

Stabilité des barrages voûtes réhabilités Barrage des Toules

Dr. Cane Cekerevac

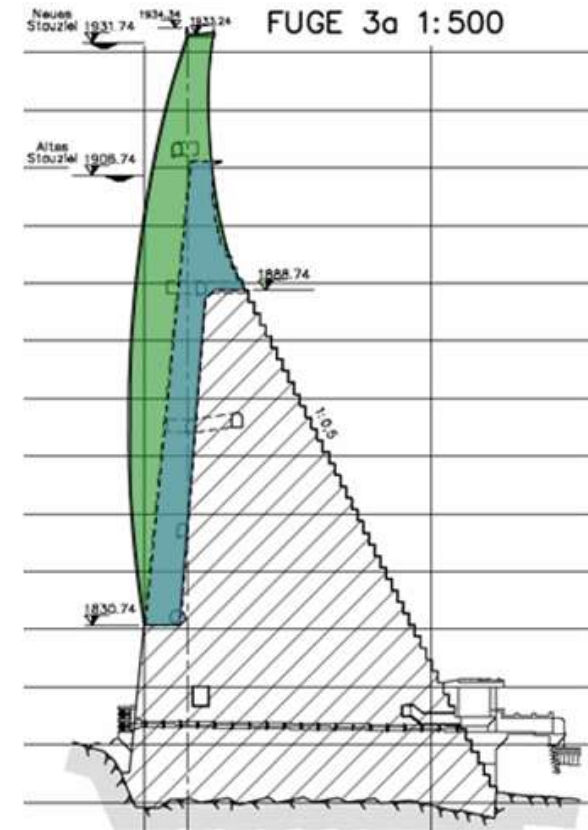
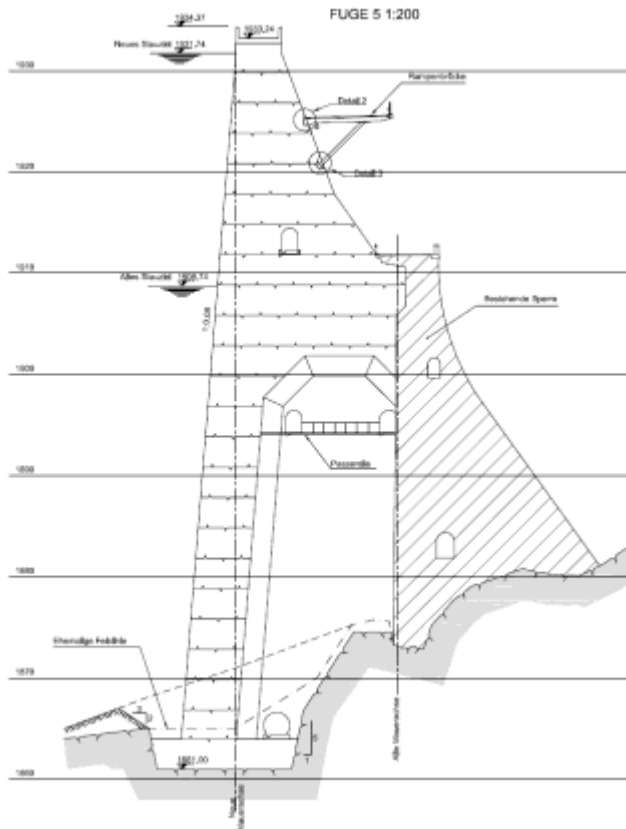
CFMR-CFBR / 23 mai 2013



Surélévation du réservoir pour 23 m



Surélévation du réservoir pour 23 m



Seeuferegg

Gravity dam, H=42 m, 1932

Spitallamm

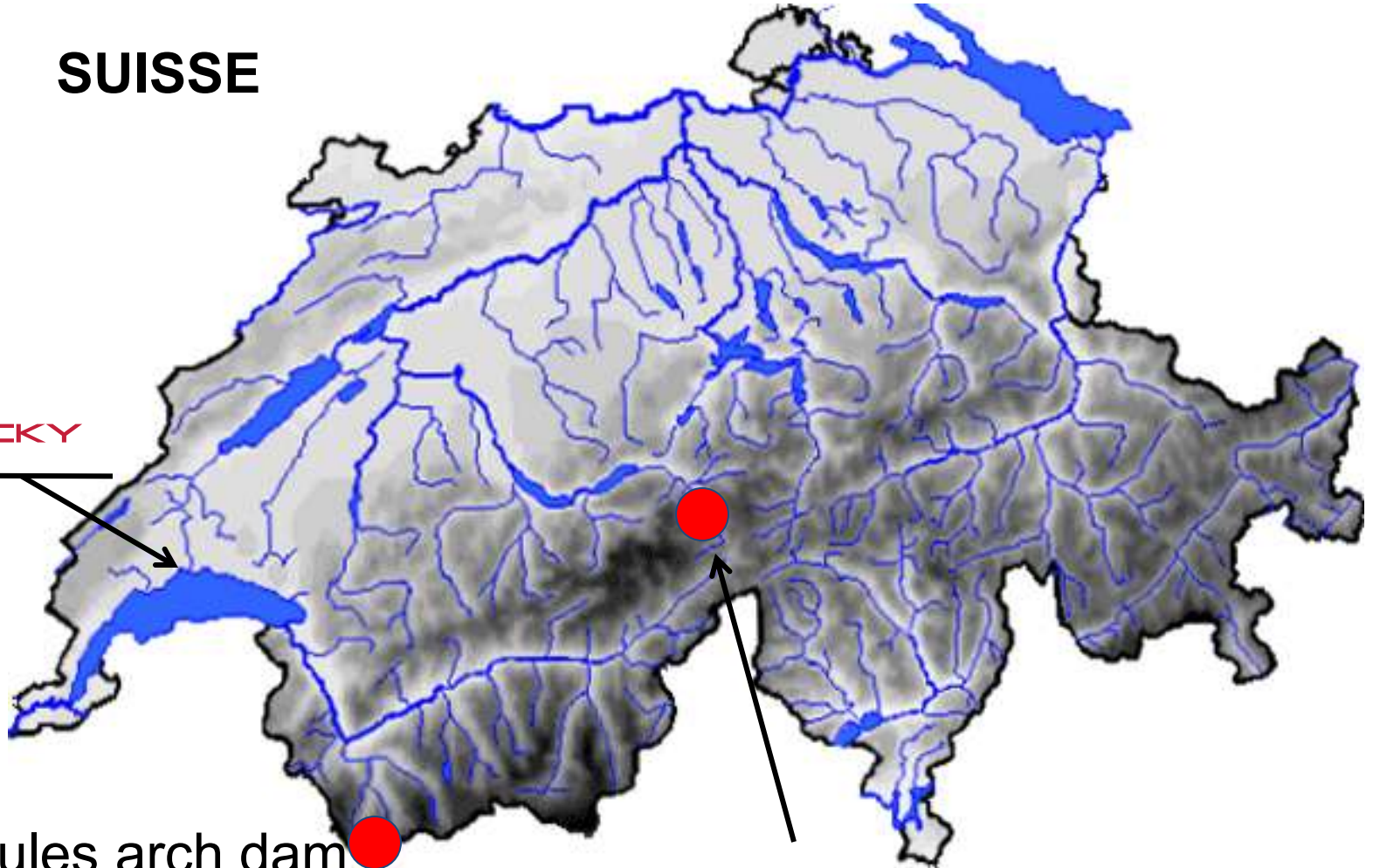
Arch dam, H=114 m, 1932

Confortement du barrage des Toules

- **Caractéristiques du barrage**
- **Etudes du barrage existant**
- **Projet du confortement et travaux**
- **Conclusion**

