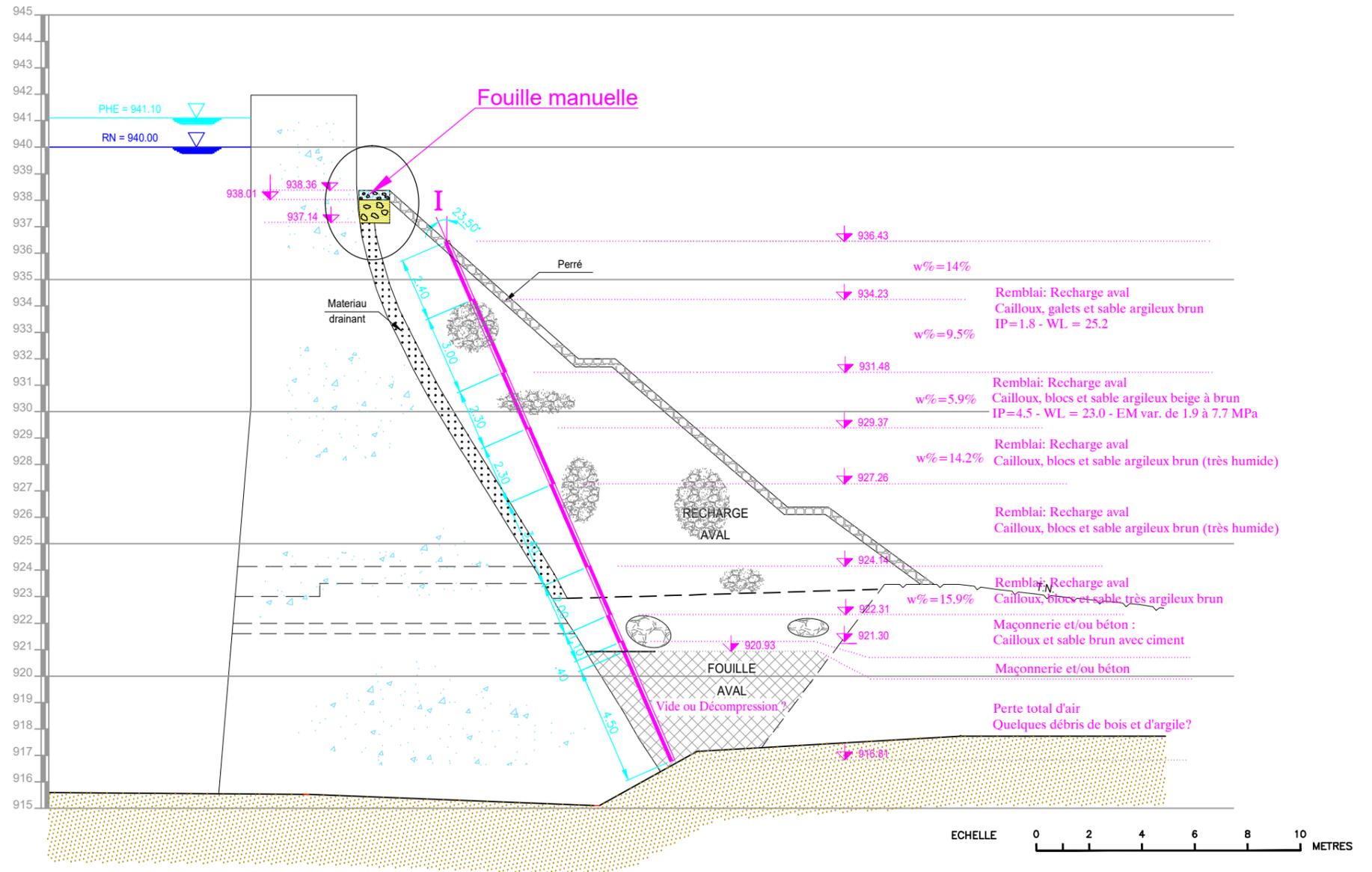
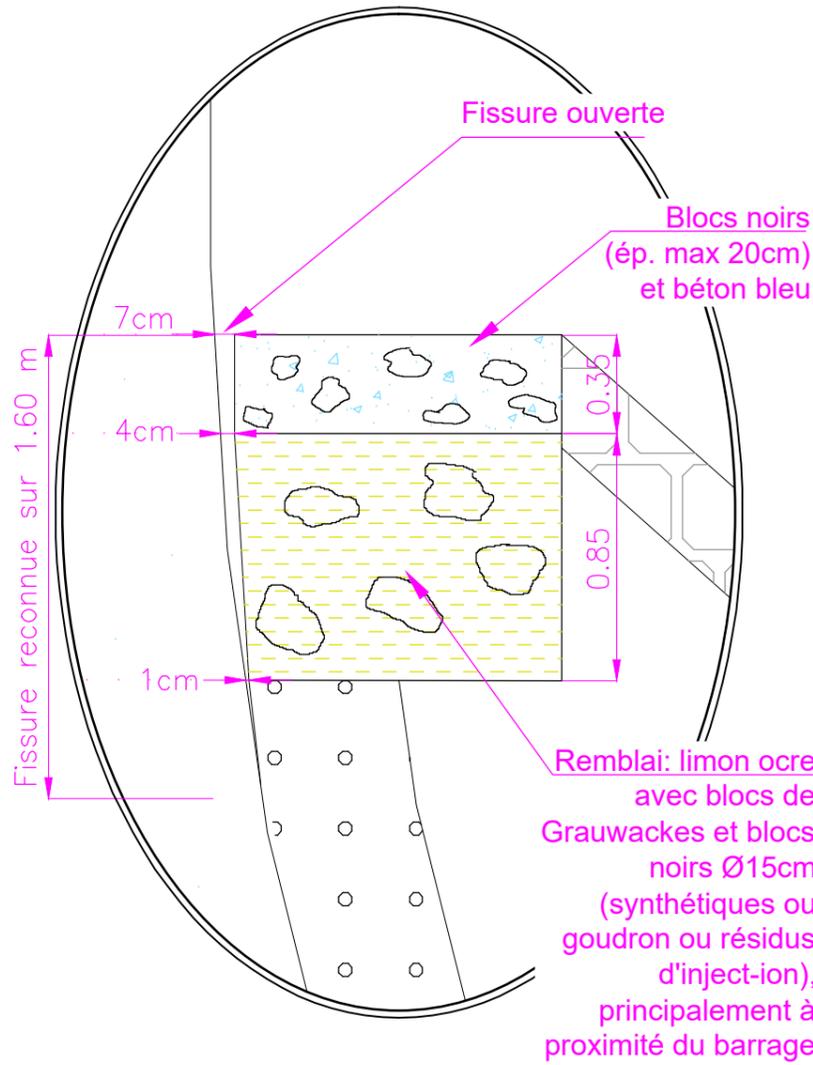
COUPE 3-3



Légende

-  Maçonnerie x UL : x Unité Lugeon à 10 bars
-  Grauwacke (Grés) RQD : Rock Quality Designation
-  Remblai avec blocs
- RN : Retenue Normale
- PHE : Plus Hautes Eaux
- Sx : Sondage x

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa
 <b>ALSACE</b> Collectivité européenne		CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH	
AVANT - PROJET			
Profils 1-1 et 3-3 Campagne de 1986 réalisée par SOLETCO			
 <b>ARTELIA</b>		Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089
Dessiné par CBO		Plan N° AR 02	
Contrôlé par GDS		Indice B	

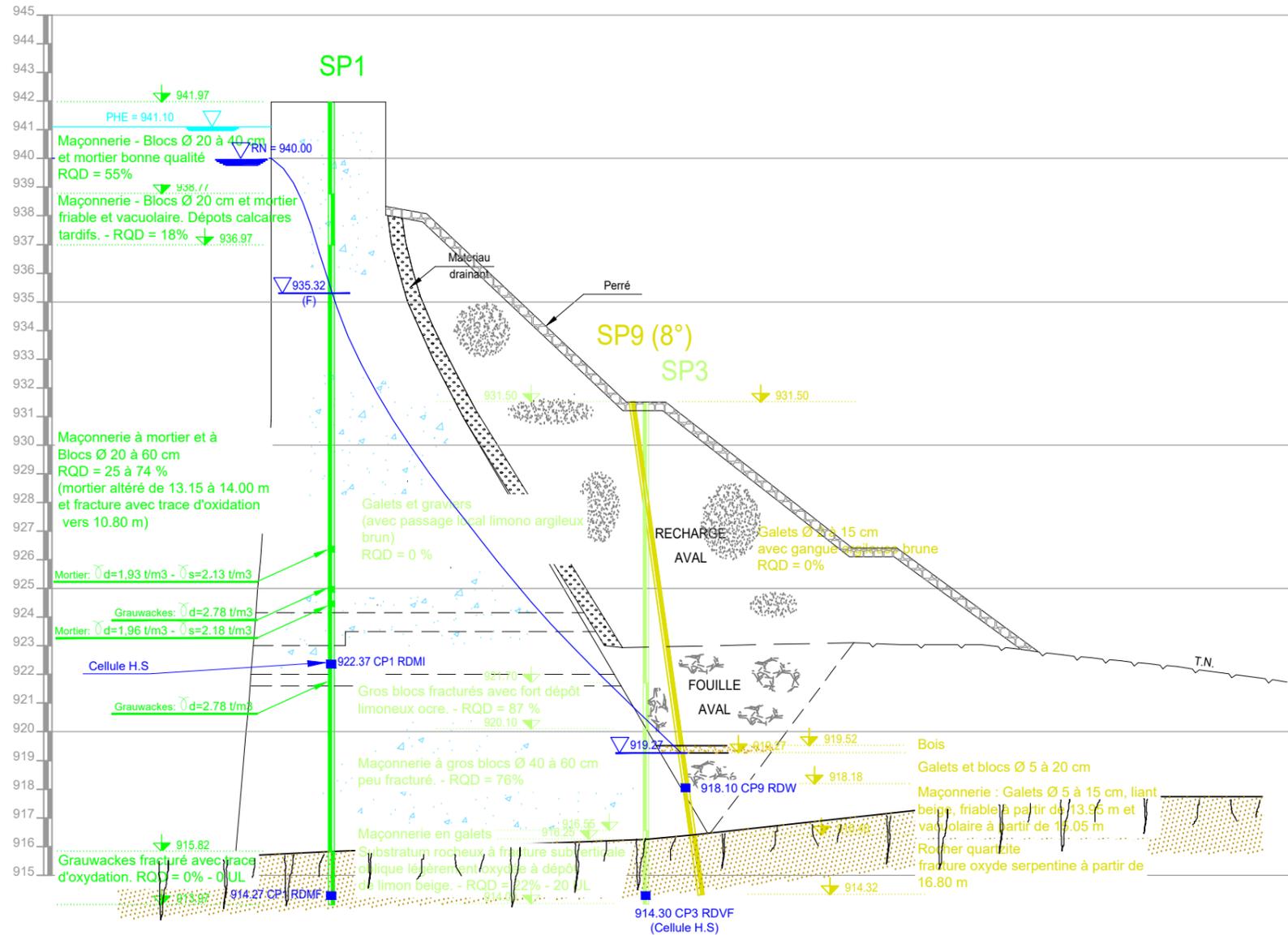


**Légende**

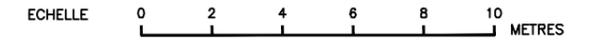
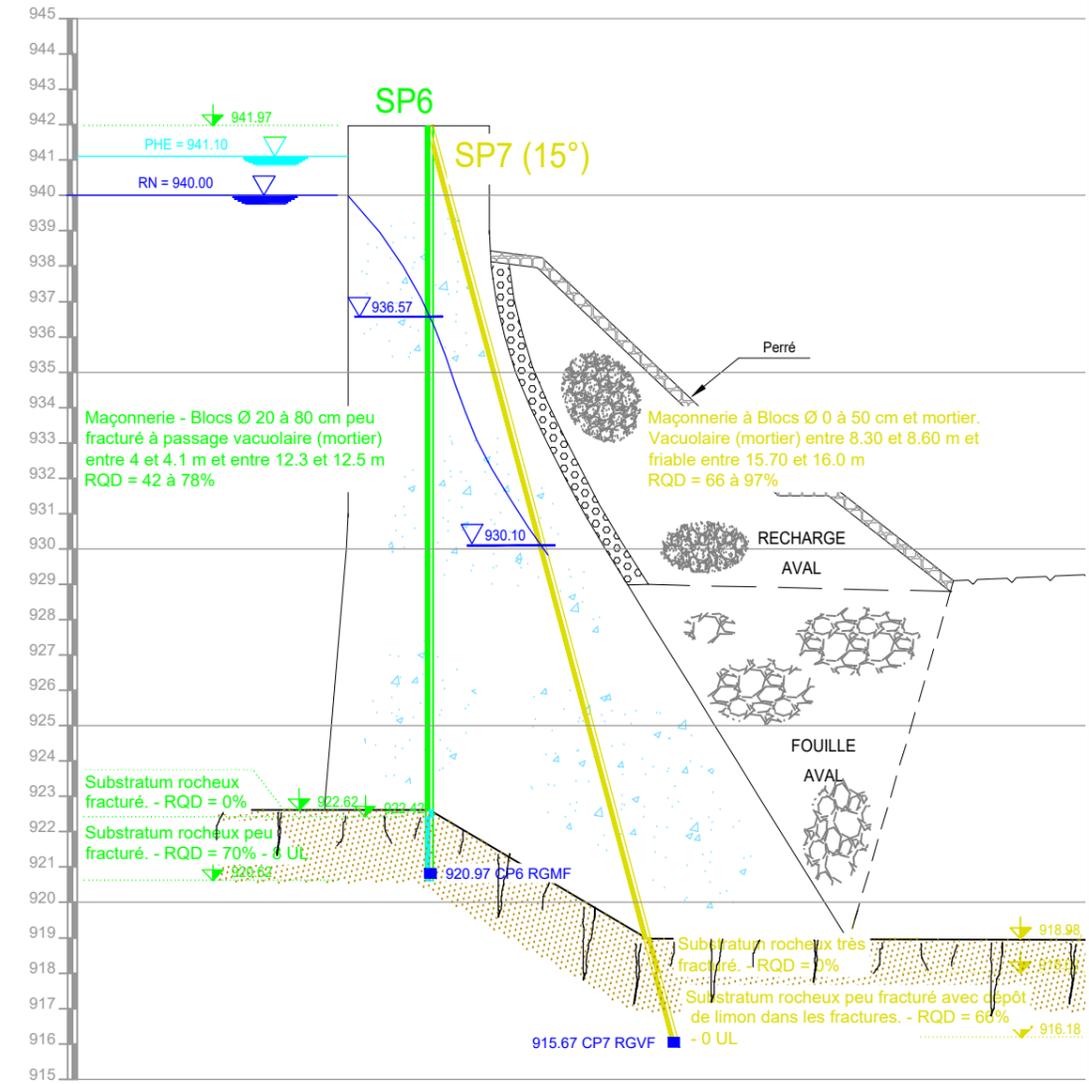
- Maçonnerie
- Grauwacke (Grés)
- RN : Retenue Normale
- PHE : Plus Hautes Eaux
- EM : Module pressiométrique
- W% : Teneur en eau (%)
- IP : Indice de Plasticité
- WL : Limite de liquidité

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa
<b>ALSACE</b> Collectivité européenne		CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH	
AVANT - PROJET			
PROFILS 3-3 CAMPAGNE DE 1995 REALISEE PAR ISL			
<b>ARTELIA</b>		Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089
Dessiné par CBO		Plan N° AR 03	
Contrôlé par GDS		Indice B	

PROFIL 1-1



PROFIL 2-2



Légende

- |  |                  |                                 |                                   |
|--|------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|  | Maçonnerie       | RN : Retenue Normale            | RQD : Rock Quality Designation    |
|  | Graulacke (Grés) | PHE : Plus Hautes Eaux          | γd : Poids volumique déjaugé      |
|  |                  | SPx : Sondage Pressiométrique x | γs : Poids volumique sec (grains) |
|  |                  | CP : Cellule de Pression        | SPx : Sondage Pressiométrique x   |

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa

**ALSACE**  
Collectivité européenne

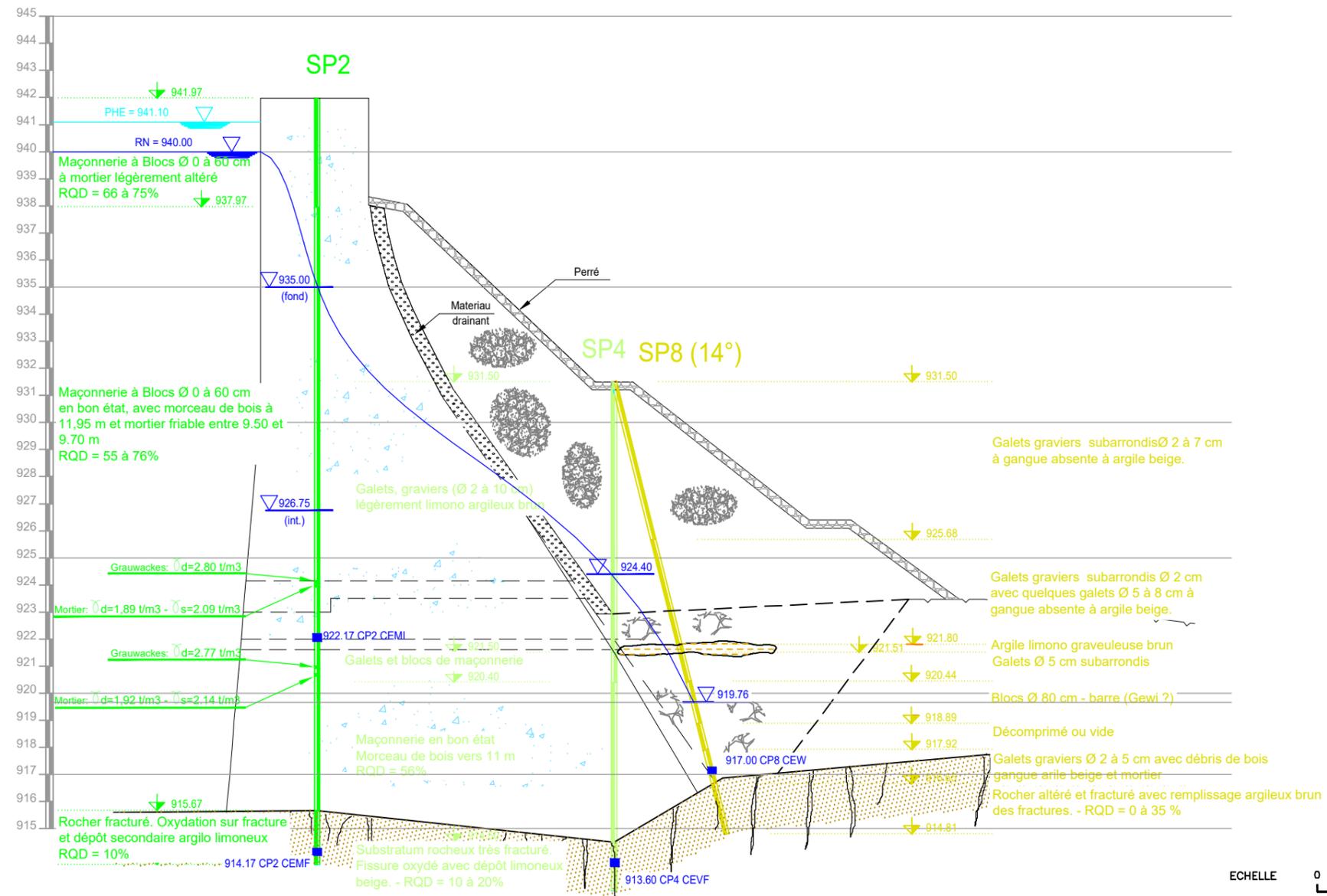
CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

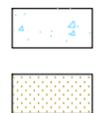
Profils 1-1 et 2-2  
CAMPAGNE DE 1996 REALISEE  
PAR SCETAURROUTE

	Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089	Plan N° AR 04	Indice B
	Dessiné par CBO	Contrôlé par GDS		

# COUPE 3-3



## Légende



Maçonnerie

Grauwacke (Grés)