Location du barrage

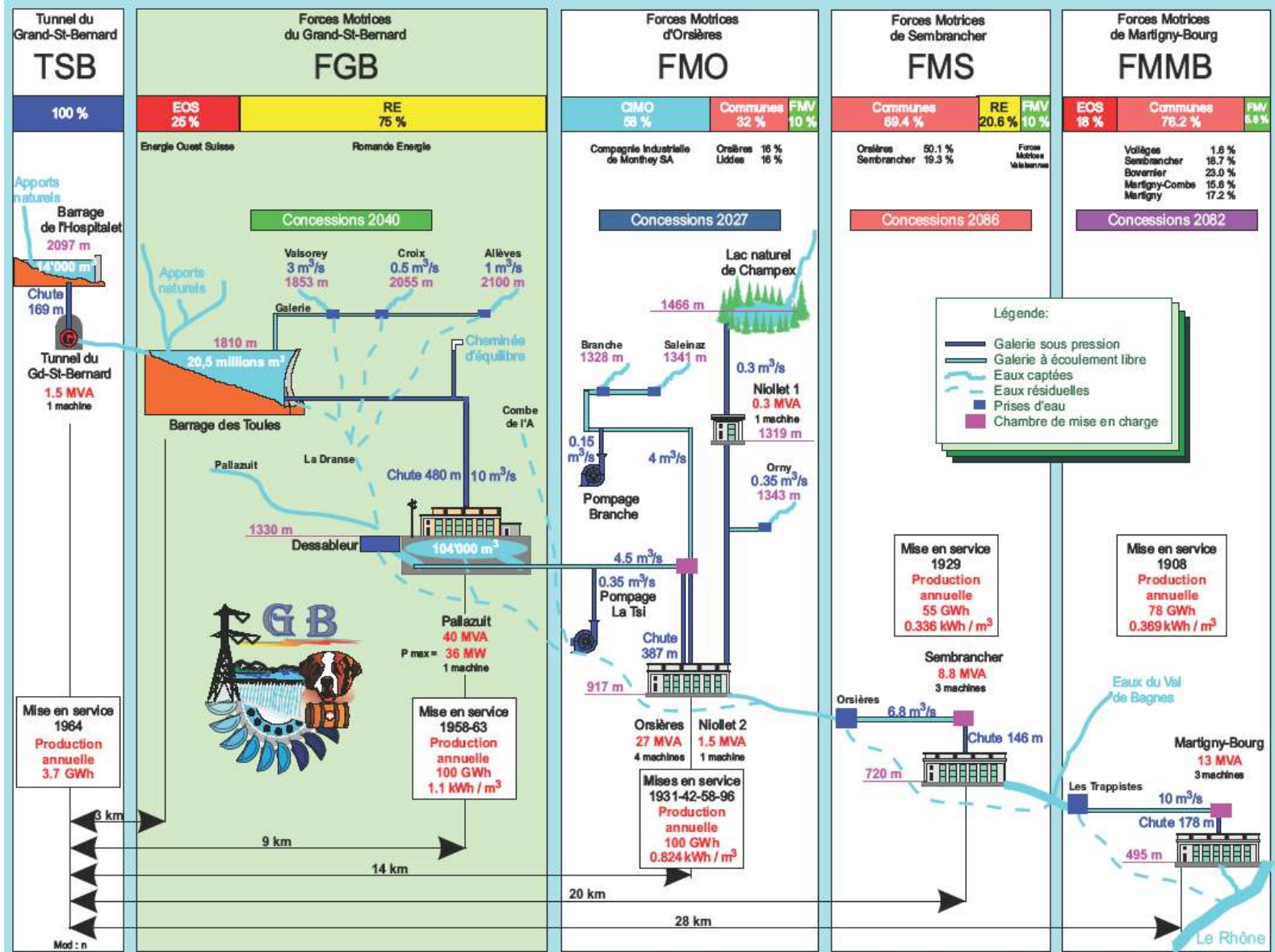
SUISSE



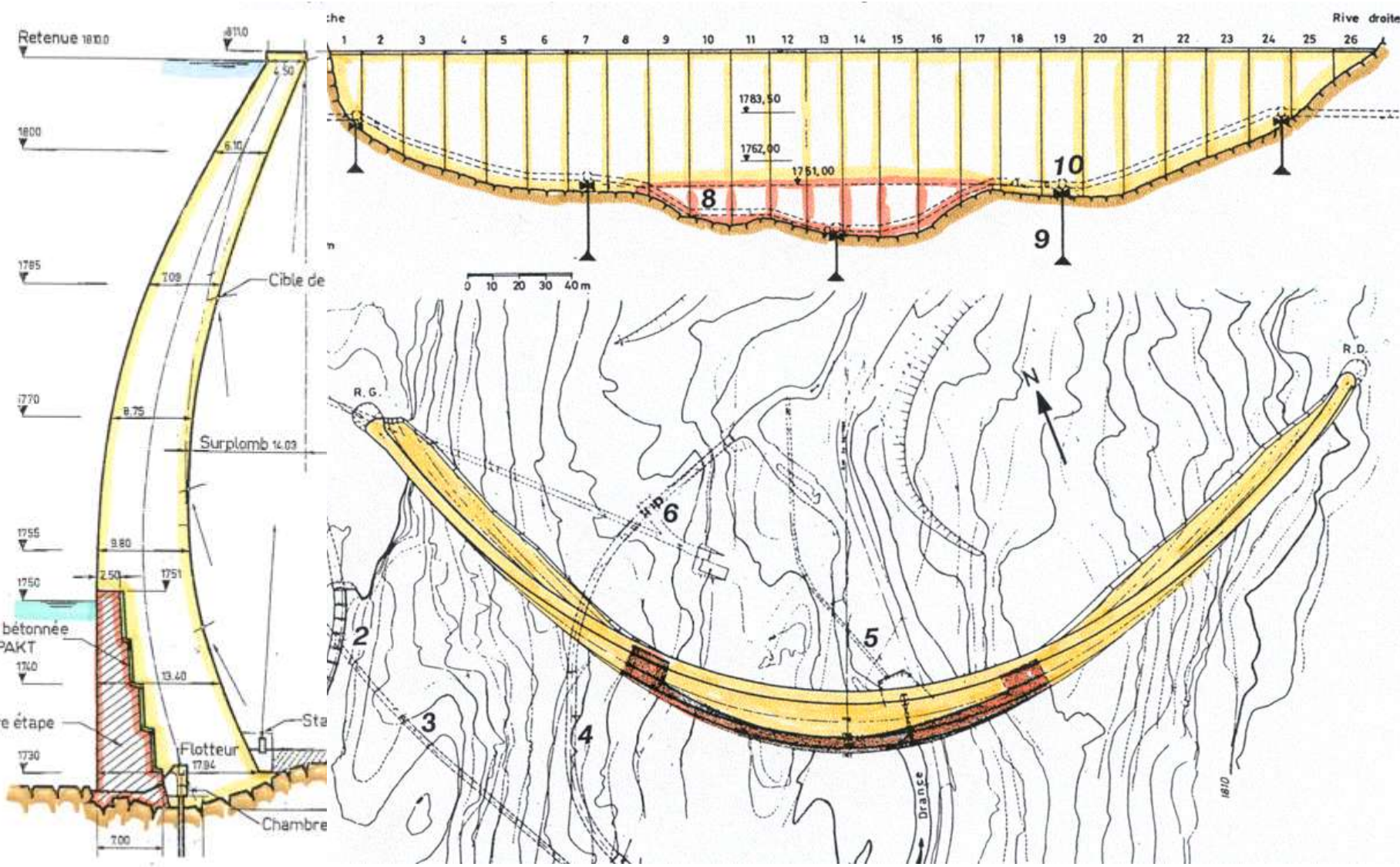
Les Toules arch dam

Spitallamm arch-gravity dam

L'aménagement des Forces Motrices du Grand-St-Bernard FGB



Construction du barrage 1955 - 1964





1955-58, H = 25 m



1960-64, H = 86 m