RN : Retenue Normale

PHE : Plus Hautes Eaux

SPx : Sondage Pressiométrique x

CP : Cellule de Pression

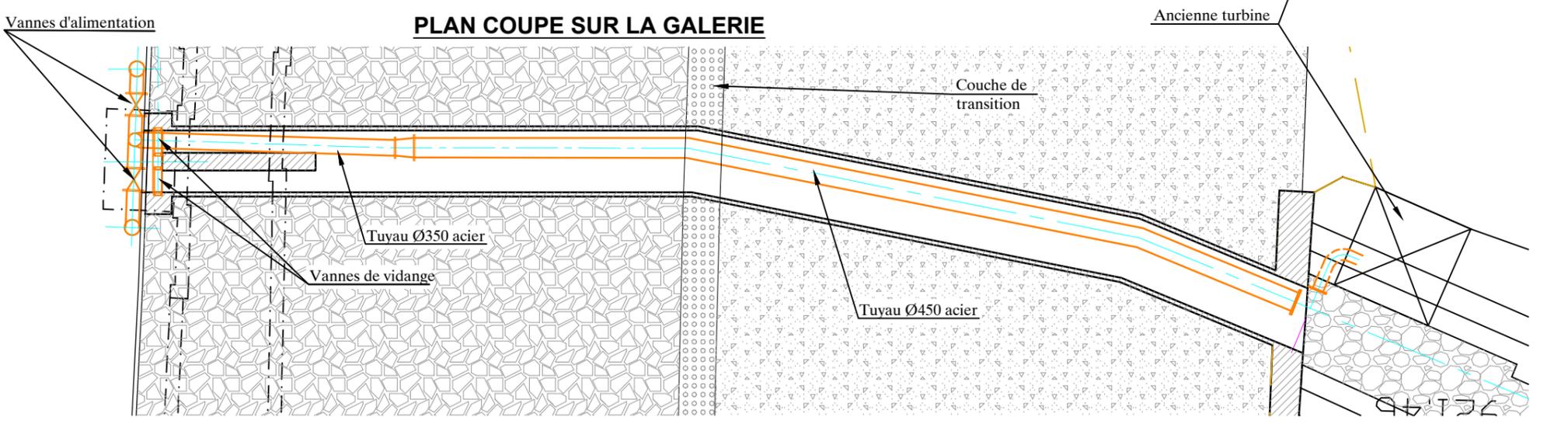
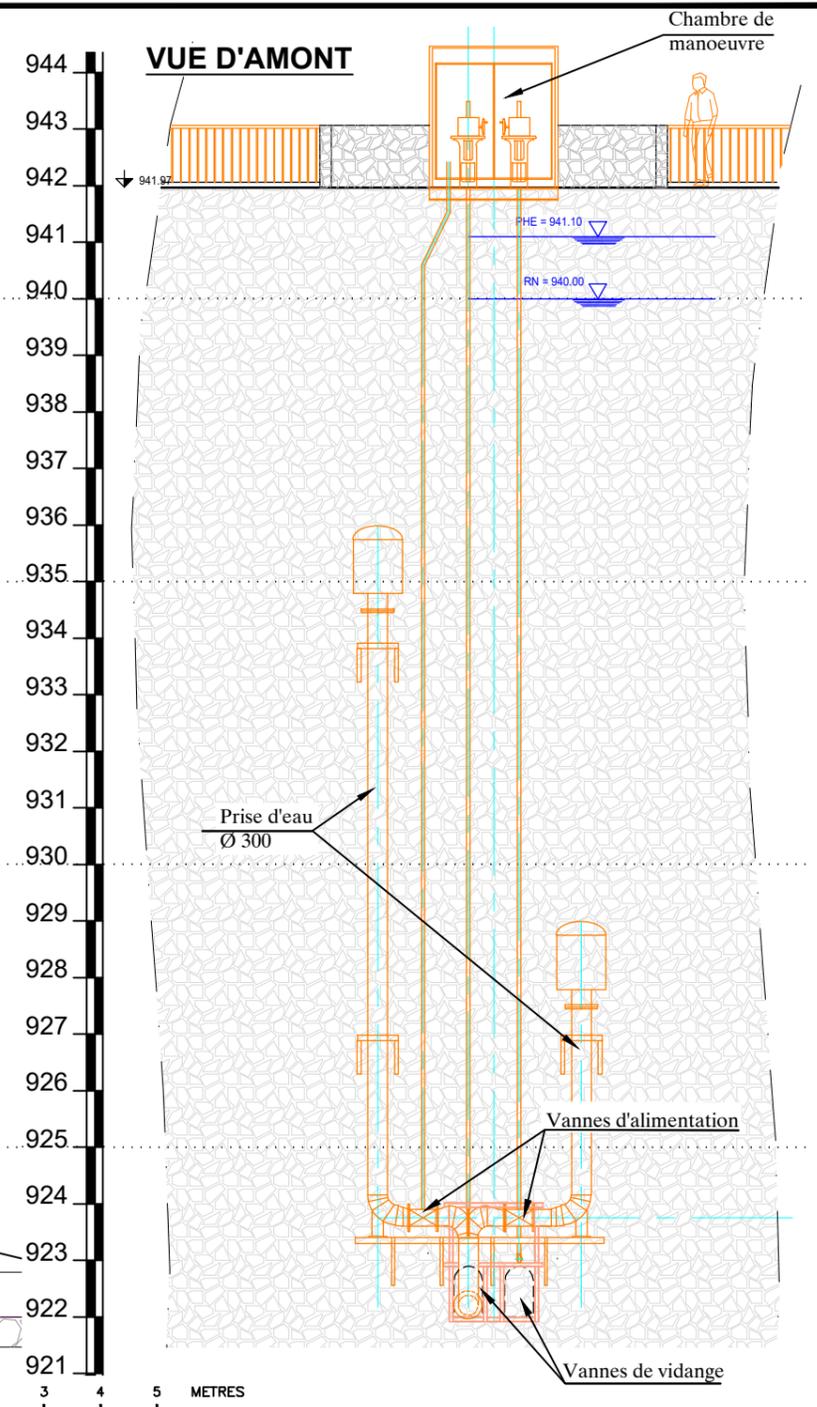
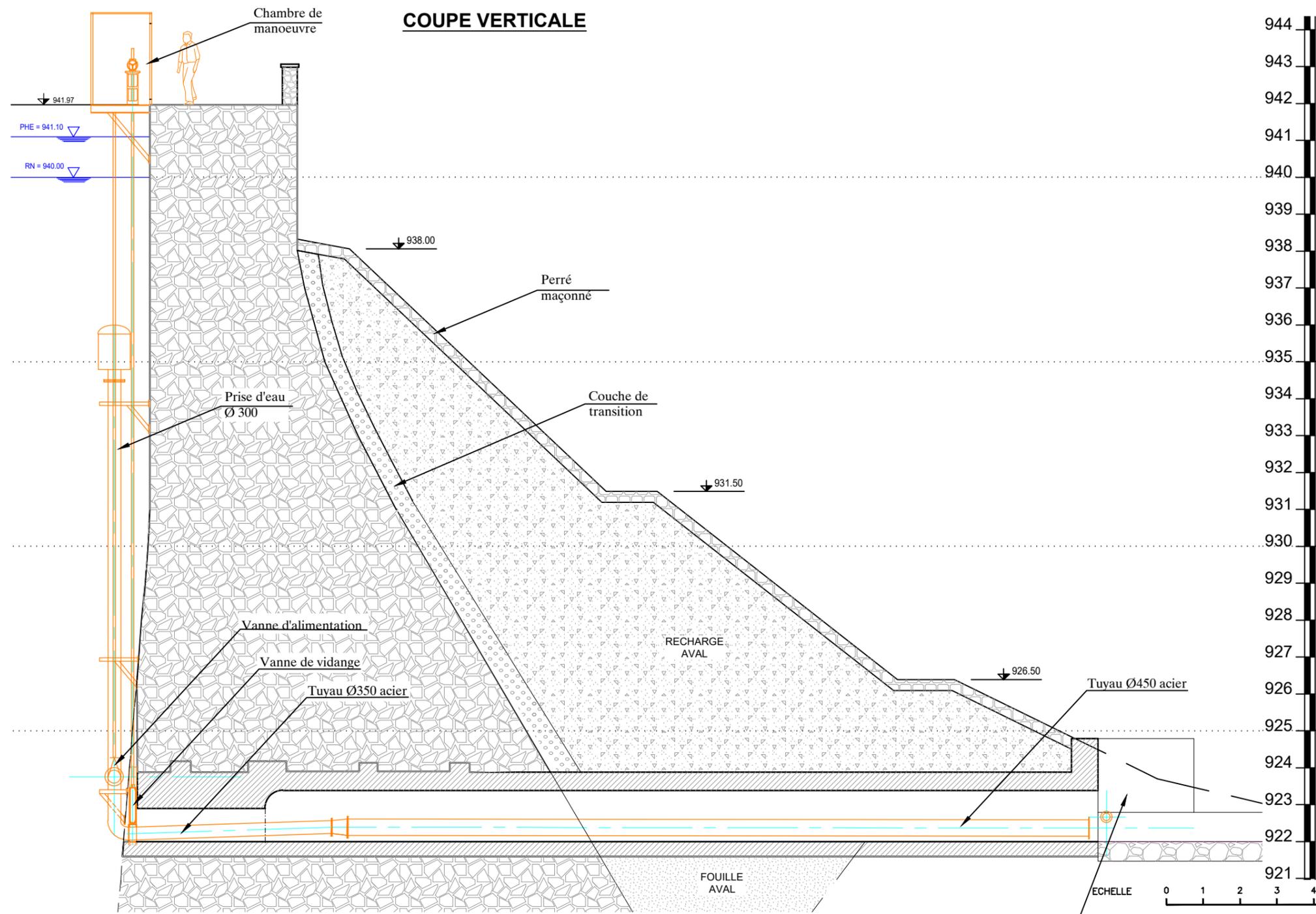
RQD : Rock Quality Designation

$\gamma_d$  : Poids volumique déjaugé

$\gamma_s$  : Poids volumique sec (grains)

SPx : Sondage Pressiométrique x

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa
 <b>ALSACE</b> Collectivité européenne		CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH	
AVANT - PROJET			
Profils 3-3 CAMPAGNE DE 1996 REALISEE PAR SCETAURROUTE			
 <b>ARTELIA</b>		Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089
Dessiné par CBO		Contrôlé par GDS	
Plan N° AR 05		Indice B	



C			
B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa
		<b>CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH</b>	
<b>AVANT - PROJET</b>			
<b>PROFILS 3-3</b> <b>CAMPAGNE DE 1995 REALISEE</b> <b>PAR ISL</b>			
		Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089
Dessiné par CBO		Plan N° AR 06	Indice B <sub>1</sub>
		Contrôlé par GDS	

DOSSIER N° : 136 1089  
 NOM DU FICHIER : AR01\_A\_AR06\_Rev\_C.dwg



B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



CONFORTEMENT DU  
BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

DOSSIER PHOTOS  
BARRAGE  
Crête - Parement aval - Retenue



Date	Rapport	Plan N°	Indice
NOVEMBRE 2020	136 1089	AP-07	B
Dessiné par	Contrôlé par		
CBO	GDS		



DOSSIER N° : 136 1089  
NOM DU FICHIER : AR 07-09\_Rev\_C.dwg

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



CONFORTEMENT DU  
BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

DOSSIER PHOTOS  
EVACUATEUR DE CRUES  
Coursier aval - Surverse rive gauche



Date	Rapport	Plan N°	Indice
NOVEMBRE 2020	136 1089	AP-08	B
Dessiné par		Contrôlé par	
CBO		GDS	



DOSSIER N° : 136 1089  
NOM DU FICHIER : AR 07-09\_Rev\_C.dwg

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



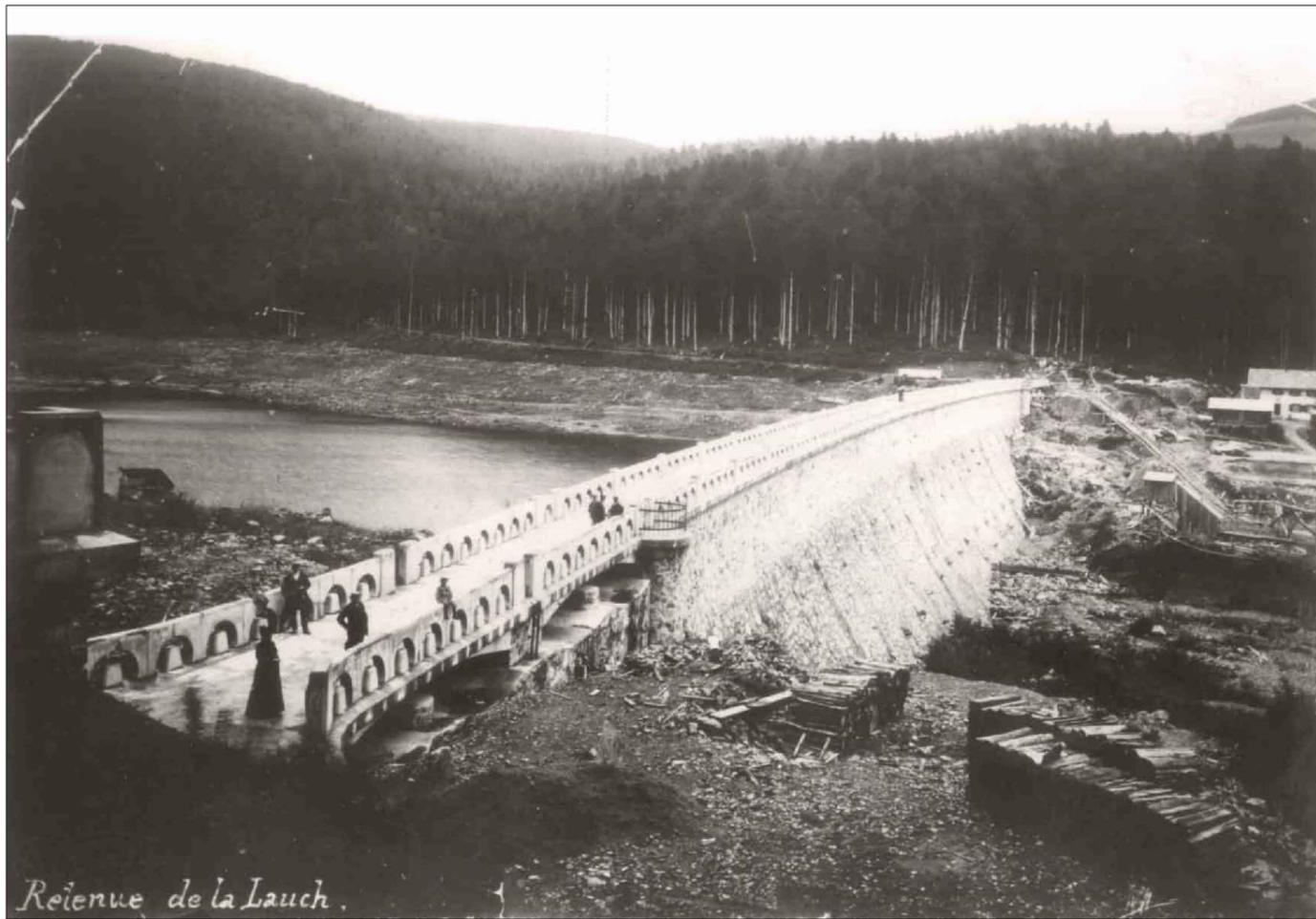
CONFORTEMENT DU  
BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

DOSSIER PHOTOS  
Chambre de manoeuvre - Vidange de fond -  
Instrumentation



Date	Rapport	Plan N°	Indice
NOVEMBRE 2020	136 1089	AP-07	B <sub>1</sub>
Dessiné par		Contrôlé par	
CBO		GDS	



*Retenue de la Lauch.*



DOSSIER N° : 136 1089  
NOM DU FICHIER : AR\_10\_Rev\_C.dwg

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril/2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



**CONFORTEMENT DU  
BARRAGE DE LA LAUCH**

AVANT - PROJET

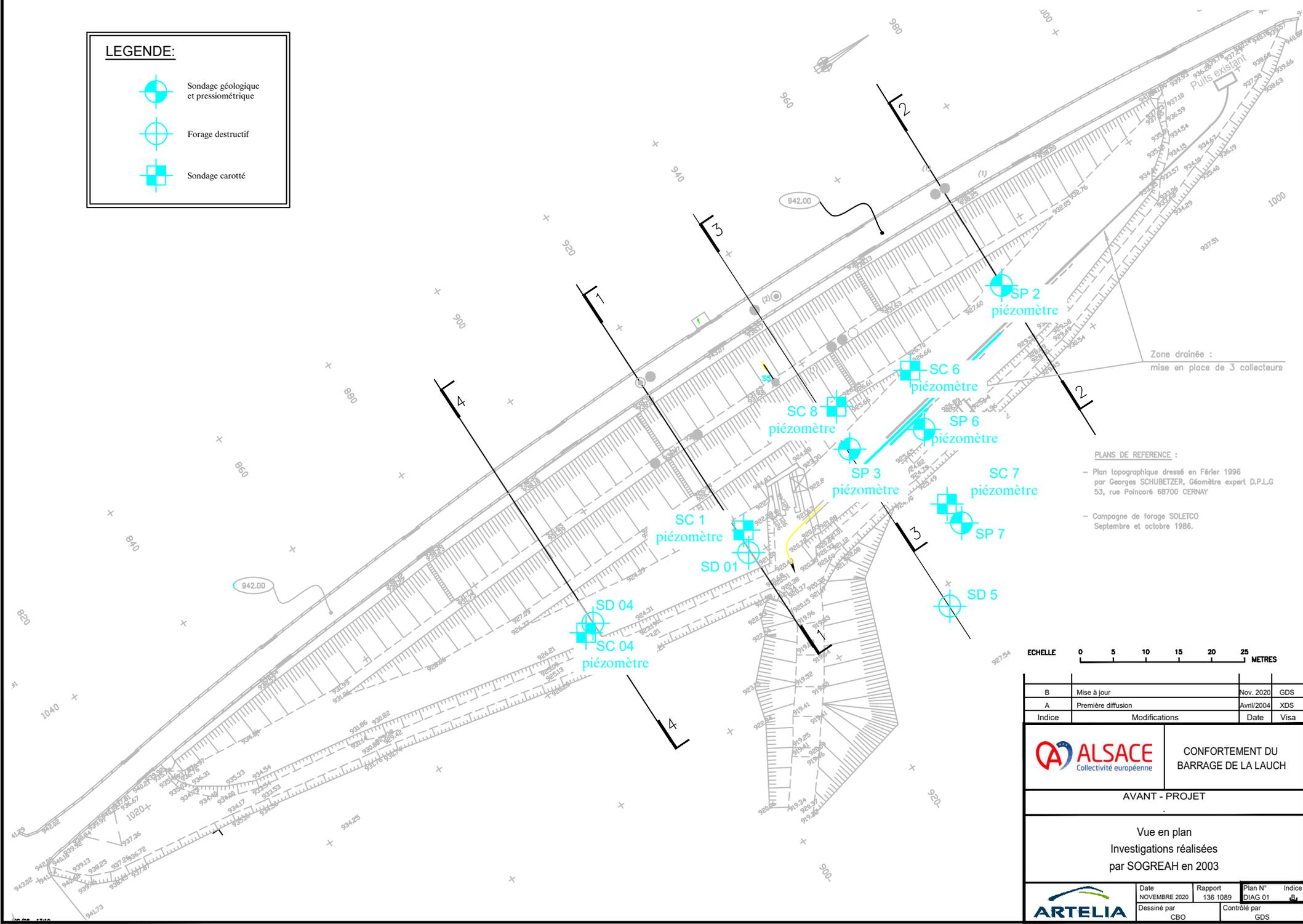
DOSSIER PHOTOS  
CONSTRUCTION DU BARRAGE  
1894



Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089	Plan N° AR 10	Indice B
Dessiné par CBO		Contrôlé par GDS	

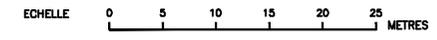
**LEGENDE:**

-  Sondage géologique et pressiométrique
-  Forage destructif
-  Sondage carotté



Zone drainée :  
mise en place de 3 collecteurs

PLANS DE REFERENCE :  
- Plan topographique dressé en Février 1996 par Georges SCHUBETZER, Géomètre expert D.P.L.G 53, rue Poincaré 68700 CERWAY  
- Campagne de forage SOLETCO Septembre et octobre 1986.



B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril 2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



CONFORTEMENT DU  
BARRAGE DE LA LAUCH

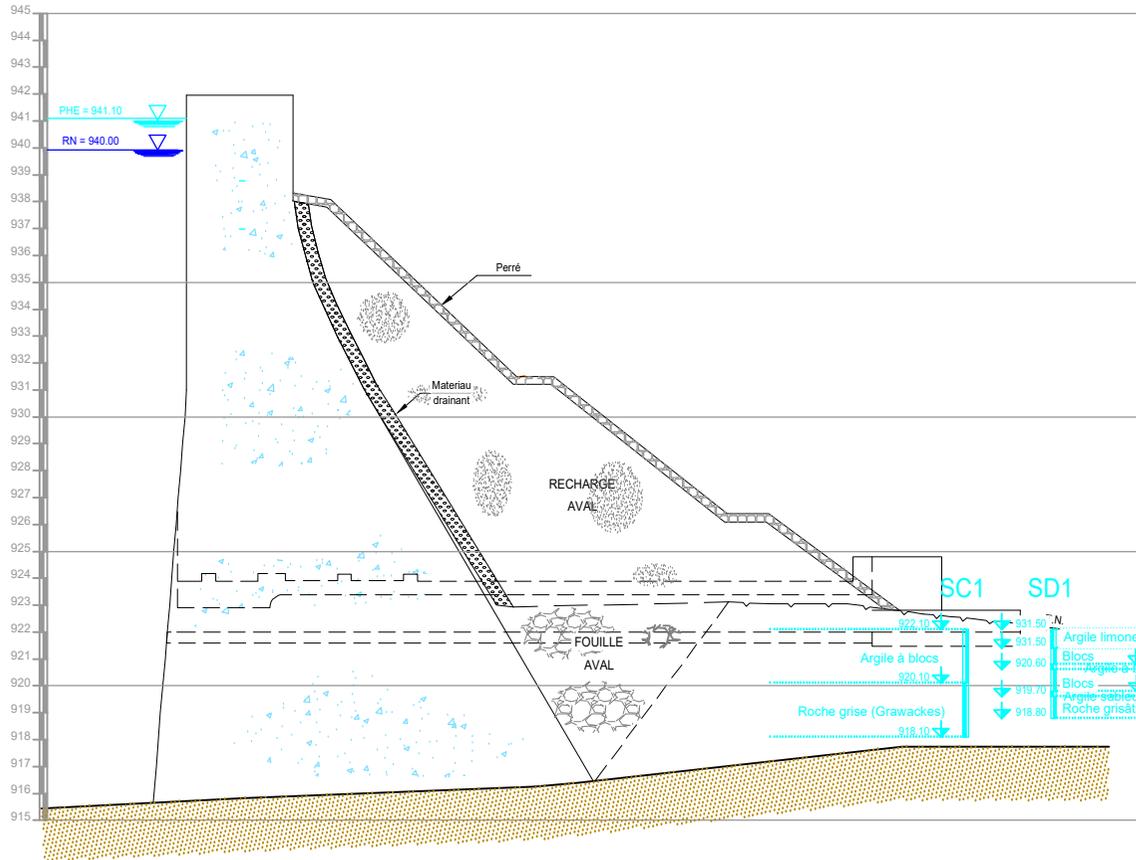
AVANT - PROJET

Vue en plan  
Investigations réalisées  
par SOGREAH en 2003

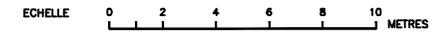
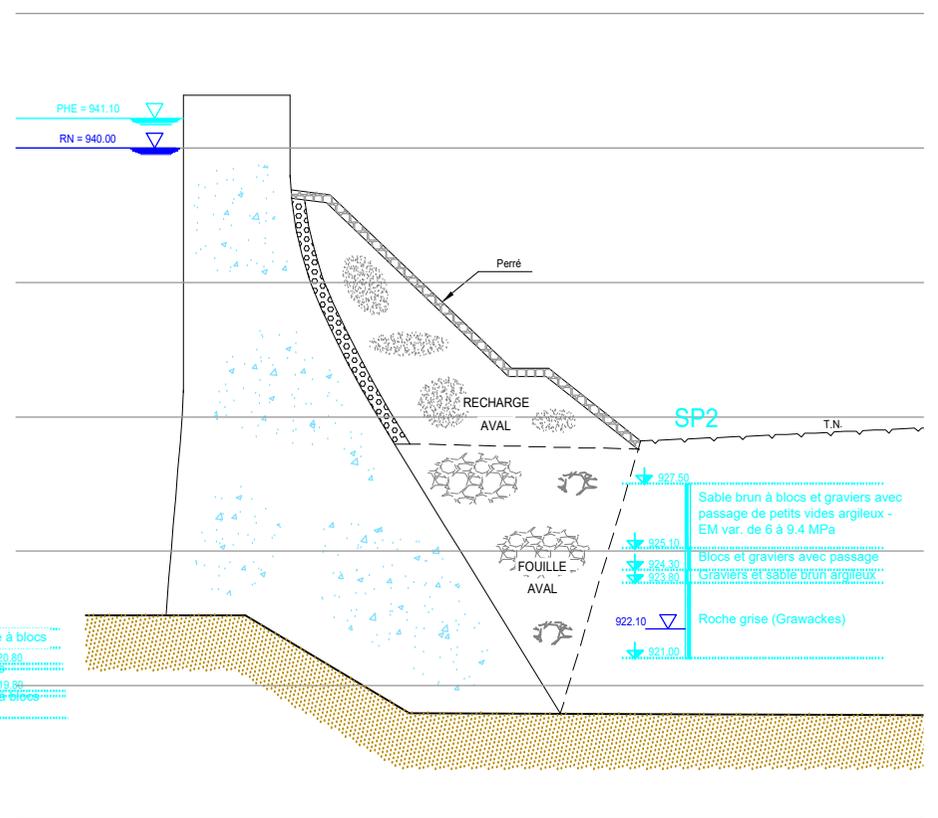


Date NOVEMBRE 2020	Rapport 136 1089	Plan N° DIAG 01	Indice 6
Dessiné par CBO		Contrôlé par GDS	

COUPE 1-1



COUPE 2-2



Légende



Maçonnerie

RN : Retenue Normale

RQD : Rock Quality Designation



Grawacke (Grés)

PHE : Plus Hautes Eaux

$\gamma_d$  : Poids volumique déjaugé

SPx : Sondage Pressiométrique x

$\gamma_s$  : Poids volumique sec (grains)

CP : Cellule de Pression

SPx : Sondage Pressiométrique x

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril 2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH

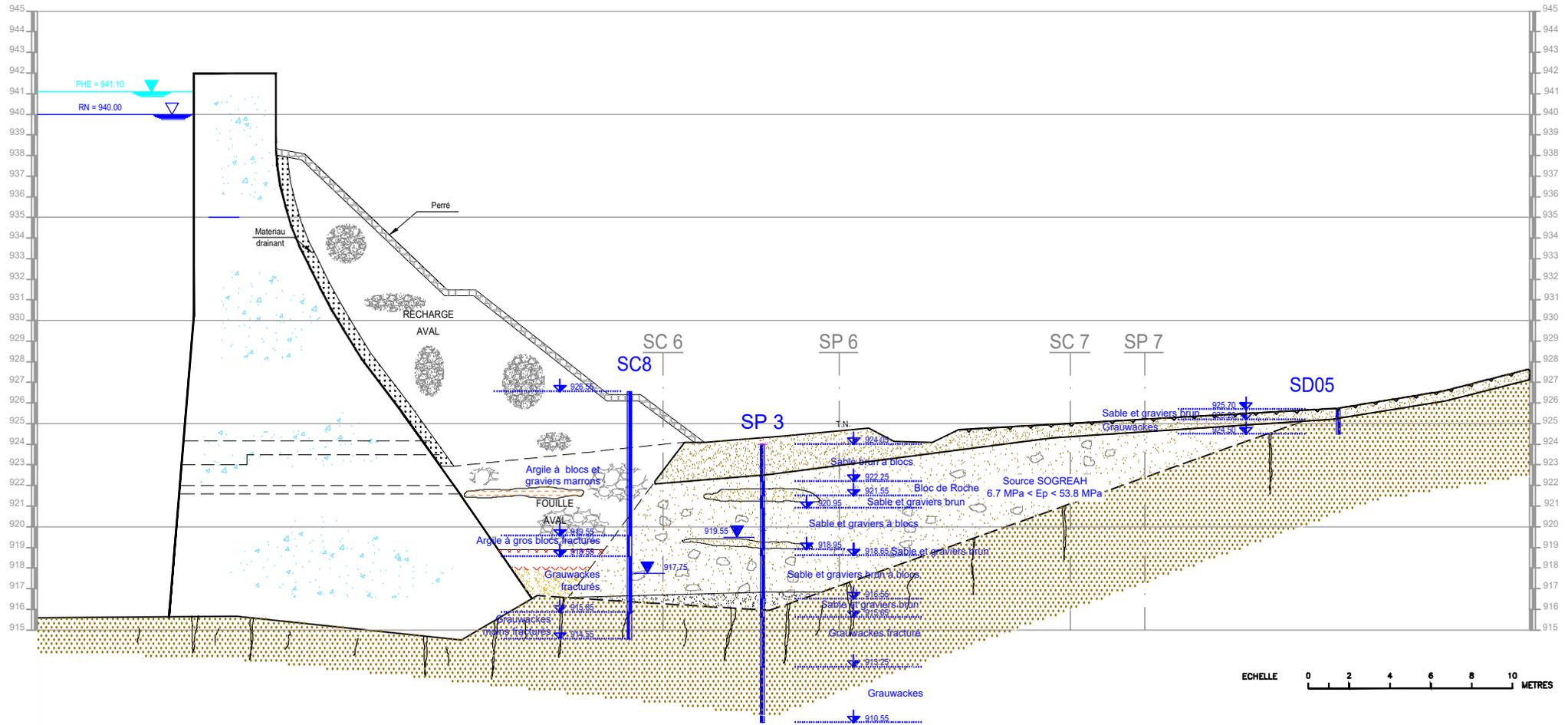
AVANT - PROJET

Profils 1-1 et 2-2  
Investigations réalisées  
par SOGREAH en 2003



Date	Rapport	Plan N°	Indice
NOVEMBRE 2020	136 1089	DIAG 02	6
Dessiné par	Contrôlé par		
CBO	GDS		