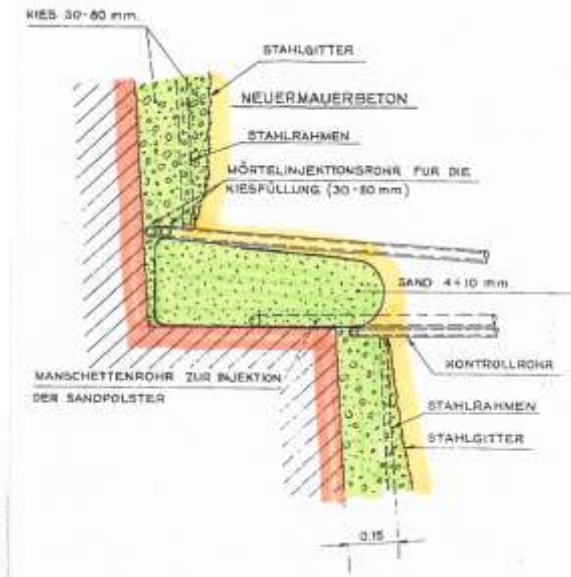
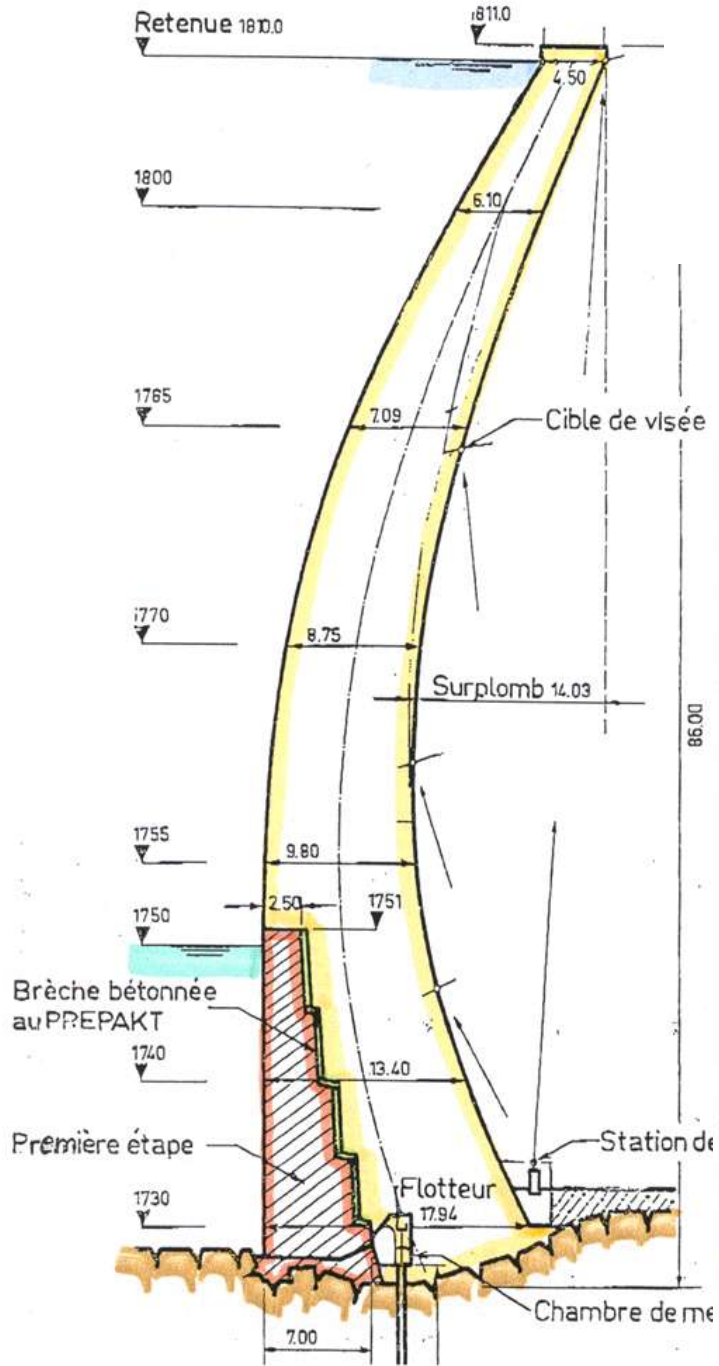
1960-64, H = 86 m

Caractéristiques

Altitude du couronnement	1811 msm
Hauteur	86 m
Longueur du couronnement	460 m
Epaisseur	20.5 m
Volume de béton	235'000 m³
Volume de retenue	20.5 mio m³
Volume des apports annuels	100 mio m³

Les problèmes

Joint Prepakt



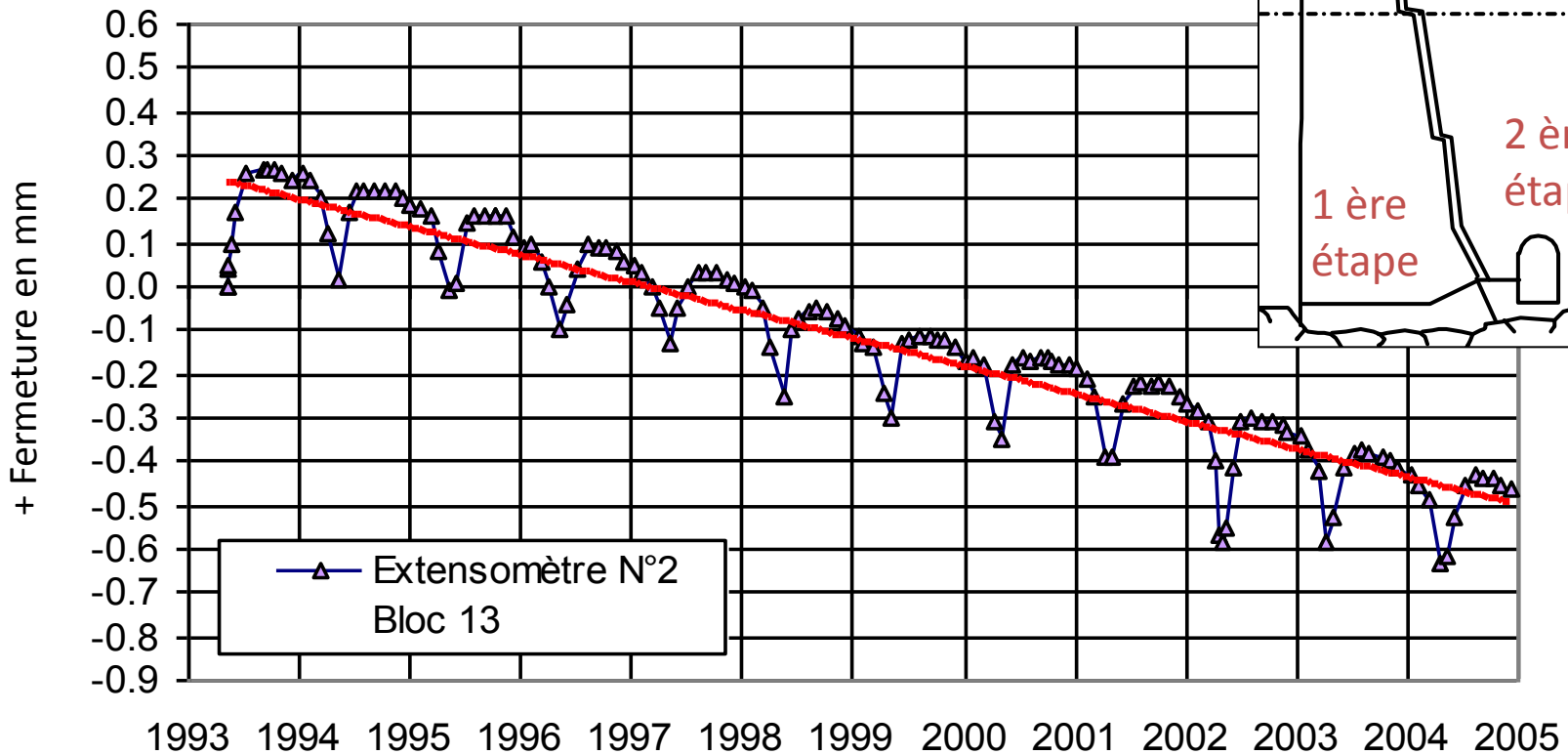
QUERSCHNITT



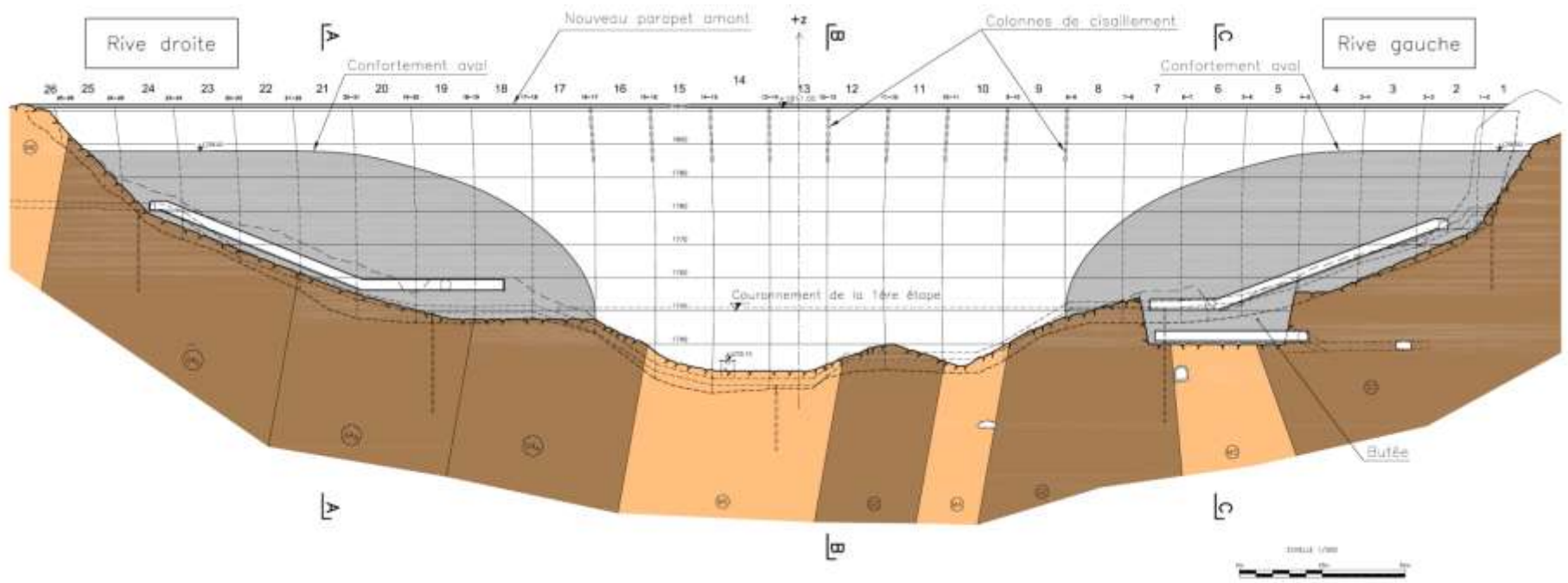
Joint Prepakt – Bloc 13

Extensomètre horizontal

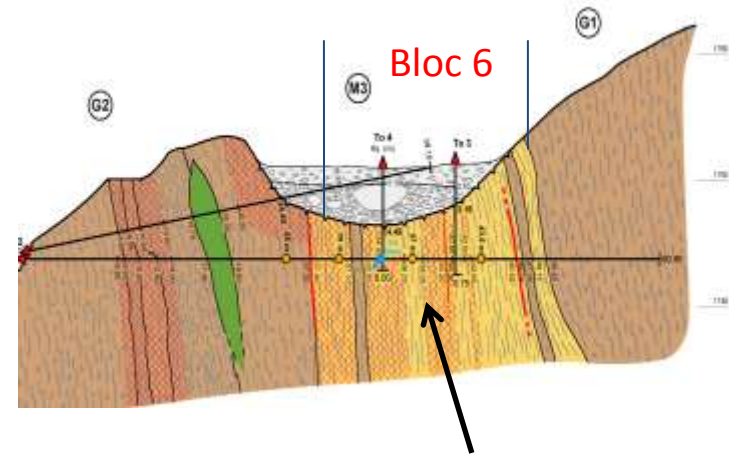