# PROFIL 3-3



## Légende

- |  |                              |                                 |   |
|--|------------------------------|---------------------------------|---|
|  | Maçonnerie                   | RN : Retenue Normale            | RQD : Rock Quality Designation            |
|  | Grauwacke (Grés)             | PHE : Plus Hautes Eaux          | $\gamma_d$ : Poids volumique déjaugé      |
|  | Sable (et graviers)          | SPx : Sondage Pressiométrique x | $\gamma_s$ : Poids volumique sec (grains) |
|  | Sable et graviers à/et blocs | SDx : Sondage Destructif x      | EM : Module pressiométrique               |

ECHELLE 0 2 4 6 8 10 METRES

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril 2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



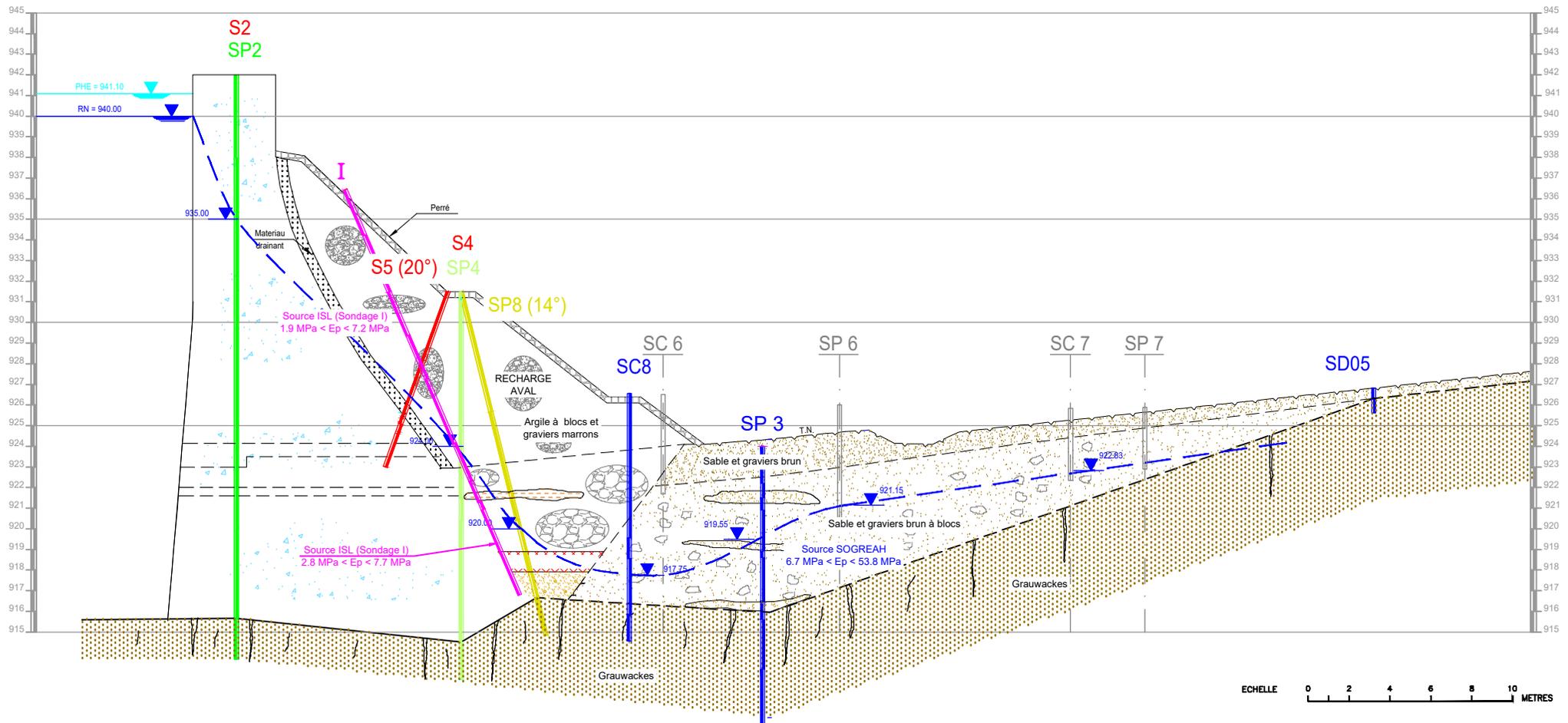
CONFORTEMENT DU  
BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

Profil 3-3  
Investigations réalisées  
par SOGREAH en 2003

	Date	Rapport	Plan N°	Indice
	NOVEMBRE 2020	136 1089	DIAG 03	6
Dessiné par	Contrôlé par			
CBO	GDS			

PROFIL 3-3



ECHELLE 0 2 4 6 8 10 METRES

Légende

- |  |                              |                                 |                                   |
|--|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|  | Maçonnerie                   | RN : Retenue Normale            | RQD : Rock Quality Designation    |
|  | Grauwacke (Grés)             | PHE : Plus Hautes Eaux          | γd : Poids volumique déjaugé      |
|  | Sable (et graviers)          | SPx : Sondage Pressiométrique x | γs : Poids volumique sec (grains) |
|  | Sable et graviers à/et blocs | SDx : Sondage Destructif x      | EM : Module pressiométrique       |

B	Mise à jour	Nov. 2020	GDS
A	Première diffusion	Avril 2004	XDS
Indice	Modifications	Date	Visa



CONFORTEMENT DU BARRAGE DE LA LAUCH

AVANT - PROJET

Profil 3-3  
Synthèse géotechnique des investigations  
réalisées entre 1986 et 2003



Date	Rapport	Plan N°	Indice
NOVEMBRE 2020	136 1089	EP 01	6
Dessiné par	Contrôlé par		
CBO	GDS		



# ANNEXE B

## ANALYSE CRITIQUE DES DEBITS DE CRUE



# Barrage de La Lauch

Mission de Maîtrise d'œuvre du confortement du barrage

## NOTE TECHNIQUE – ANALYSE CRITIQUE DEBITS DE CRUE

05/08/2022



# SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>2. REVUE DE L'ÉTUDE ISL (1995) .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVUE DE L'ÉTUDE DE 2009 .....</b>	<b>5</b>
<b>4. ANALYSES COMPLÉMENTAIRES ET CONCLUSIONS.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Analyse des pluies maximales .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2. Analyse des débits maximaux.....</b>	<b>9</b>
<b>4.3. Bilan et recommandations .....</b>	<b>11</b>

# 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'Avant-Projet Sommaire est prévue une revue des études de crue au barrage de la Lauch dont les contours sont tracés comme suit (extrait du mémoire technique) :

La dernière révision des études de crue au barrage de la Lauch est l'étude intitulée *Note complémentaire sur l'hydrologie – Estimation de la crue décennale*, préparée en 2009 dans le cadre du dossier de révision spéciale par le Service Aménagement des Rivières de la Direction de l'Environnement et du Cadre de Vie du Conseil Général du Haut-Rhin (CG68).

Cette étude établit, sur la base de la méthode SHYPRE développée par le Cemagref (aujourd'hui INRAE) une estimation du débit de pointe de la crue décennale (Q10 000) égal à 80 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur est depuis reportée dans les documents officiels du barrage, en particulier l'arrêté préfectoral du 14 février 2017 portant autorisation et règlement d'eau du barrage de la Lauch. Cette estimation s'écarte significativement des précédentes estimations (ISL) obtenues par la méthode du Gradex de l'ordre de 57 m<sup>3</sup>/s.

L'étude de 2009 établit aussi une estimation des débits de pointes pour les crues de période de retour 100 ans et 1 000 ans, respectivement de l'ordre de 20 à 25 m<sup>3</sup>/s et de 40 à 50 m<sup>3</sup>/s. On peut souligner que ces estimations sont très supérieures aux résultats de la méthode SHYREG-débits, extension de la méthode SHYPRE, respectivement 9 m<sup>3</sup>/s et 15 m<sup>3</sup>/s (<https://shyreg.inrae.fr/>). Le débit décennal de référence est actuellement issu de l'étude de 2009.

Compte-tenu de ce qui précède et afin de confirmer les données d'entrée du projet, nous intégrons dans nos prestations une **revue critique des études antérieures de crues à l'issue de laquelle il pourra être établie la nécessité ou non de procéder à une actualisation des études de crues.**

La revue critique porte sur :

- l'étude ISL de 1995 intitulée étude hydrologique – capacité d'évacuation des crues (rèf R1119 RP01 RV01) établi pour le compte de la DDAF du Haut-Rhin dans le cadre des études préalables à la réhabilitation des sept barrages domaniaux du Haut-Rhin (20 pages hors annexes) ;
- l'étude antérieure de 2009 (étude CG68) (8 pages dont 6 pages de contenus).

## 2. REVUE DE L'ETUDE ISL (1995)

L'étude de 1995 est présentée dans un rapport documenté (24 pages hors annexes) organisé comme présenté ci-dessous. Il faut préciser que le barrage de la Lauch est traité comme l'un des 7 barrages faisant l'objet de l'étude de prédétermination des débits de crues. Le rapport est organisé par sujets hydrologiques et non par barrages.

- Introduction ;
- Analyse des données pluviométriques et hydrométriques ;
- Estimation de la contribution nivale aux débits de crue ;
- Description des méthodes utilisées (Gradex et hydrogramme unitaire) ;
- Calculs et résultats de la prédétermination des crues ;
- Calculs de laminage, débit maximum évacué et réhausse du niveau d'eau au passage de la crue.

Le rapport ne propose pas véritablement d'analyse des épisodes de crue historiques, même si l'analyse des données pluviométriques et hydrométriques disponibles a permis de justifier la différenciation de 2 saisons hydrologiquement différentes (hiver et été), le choix des coefficients de pointe (méthode du Gradex) ou encore le choix de certains paramètres du modèle de l'hydrogramme unitaire. La carte des isohyètes (cumul de pluie) pour l'épisode remarquable de février 1990 (10 au 16/02) est donnée en annexe.

Les données utilisées par l'étude de 1995 sont comme suit :

- Les données hydrométriques à la station de Lerchenmatt-aval sur la Doller (8,9 km<sup>2</sup>), période 1962-1990 ;
- Les données hydrométriques à la station de Wildenstein sur la Thur (7,65 km<sup>2</sup>), période 1980-1995 ;
- Les données pluviométriques à 6 postes pluviométriques couvrant la zone d'étude (i.e les 7 barrages domaniaux), dont en particulier le poste dit « barrage de la Lauch », situé à 940 m d'altitude (altitude du barrage) sur la période 1976-1992 et le poste de Grand Langenberg à 915 m (1973-1992).

L'analyse des données pluviométriques repose sur une approche saisonnière avec la distinction de la saison d'été, des mois de mai à septembre inclus, et de la saison d'hiver, des mois d'octobre à avril inclus.