Déformation de 0.05 mm/an depuis 1993



Géologie : Gneiss & Micaschistes

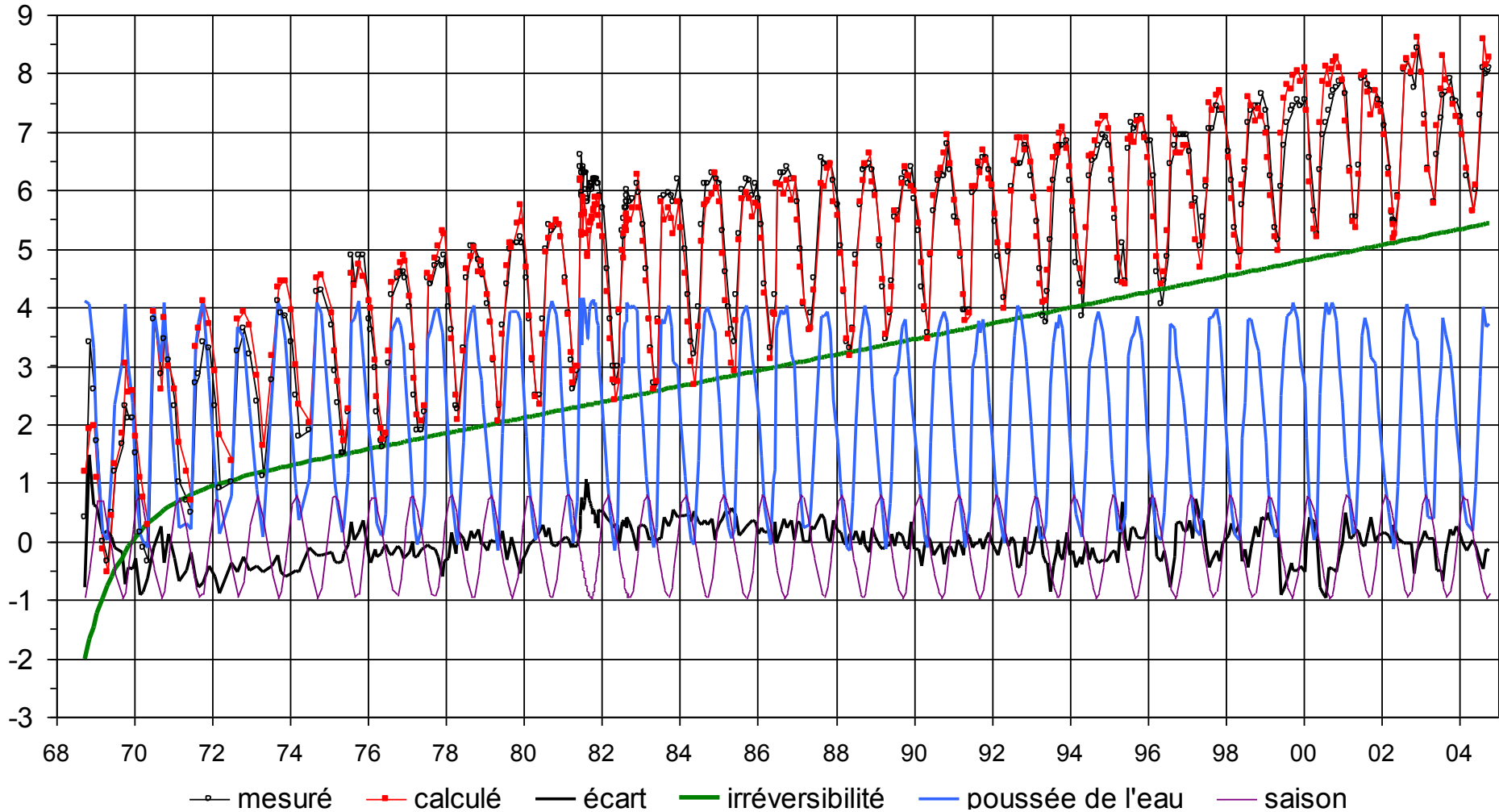


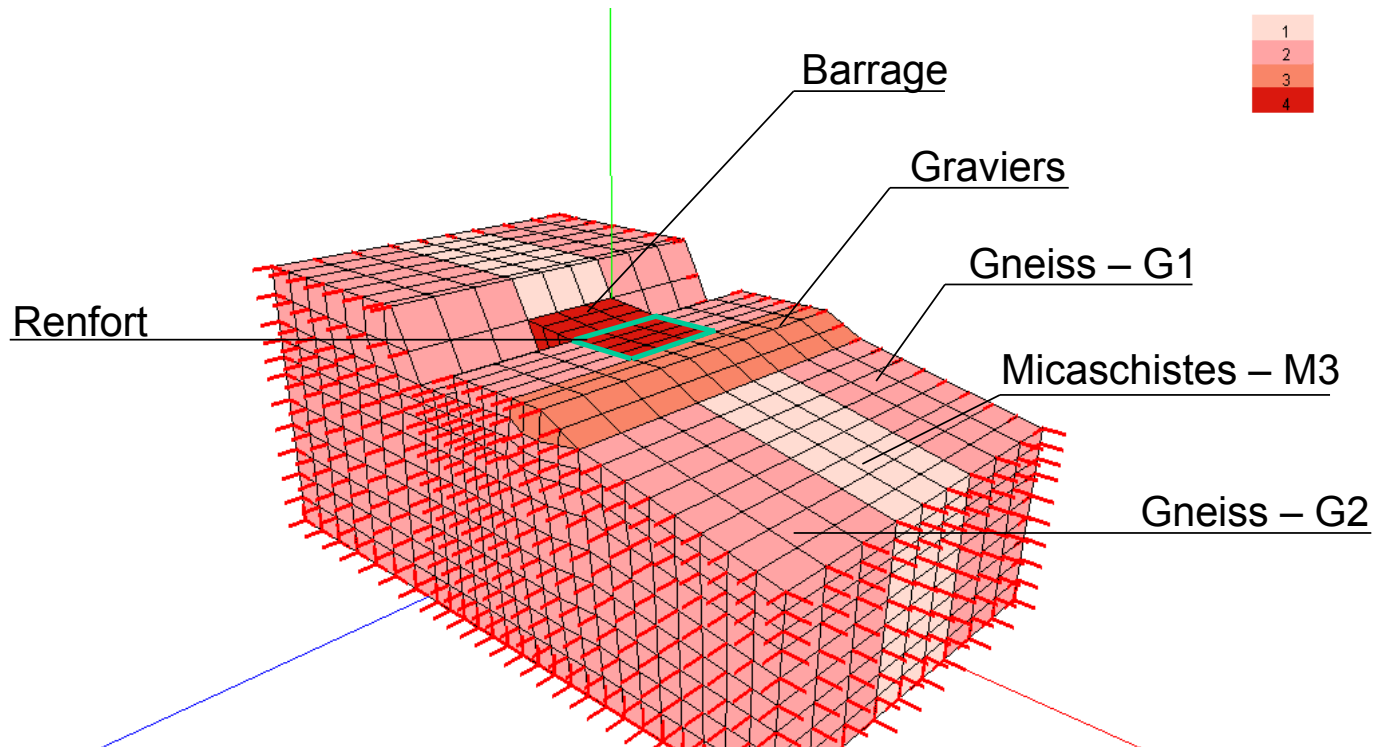
Bloc 6



Micaschistes
($E = 5'000 \text{ MPa}$)

Déplacement irréversible de 4 mm en 30 ans



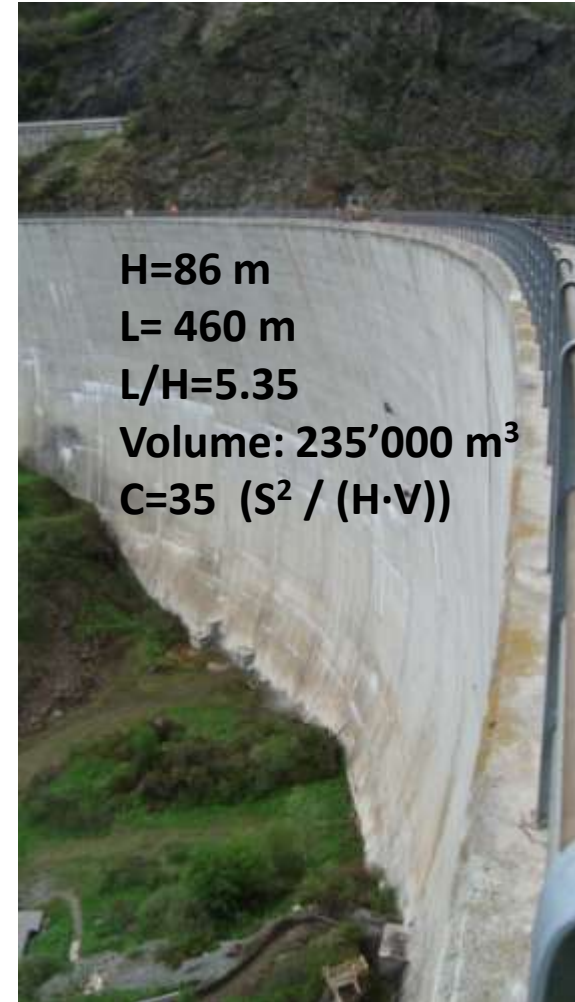
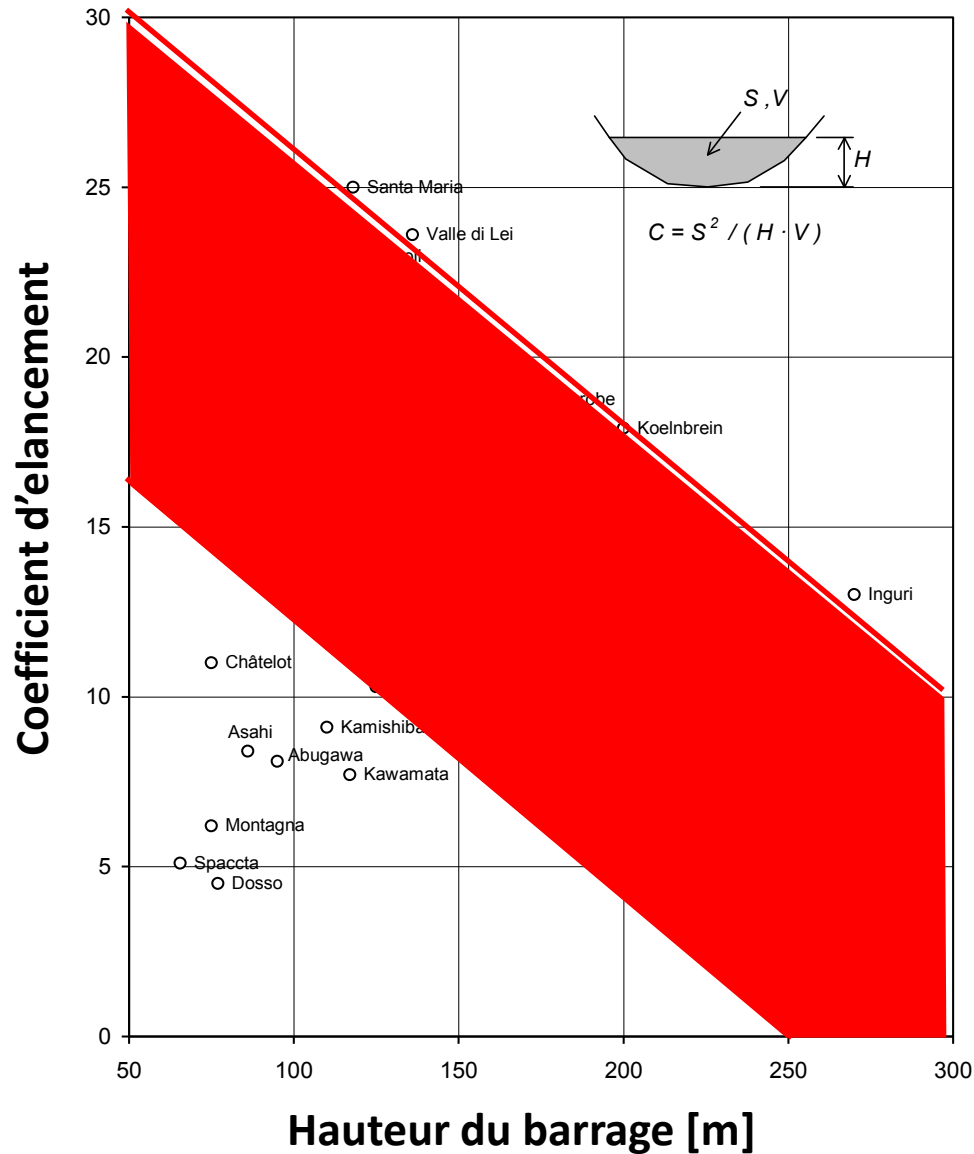


Analyse statique:

FS = 1.18 (1.50 requis)

Analyse dynamique:

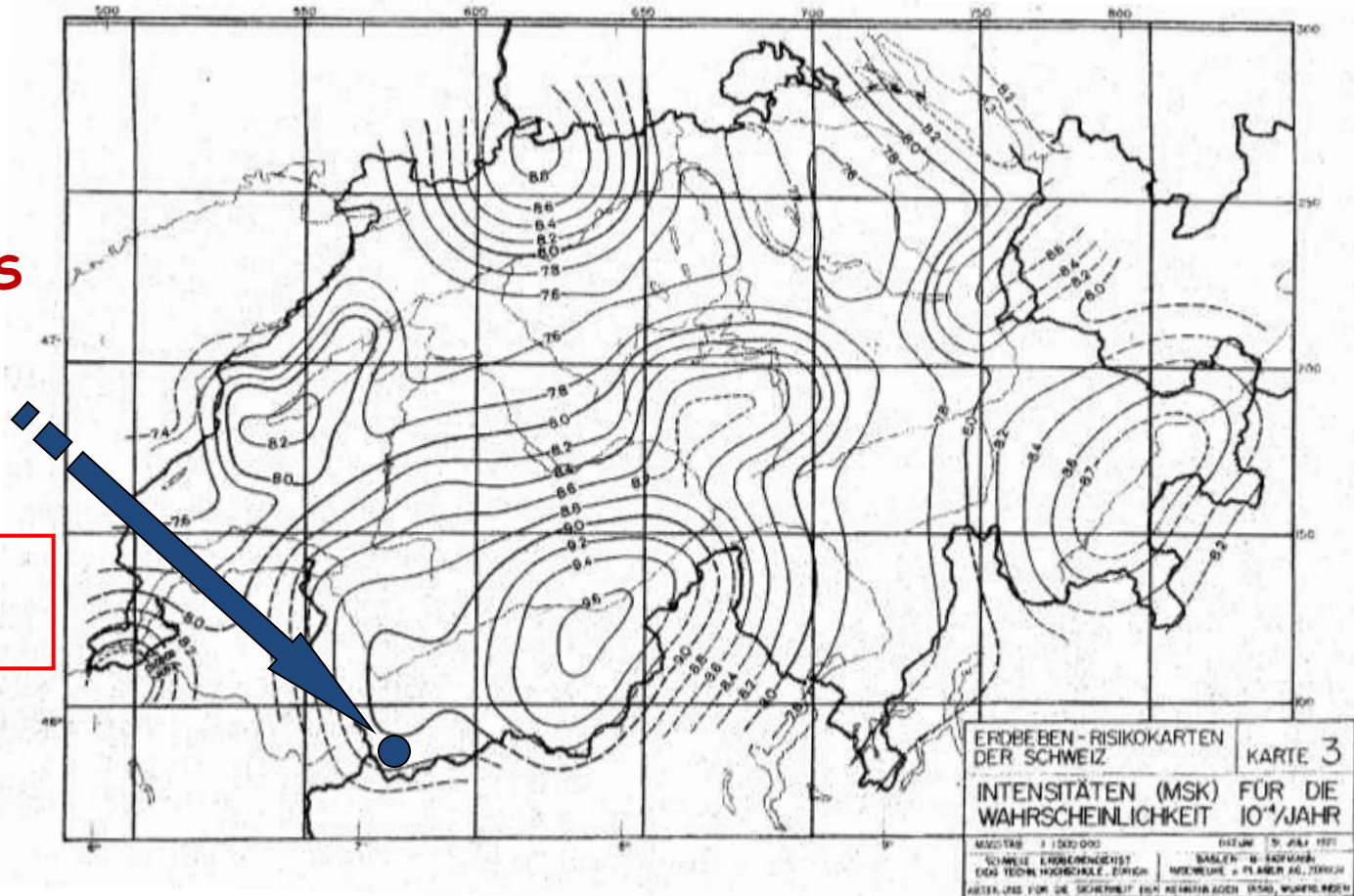
FS = 0.83 (1.10 requis)



Séisme : Intensité pour une période de retour de 10'000 ans

LES TOULES
I = 9.0
=> 0.35 g

À l'époque:
0.10 g !!!