L'analyse des pluies journalières maximales (ajustement loi de Gumbel) permet d'établir pour chaque poste pluviométrique les gradex et les quantiles de pluies maximales pour les saisons d'hiver et d'été. Les pluies hivernales de 24h sont trouvées maximales pour le poste de Grand Langenberg (P10 000 = 357 mm) et barrage de la Lauch (298 mm). Ces postes présentent également, en ordre inversé, les grades d'hiver les plus élevés, respectivement 27,9 mm/24h pour le barrage de la Lauch et 26,2 mm/24h pour Grand Langenberg. Les auteurs retiennent assez naturellement le poste du barrage de la Lauch comme poste de référence pour la prédétermination des crues du bassin versant du barrage de la Lauch.

L'analyse des débits maximaux aux stations de Lerchenmatt (Doller) et Wildenstein (Thur) permet aux auteurs de conclure à :

- la bonne homogénéité des débits maximaux entre les 2 stations hydrométriques avec un débit de pointe décennal spécifique de l'ordre de 2 020-2 070 l/s/km<sup>2</sup> ;
- la relative modération des coefficients de pointe (rapport entre débit maximum instantané et débit moyen journalier) et le choix de retenir un coefficient de pointe (Cp) égal à 1,8 pour tous les bassins versants étudiés, y compris donc le bassin versant du barrage de la Lauch.

Il faut observer ici que le choix du Cp à 1,8 est justifié par les coefficients de pointe obtenus à Lerchenmatt (1,55) et Wildenstein (1,77). Or, ces valeurs sont les valeurs moyennes des épisodes de crue. Cela correspond à la pratique de la méthode du Gradex. Pour certains épisodes remarquables de crue, le coefficient de pointe est supérieur, avec par exemple un maximum pour l'épisode d'octobre 1986 de 2,26 à Lerchenmatt et 3,19 à Wildenstein.

L'estimation de la contribution nivale repose sur l'application de 2 formules empiriques donnant des résultats convergents et proches de l'estimation donnée par Météo-France pour la contribution nivale de l'épisode de crue de février 1990. La valeur finalement adoptée est majorée d'environ 20% « pour aller dans le sens de la sécurité » et vaut 60 mm.

L'application de la méthode Gradex considère les résultats intermédiaires établis précédemment (gradex, débit décennal, coefficient de pointe, contribution nivale). La durée caractéristique vaut  $d=24h$  et le point-pivot est pris à  $T=10$  ans (débit de pointe décennal au barrage de la Lauch  $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Pour le barrage de la Lauch, la méthode du Gradex donne un débit de pointe  $T=10\ 000$  ans égal à  $39 \text{ m}^3/\text{s}$  (dont 10% de contribution nivale).

La reproduction de l'application de la méthode du Gradex avec les mêmes hypothèses permet de retrouver parfaitement les résultats. On peut par ailleurs établir les résultats du calcul pour les périodes de retour intermédiaires 100 et 1 000 ans (considérant la contribution nivale identique quel que soit la période de retour). Le débit de pointe 100 ans vaut  $24 \text{ m}^3/\text{s}$  et le débit de pointe 1 000 ans vaut  $32 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Enfin, la méthode de l'hydrogramme unitaire est appliquée en complément à celle du Gradex.

Les paramètres de la méthode de l'hydrogramme unitaire (temps de concentration/de montée, coefficient Curve Number (CN) et coefficient de Montana pour la discrétisation horaire de la pluie 24h) sont établis grâce à une procédure de calage du modèle sur 3 épisodes de crue observés à Lerchenmatt (hydrogrammes horaires – 8/9 avril 1983, 21/22 octobre 1986 et 13 au 15 février 1990). Pour le barrage de la Lauch, les paramètres adoptés sont :

- temps de concentration  $T_c=2,9$  heures ;
- $CN=90$  (saison hiver) ;
- Coefficient de Montana = 0,5.

Globalement, il est montré que le modèle de l'hydrogramme unitaire calé sur le bassin versant de la Doller à Lerchenmatt sous-estime en moyenne les volumes totaux de crue et surestime en moyenne les débits maximaux. Priorité est accordée au facteur débit maximum (justifié dans le cadre de la vérification du dimensionnement des ouvrages d'évacuation des crues et compte-tenu du caractère peu significatif voire nul de la capacité d'écrêtement des barrages). Par la suite, le choix des paramètres retenus, en particulier la valeur élevée du CN, « va dans le sens de la sécurité ».

De fait, après intégration de la contribution nivale, le débit maximum 10 000 ans obtenu au barrage de la Lauch par la méthode de l'hydrogramme unitaire ( $57,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dépasse nettement celle donnée par la méthode du Gradex ( $39 \text{ m}^3/\text{s}$ ), soit une majoration de presque 50%.

Au final, les auteurs retiennent pour la crue de projet l'hydrogramme de crue obtenu par la méthode de l'hydrogramme unitaire, caractérisé par un débit maximum (10 000 ans) de  $57,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3. REVUE DE L'ETUDE DE 2009

L'étude de 2009 est présentée dans un rapport assez concis (6 pages de contenus) organisé comme suit :

- Présentation succincte de la méthode de prédétermination (méthode SHYPRE, d'après Arnaud et Lavabre, 2001) ;
- Localisation du barrage de la Lauch et des bassins versants d'intérêt (une carte représente les contours des bassins versants de la Lauch, la Thur et la Doller).
- Description des données disponibles ;
- Application de la méthode SHYPRE au bassin versant de la Doller à la station de Lerchenmatt ;
- Transposition des débits de crues estimés au barrage de la Lauch ;
- Conclusions (comparaison aux valeurs des études antérieures)

On rappelle que la méthode SHYPRE (**S**imulateur d'**HY**drogrammes pour la **PRE**détermination des crues) repose sur une approche pluie-débit sophistiquée utilisant un générateur d'averses (aléa pluviométrique) et un modèle pluie-débit (transformation pluie-débit, simulation d'un très grand nombre hydrogrammes de crue). En cela, son application est réservée à un nombre très restreint d'acteurs, dont l'INRAE à l'origine de son développement et le bureau Hydris-Hydrologie qui bénéficie d'un contrat de transfert de savoir-faire et dont la vocation première est précisément la mise en œuvre de cette méthode.

Le rapport ne propose pas véritablement d'analyse des épisodes de crue historiques. Seul un paragraphe dans le 1<sup>er</sup> chapitre mentionne que les 3 principaux épisodes de crue dans la vallée de la Lauch sont tous issus d'un même phénomène générateur (fortes précipitations sur manteau neigeux instable). En particulier, les débits maximaux observés (à quelle(s) station(s) hydrométrique(s)) ne sont pas documentés.

Les crues de la Lauch se produisent en hiver et les plus fortes sont liées à un effet de foehn qui provoque de fortes précipitations pluvieuses sur un manteau neigeux instable. Les crues les plus importantes (avril 1983, février 1990 et janvier 2004) ont toutes été engendrées par ce même phénomène. Les cumuls de précipitations dépassaient les 300 mm en trois jours, avec plus de 130 mm en 24h.

Les données utilisées par l'étude de 2009 sont comme suit :

- Les données hydrométriques à la station de Lerchenmatt sur la Doller (8,5 km<sup>2</sup>) ;
- Les données pluviométriques au poste du Markstein ;
- Les données pluviométriques au poste du Ballon.

Le rapport précise qu'il n'existe pas « de mesure du débit total s'évacuant par le barrage lors des crues au cours desquels il surverse le plus souvent ». La station hydrométrique de la Lauch à Linthal est écartée de l'analyse car avec une superficie de bassin versant de 28 km<sup>2</sup>, elle est jugée « difficilement comparable à la situation du barrage [de la Lauch, 5,5 km<sup>2</sup>]. La station de Lerchenmatt sur la Doller est retenue car « elle présente les caractéristiques les plus proches de celles de la Lauch [...] même contexte montagneux et superficie assez proche de 8,5 km<sup>2</sup> ».

Même si le rapport n'est pas explicite à ce sujet, on peut aisément imaginer que le choix de la station de Lerchenmatt se justifie aussi par une bonne disponibilité et qualité des données hydrométriques (en particulier caractère peu ou pas influencé des débits de hautes eaux). Il faut noter l'absence de barrages dans le bassin versant de la Doller à Lerchenmatt. Le rapport ne fournit pas d'informations sur l'historique de la station à Lerchenmatt. On suppose qu'il s'agit de la station Lerchenmatt aval, installée en 1961 [A1202020 – 8,9 km<sup>2</sup>], puis déplacée un peu vers l'amont au début des années 1990 (8,5 km<sup>2</sup>) et toujours opérationnelle depuis [A1202050].

Le rapport ne présente aucune analyse des données hydrométriques à la station de Lerchenmatt. Les graphiques représentant les débits de pointe simulés et observés (page 7/8) laissent apparaître ce qui ressemble à un échantillon

de débits maximaux instantanés annuels de crues à Lerchenmatt composé de 13 valeurs comprises entre environ 5 et 17 m<sup>3</sup>/s. La valeur maximale pourrait correspondre au débit de crue de l'épisode du 13 janvier 2004 (14,5 m<sup>3</sup>/s) ou celui du 25 janvier 1995 (15,3 m<sup>3</sup>/s) ou encore celui du 22 octobre 1986 (17 m<sup>3</sup>/s).

La consultation des données dans l'HydroPortail révèle par ailleurs que l'épisode de février 1990 est marqué par une période de discontinuité, une valeur de débit maximal est donnée à titre indicatif à 20,6 m<sup>3</sup>/s le 15/02 à 10h00, mais cette valeur n'est pas retenue dans les analyses fréquentielles des débits maximaux.

Comme pour les données de débits, le rapport ne documente que très succinctement les données pluviométriques utilisées.

Les stations météorologiques de Markstein et du Ballon sont retenues car jugées « bien représentatives du contexte du barrage de la Lauch », avec comme bémol cependant :

- « la station du Markstein est la plus proche du barrage mais à l'est du massif, dans une partie moins arrosée », tandis que ;
- « la station du Ballon [...] est située dans le secteur le plus arrosée du massif et représente bien les forts cumuls pluviométriques des effets de foehn sur les crêtes ».

Il faut noter que le poste du Markstein (respectivement du Ballon) est différent du poste au barrage de la Lauch (respectivement du poste Grand Langenberg) utilisé par l'étude ISL de 1995.

Ici, l'analyse aurait sans doute méritée d'être appuyée par une analyse quantitative des cumuls pluviométriques comparés aux 2 stations tant en terme de pluviométrie moyenne annuelle qu'en terme d'épisodes de pluie remarquable. La carte de la pluviométrie moyenne annuelle de la zone d'étude montre que le bassin versant de la Doller à Lerchenmatt et la station du Ballon sont soumis à une pluviométrie plus élevée que le bassin versant de la Lauch au barrage et la station du Markstein. La source des données n'est pas précisée.

Comme pour les données de débits, les données pluviométriques ne sont que partiellement accessibles par lecture graphique des figures représentées à la page 6/8.

Il semble apparaître les échantillons (13 valeurs) des pluies maximales annuelles pour les durées 1h, 24h et 72h. Ces valeurs ne sont pas documentées (date de l'épisode, étendue géographique).

Conformément à la carte de la pluviométrie moyenne annuelle, les cumuls semblent supérieurs à la station du Ballon par rapport au Markstein. Ainsi, pour le Ballon, le cumul maximal de la pluie 24h est de l'ordre de 120 mm contre 100 mm pour le Markstein.

Le fait que les échantillons de pluie maximale présentent la même taille que l'échantillon des débits maximaux (13 valeurs) laisse penser que l'analyse des pluies maximales pourrait avoir été restreinte à la période de disponibilité des débits. La période de disponibilité des données de base (Lerchenmatt, Markstein, Ballon) n'est mentionnée à aucun moment.

L'application de la méthode SHYPRE au bassin versant de la Doller à Lerchenmatt est illustrée par les figures de la page 6/8 d'une part (estimation des quantiles de pluie) et les figures de la page 7/8 d'autre part (estimation des quantiles de débits maximaux instantanés à Lerchenmatt).

Pour ce qui concerne l'estimation des quantiles de pluie, les auteurs affirment que « la méthode SHYPRE reproduit assez fidèlement les pluies observées ». On peut néanmoins nuancer cette affirmation :

- C'est assez vrai pour les cumuls de pluie 1h, mais plus discutables pour les cumuls de pluie 24h et surtout 72h.
- Pour le cumul 24h, on observe des différences assez marquées entre la pluie simulée SHYPRE et la pluie au Ballon pour les périodes de retour faibles.
- Pour le cumul 72h, on observe des différences très marquées entre la pluie simulée SHYPRE et la pluie au Markstein/au Ballon quelle que soit la période de retour. Ainsi, la pluie simulée SHYPRE sous-estime systématiquement la pluie au Markstein et au contraire surestime systématiquement la pluie au Ballon.