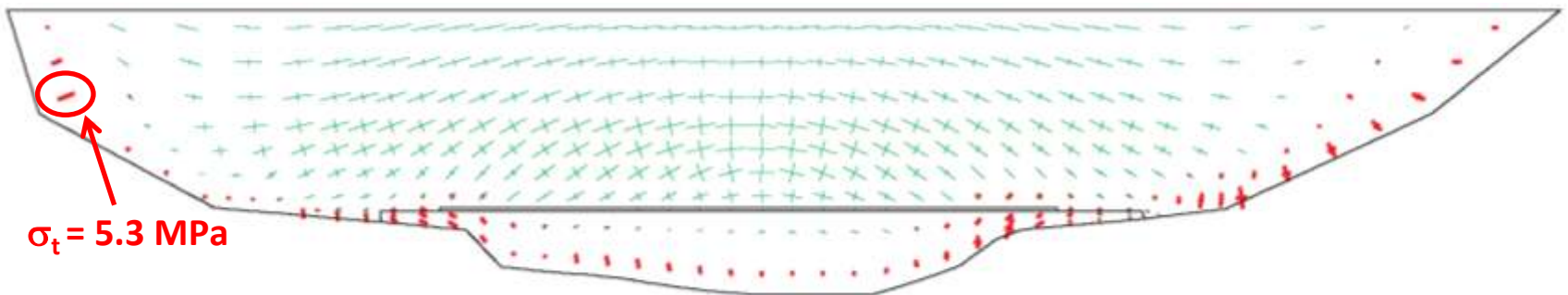


b. 2. Intensitätswerte für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} p.a. gemäss Erdbebentatsachen der Schweiz
Bestimmung der Erdbebengefährdung, 1977

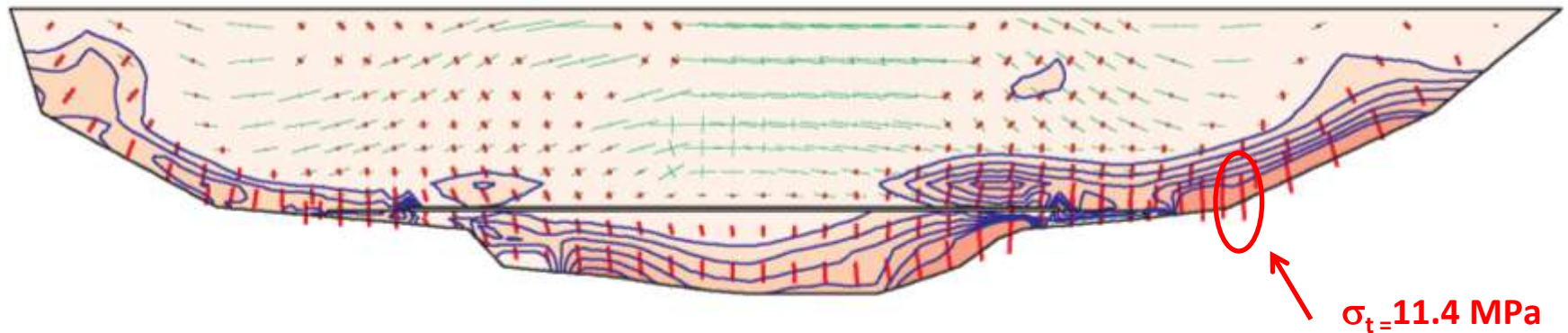
Cas de charges critique :

- poids propre
- Sediments
- Lac plein
- Hiver

Calculs statiques (face amont)



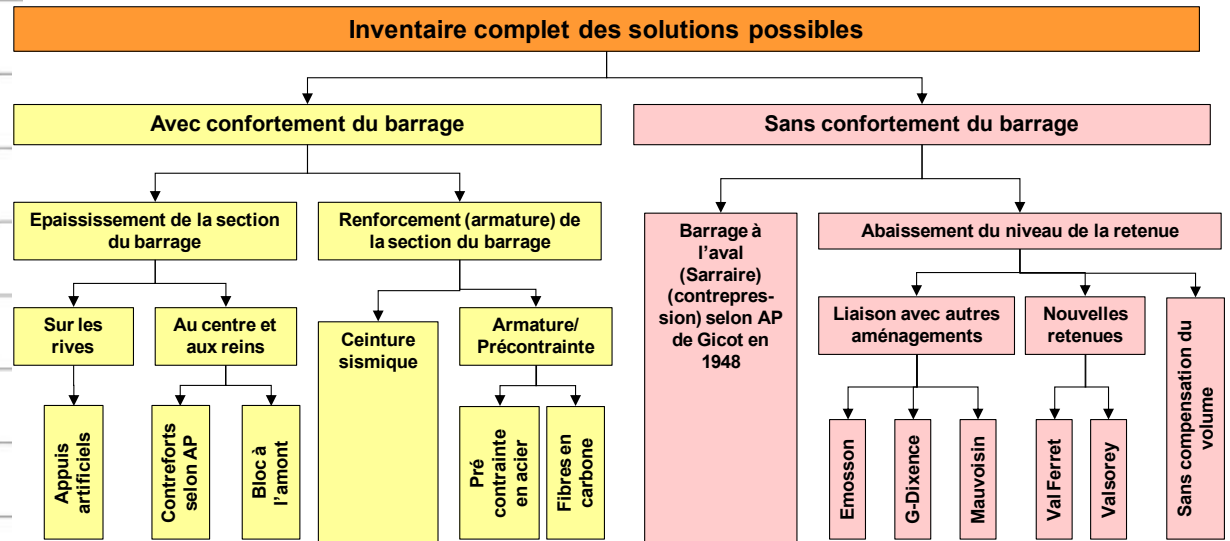
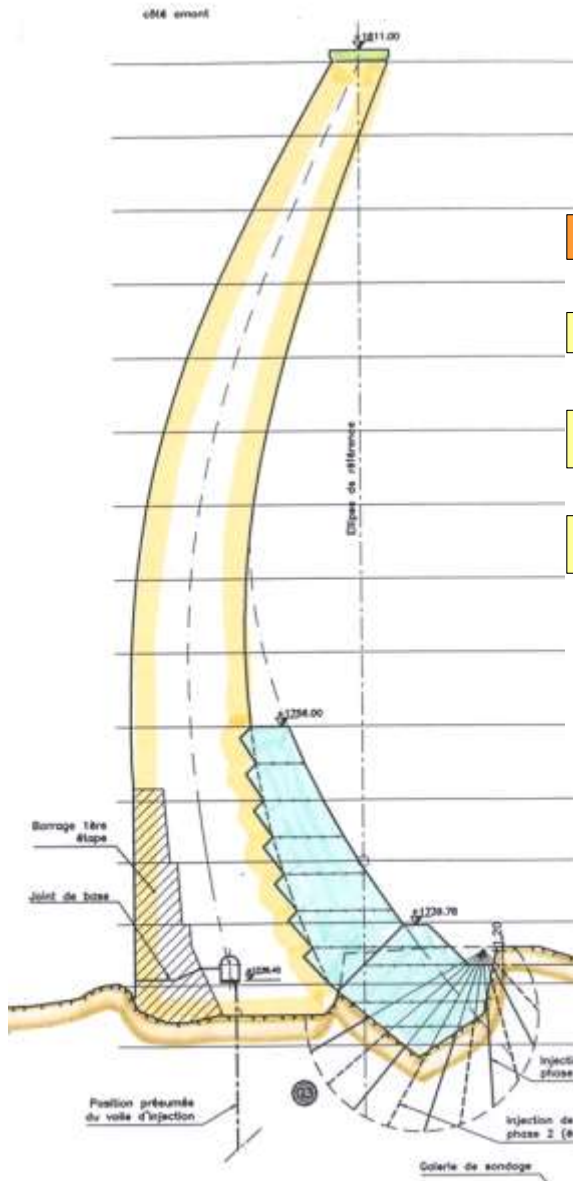
Calculs dynamiques (face aval)