- Enfin, la comparaison des pluies simulées SHYPRE et des pluies observées n'est réalisée que pour des périodes de retour inférieures à 20 ans.

On peut légitimement penser que les données de pluie au Markstein et au Ballon couvrent en réalité des périodes assez longues, permettant d'estimer les quantiles de pluies observées à ces stations pour des périodes de retour supérieures à 20 ans, sans doute de l'ordre 100 ans. Il aurait été utile de comparer les quantiles de pluies simulées SHYPRE aux quantiles de pluie observées pour la période de retour 100 ans afin de mieux évaluer la capacité du modèle SHYPRE à reproduire fidèlement les pluies observées.

Pour ce qui concerne l'estimation des quantiles de débits, le rapport ne donne aucun détail sur le fonctionnement et la procédure de calage-validation du modèle pluie-débit GR3H. Le traitement de la contribution nivale par le modèle GR3H n'est pas abordé. On peut avancer sans prendre trop de risques que le modèle ne traite pas cette contribution de fonte nivale.

Ce modèle fonctionne au pas de temps horaire. La procédure de calage implique donc la disponibilité d'hydrogrammes observés de crues au pas de temps horaire. Le rapport ne propose aucune illustration de tels hydrogrammes de crue. Il aurait été utile de représenter les hydrogrammes des débits horaires observés et simulés de quelques épisodes remarquables de crue pour apprécier la capacité du modèle GR3H à reproduire fidèlement la dynamique de ces épisodes de crue.

Ici (figures de la page 7/8), la comparaison porte uniquement sur le débit maximum instantané et pour des débits dont la période de retour empirique est de l'ordre de 20 ans (échantillon de 13 valeurs).

La distribution des débits maximaux simulés à Lerchenmatt est plus proche des débits maximaux observés lorsque les données de pluie au poste du Markstein sont utilisées plutôt que les données de pluie au poste du Ballon. Dans ce 2<sup>ème</sup> cas les débits simulés surestiment nettement les débits observés (environ +50% pour les périodes de retour ~10 ans et ~20 ans).

Enfin, la transposition des quantiles de débits obtenus à Lerchenmatt vers le bassin versant de la Lauch au droit du barrage est réalisée de manière classique. La valeur de puissance retenue pour le terme du ratio des débits (0,93 tiré de l'étude hydrologique du PPRI de la Doller) n'a qu'un poids très relatif compte-tenu des superficies assez proches (5,5 et 8,5 km<sup>2</sup>). Si l'on avait pris le paramètre égal à 0,80, cela aurait abouti à une différence de 6%.

La conclusion rappelle l'estimation de la valeur du débit maximal de période de retour 10 000 ans obtenu dans l'étude antérieure réalisée par ISL, égale à 57,5 m<sup>3</sup>/s mais ne cherche pas à justifier l'écart entre cette valeur et les résultats de la méthode SHYPRE (79-96 m<sup>3</sup>/s selon le poste pluviométrique de référence).

La valeur finalement retenue à 80 m<sup>3</sup>/s correspond à la valeur basse des estimations SHYPRE, celle donnée en utilisant comme référence le poste pluviométrique du Ballon, qui donnait pourtant des quantiles de débits nettement surestimés par rapport aux quantiles de débits observés (jusque T~20 ans).

## 4. ANALYSES COMPLEMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Suite à la revue critique détaillée des études antérieures présentée ci-dessus, nous avons procédé à une analyse complémentaire succincte pour appuyer nos recommandations exposées ci-après.

### 4.1. ANALYSE DES PLUIES MAXIMALES

Les données de pluies journalières maximales mensuelles au poste Météo-France de Markstein-crête ont été acquises auprès de Météo-France sur la période de 1989 à 2011. Ainsi, on peut compléter les données pluviométriques fournies par la CeA à ce même poste sur la période récente 2012-2021.

L'analyse des pluies journalières maximales mensuelles au poste de Markstein (1989-2021) permet d'établir le gradex et les quantiles des pluies journalières pour les différentes périodes de retour.

Les plus forts cumuls pluviométriques, en particulier tous les épisodes supérieurs à 100 mm/j, sont observés sur la période de novembre à mai. Cette période est retenue pour le calcul des pluies maximales.

L'échantillon des pluies journalières maximales (Nov-Mai) au poste du Markstein et son ajustement par une loi de Gumbel sont représentés à la figure ci-dessous. L'épisode maximal du 30 mai 2000 présente le cumul maximal avec 150 mm/j.

Le gradex (Nov-Mai) vaut 22,5 mm/j, la pluie 100 ans vaut 156 mm/j et la pluie 10 000 ans vaut 260 mm/j.

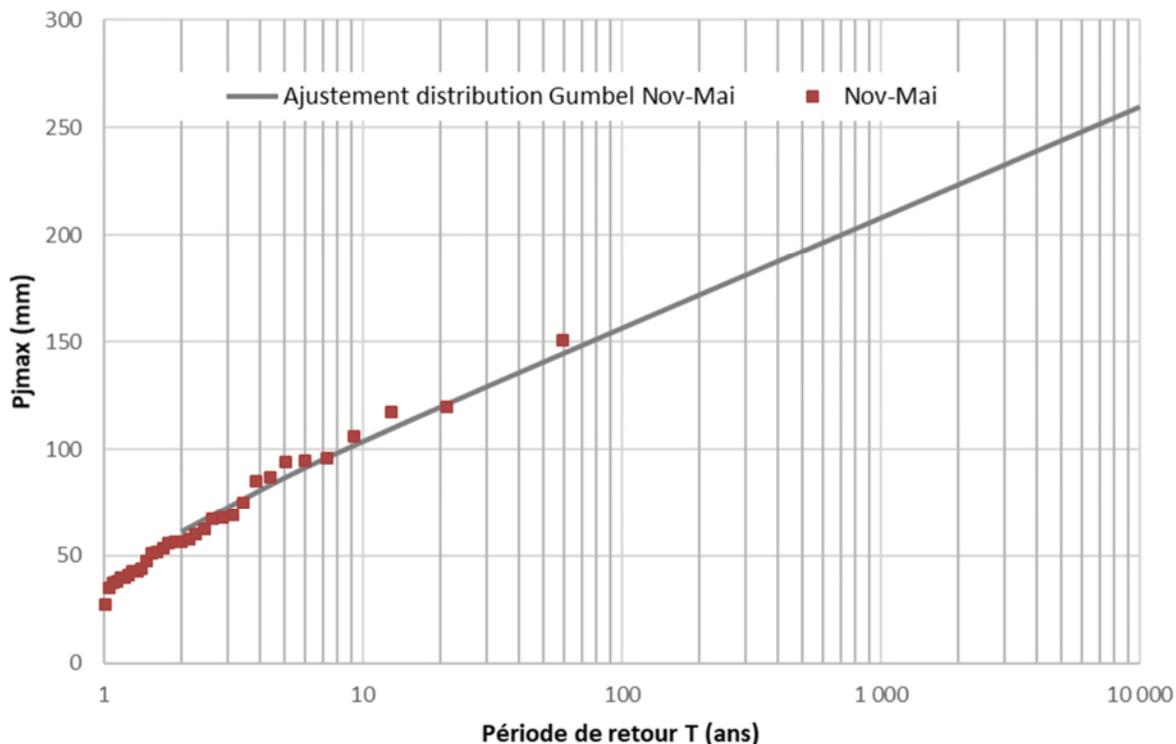


Figure 1 : Distribution des pluies journalières (Nov-Mai) au poste MF du Markstein (1989-2021)

Après application du coefficient de Weiss (1,13) pour centrer les cumuls sur 24h, ces résultats sont trouvés très similaires aux hypothèses de pluie retenues par l'étude ISL de 1995 (poste du barrage de la Lauch), et intercalés par rapport à ceux de la méthode SHYPRE aux postes du Markstein et du Ballon de l'étude de 2009.

Poste de référence	Artelia (2022)	ISL (1995)	CG68 (2009)	
	Markstein	Barrage de la Lauch	Markstein	Ballon
Gradex (mm/24h) (hiver)	25,4	27,9	-	-
Pluie 10 ans (mm/24h)	116	117	90	110
Pluie 100 ans (mm/24h)	176	186	120	155
Pluie 10 000 ans (mm/24h)	294	311	240	310

## 4.2. ANALYSE DES DEBITS MAXIMAUX

Les données hydrométriques d'intérêt sont celle de la Doller à la station de Lerchenmatt (après déplacement vers l'amont (8,5 km<sup>2</sup>), soit sur la période 1992-2022).

Les débits moyens journaliers maximaux annuels (Qjmax) sont presque tous (95%) observés sur la période de novembre à mars et présentent des valeurs comprises entre 2,5 m<sup>3</sup>/s et 9,7 m<sup>3</sup>/s (13/01/2004).

L'ajustement d'une loi de Gumbel à l'échantillon Qjmax (31 valeurs) permet d'établir le débit moyen journalier à Lerchenmatt pour les périodes de retour jusqu'à environ 50 ans. Le débit moyen journalier décennal vaut 7,8 m<sup>3</sup>/s, soit une valeur très similaire à celle documentée sur l'HydroPortail (7,86 m<sup>3</sup>/s). Par ailleurs, l'HydroPortail renseigne un débit de pointe décennal égal à 13,2 m<sup>3</sup>/s, ce qui conduirait à un coefficient de pointe égal à  $(13,2/7,86) = 1,7$ .

L'analyse des hydrogrammes horaires de crue à Lerchenmatt pour les 4 principaux épisodes de crue observés depuis 1991 permet d'établir que les coefficients de pointe (centrés 24h) sont compris entre 1,4 et 1,6.

Un coefficient de pointe égal à 1,8, comme celui retenu par l'étude ISL en 1995, apparaît donc comme une hypothèse supportée par l'analyse des débits d'observation.

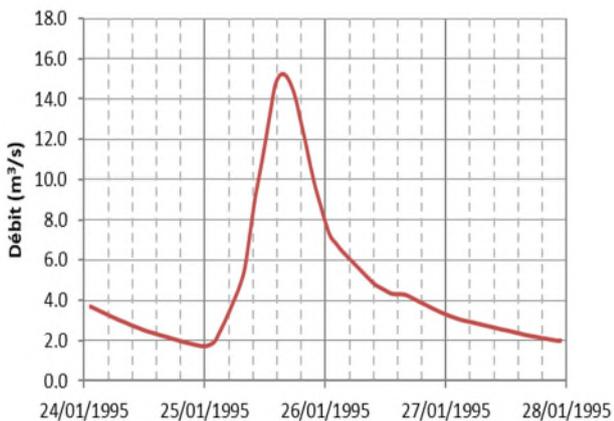


Figure 2 : Episode de crue du 25 janvier 1995

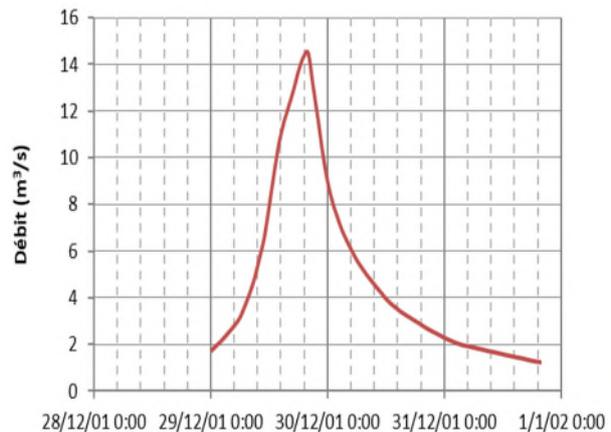


Figure 3 : Episode de crue du 29 décembre 2001

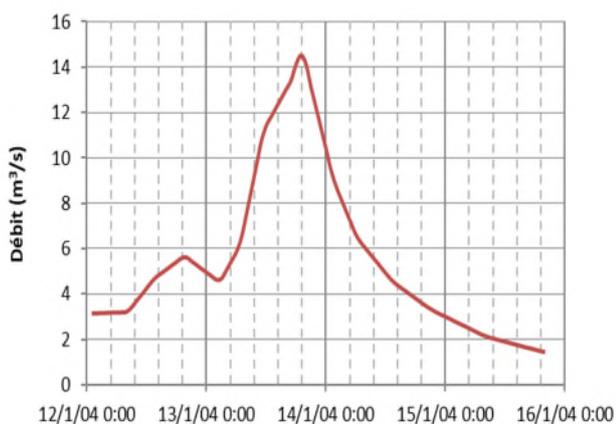


Figure 4 : Episode de crue du 13 janvier 2004

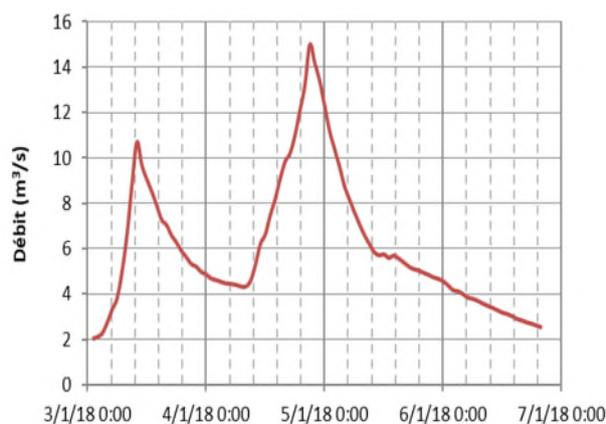


Figure 5 : Episode de crue du 3 au 5 janvier 2018

La transposition du débit moyen journalier décennal de Lerchenmatt au barrage de la Lauch par la formule de Myer donne un débit moyen journalier décennal de 5,4 m<sup>3</sup>/s au barrage de la Lauch.

L'application de la méthode du Gradex (durée d=24h, point pivot T=10 ans, gradex 25,4 mm/24h, coefficient de pointe 1,8) permet d'établir les débits caractéristiques au barrage de la Lauch.

Une contribution nivale présentant un débit de pointe de 4 m<sup>3</sup>/s conformément à la pratique d'ISL (1995) est ajoutée aux résultats de l'application de la méthode du Gradex. Les résultats sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

On a également reporté dans le tableau les résultats des études antérieures, ainsi que les résultats (jusque T=1000 ans) données par la méthode SHYREG-Débits (<https://shyreg.recover.inrae.fr>). Ces résultats sont disponibles directement au droit du barrage de la Lauch (fiche BNBV RS8579) et à la station de Lerchenmatt (puis transposés (Myer) au barrage de la Lauch).

On observe une grande différence entre les résultats SHYREG-Débits selon une estimation directe et selon une estimation transposée depuis Lerchenmatt. Au vu des résultats des autres méthodes, les estimations directes apparaissent vraisemblablement sous-estimées, tandis que les estimations transposées semblent plus crédibles et se rapprochent des estimations établies par la méthode du Gradex.

Les résultats des analyses complémentaires réalisées par Artelia en 2022 permettent d'établir des valeurs assez similaires à celles d'ISL en 1995 suivant la même méthode, mais avec des données de base différentes, ce qui est assez rassurant en termes de robustesse des résultats d'estimation.

La comparaison des résultats est présentée ci-dessous.

	Artelia (2022)	ISL (1995)		Cemagref (2008)	SHRYEG-Débits (2022)	SHRYEG-Débits (2022)
Barrage de la Lauch (5,7 km <sup>2</sup> )	Méthode du Gradex	Méthode du Gradex	Méthode de l'Hydrogramme unitaire	Méthode SHYPRE	BNBV RS8579 (BV barrage Lauch)	Transposé depuis Lerchenmatt
Période de retour	Débit maximal (pointe) (m <sup>3</sup> /s)					
T=10 ans	9,7	12,7		(10 à 15)	4,7	11,3
T=100 ans	21	24		(20 à 25)	9,0	22
T=1 000 ans	28	32		(40 à 48)	15,4	37
T=10 000 ans	35	39	57,5	80	-	-

## 4.3. BILAN ET RECOMMANDATIONS

### Pluies maximales

On observe une assez bonne cohérence globale des pluies maximales estimées entre les méthodes investiguées en 1995, 2009 et aujourd'hui respectivement par ISL, le CG68 et ARTELIA (voir tableau en fin de partie 4.1). La pluie décennale s'établirait à ce jour autour de 294 mm sur 24h.

### Débits maximaux

Si on écarte l'une des méthodes apportées par cette analyse (SHYREG sur le bassin versant BNVBV), on observe une convergence partielle entre méthodes pour identifier les débits maximaux des crues de périodes de retour moyennes à grandes (10, 100 et 1000 ans) avec cependant des écarts augmentant en fonction de la grandeur de la période de retour.

La méthode du GRADEX actualisée par ARTELIA sur les données de 1989 à 2021 donnent des valeurs assez proches (mais restant inférieures) par rapport à la même méthode du GRADEX fait par ISL en 1995.

La méthode SHYPRE régionalisée SHYREG 2022 transposée depuis la station de Lerchenmatt donne des résultats proches de la méthode SHYPRE du CG68 de 2009 pour les débits maximaux sur les périodes de retour 10, 100 et 1000 ans.

Les méthodes historiques GRADEX ISL 1995 et SHYPRE CG68 2009 sont donc a priori toujours valables à ce jour pour les périodes de retour 10, 100 et 1000 ans bien que leurs résultats soient non convergents.

L'ensemble des méthodes applicables donnent de même des valeurs différentes pour le débit maximal de la crue extrême (10 000 ans).

Dans la continuité de la logique historique sécuritaire de choix de la capacité nécessaire en crues du déversoir du barrage de la Lauch, il est proposé, pour le dimensionnement des travaux sur le barrage de la Lauch en phases d'avant-projet et suivantes, de conserver le débit de référence actuel qui correspond à la valeur la plus haute donnée par l'ensemble des méthodes, à savoir la valeur de 80 m<sup>3</sup>/s.



ANNEXE C

**DESCRIPTION DES GRAUWACKES  
SELON LA METHODE DE HOEK &  
BROWN**

## HOEK-BROWN AND EQUIVALENT MOHR COULOMB FAILURE CRITERIA

Project Name: LA LAUCH  
 Structure Type: Intake  
 Depth: 50-100 m

Rock Type: GRAUWACKES PEU FRACTURES  
 Date: 18/11/2020

### RMR Classification for GSI

Based on Bieniawski 1988

Item	Value	Rating
UCS (MPa)	55 Avg sat'd	7
Rock Quality Designation (RQD)	50 Typ value	13
Spacing of Discontinuities (mm)	200 Typ value	10
Discs (VR, SRSW, SRHW, SoG<5, SoG>5)	SRSW	25
Groundwater	n/a	0
Orientation Adjustment	n/a	0
<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	
<b>GSI</b>	<b>50</b>	

Notes: 1. For RMR>23 GSI = RMR-5

### HOEK GSI SPREADSHEET

Input: 

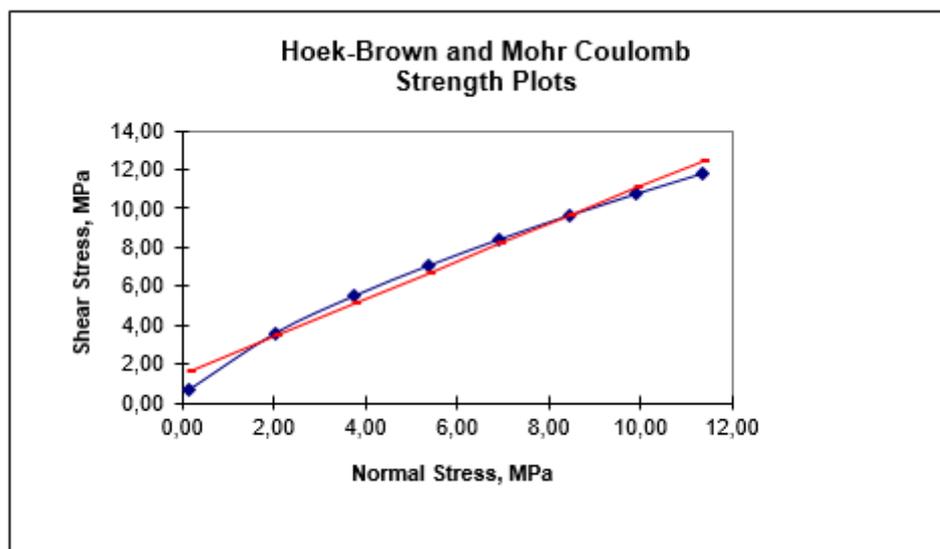
<b>GSI= 50</b>	<b>sigci= 55</b>	<b>mi= 17</b>
UCS, MPa	Sheet Mi	

#### Hoek-Brown and Mohr Coulomb Parameters

Output: 

<b>mb/mi= 0,17</b>	<b>s= 0,004</b>	<b>a= 0,5</b>	<b>k= 5,52</b>
<b>mb= 2,85</b>	<b>A= 0,67</b>	<b>B= 0,72</b>	<b>sigtm= -0,07</b>
<b>E= 7,4</b>	<b>phi= 44</b>	<b>coh= 1,51</b>	<b>sigcm= 7,1</b>
GPa	Degree	MPa	MPa

 "UCS Rock Mass"



Ref: Hoek, E. and Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. Int'l Journ. of Rk Mech and Mining Sciences, Vol. 34 N.8, December 1997.

MCplot is Mohr Coulomb shear stress, to plot MC on graph

Review stress range for which Mohr Coulomb parameters are calculated.

## HOEK-BROWN AND EQUIVALENT MOHR COULOMB FAILURE CRITERIA

Project Name: LA LAUCH  
 Structure Type: Barrage  
 Profondeur 50-100 m

Rock Type: GRAUWACKES FRACTURES  
 Date: 18/11/2020

### RMR Classification for GSI

Basé sur Bieniawski 1988

Item	Valeur	Rating
UCS (MPa)	35 Avg sat'd	4
Rock Quality Designation (RQD)	30 Typ value	8
Spacing of Discontinuities (mm)	50 Typ value	5
Discs (VR, SRSW, SRHW, SoG<5, SoG>5)	SRSW	25
Groundwater	n/a	0
Orientation Adjustment	n/a	0

TOTAL	42
GSI	37

Notes: 1. Pour RMR>23 GSI = RMR-5

### HOEK GSI FEUILLE RESUMEE

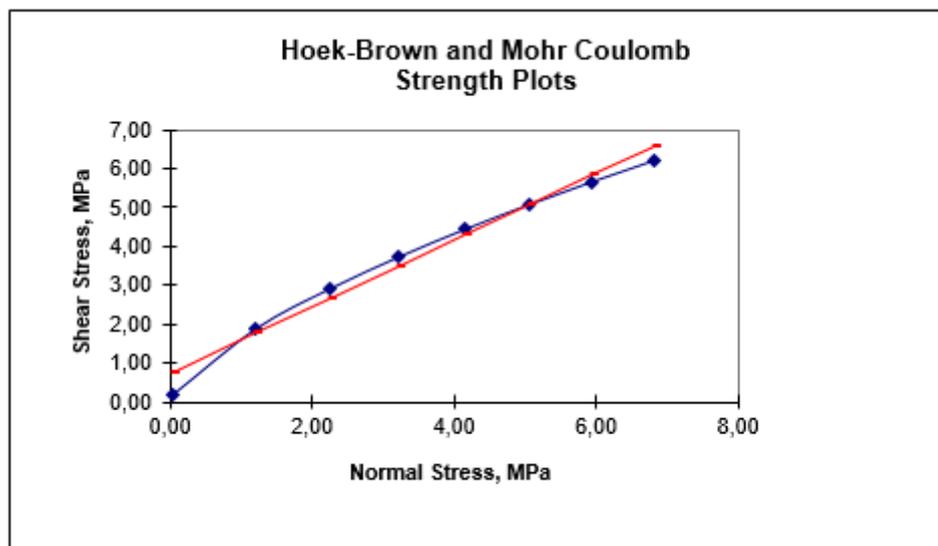
Input: 

GSI= 37	sigci= 35	mi= 17
	UCS, MPa	Sheet Mi

Output: 

Hoek-Brown and Mohr Coulomb Parameters			
mb/mi= 0,11	s= 0,001	a= 0,5	k= 4,71
mb= 1,79	A= 0,58	B= 0,72	sigtm= -0,02
E= 2,8	phi= 41	coh= 0,74	sigcm= 3,2
GPa	Degree	MPa	MPa

"UCS Rock Mass"



Ref: Hoek, E. and Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. Int'l Journ. of Rk Mech and Mining Sciences, Vol. 34 N.8, December 1997.

MCplot is Mohr Coulomb shear stress, to plot MC on graph

Review stress range for which Mohr Coulomb parameters are calculated.