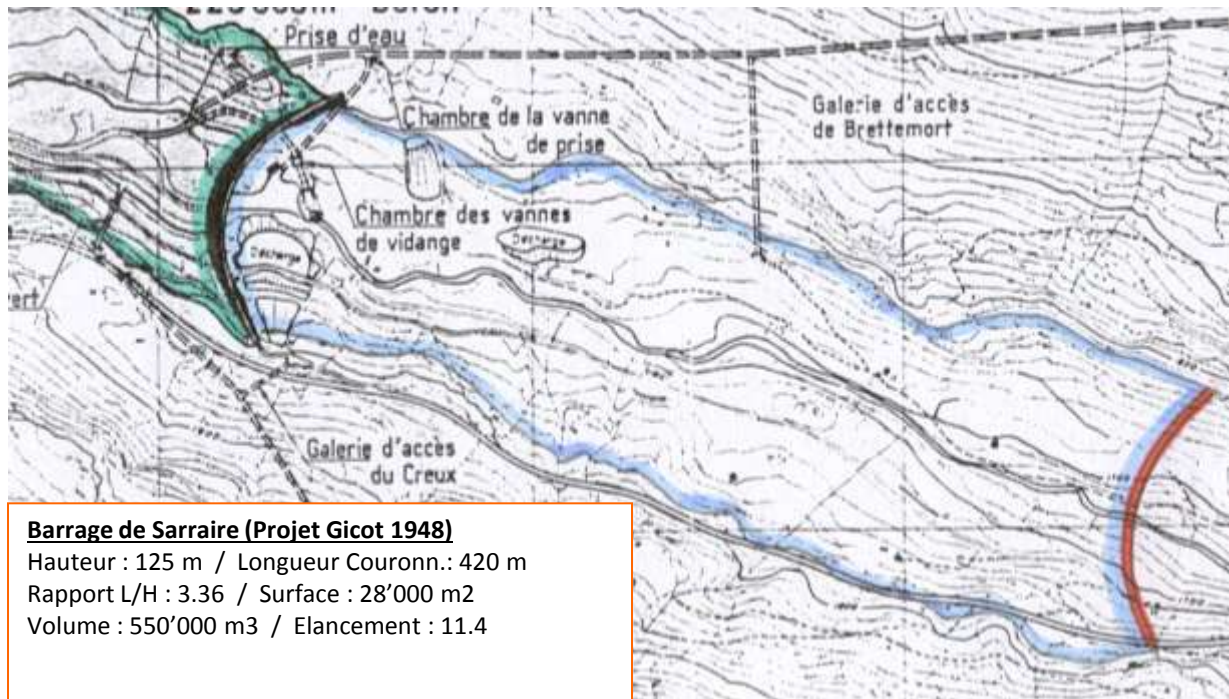
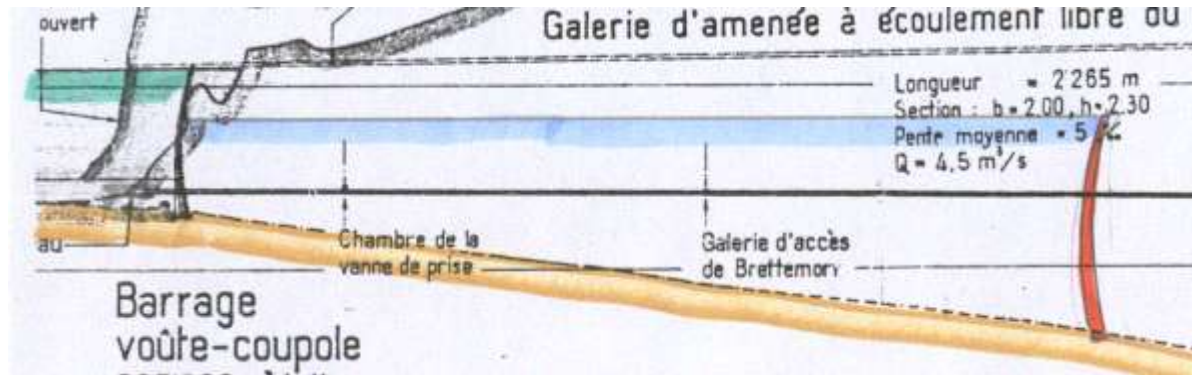


Les objectifs du confortement

- **Adaptation aux nouvelles recommandations sismiques (OFEN 2003)**
- **Renforcement de la voûte et résolution des problèmes annexes (Joint Prepakt et déplacement Bloc 6)**
- **Augmentation de la sécurité en cas de crues extrêmes**

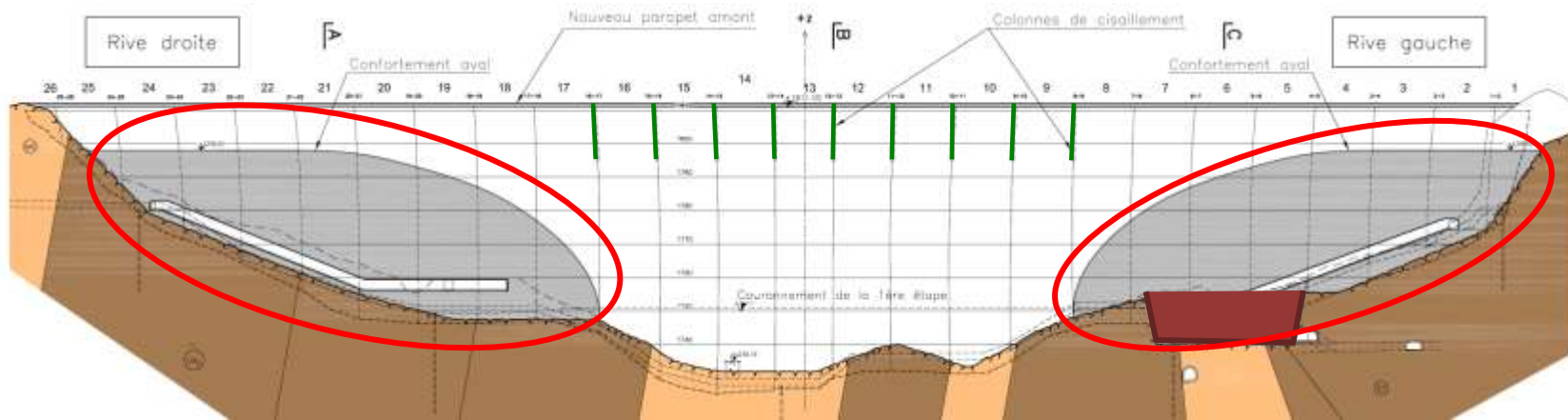
Les solutions



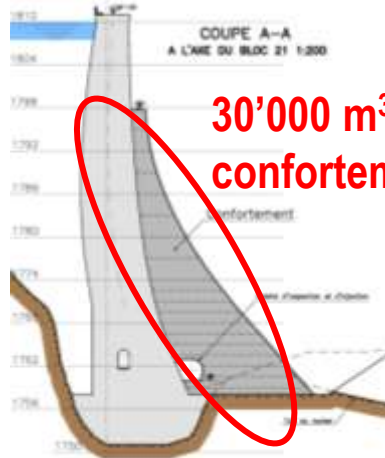


La solution retenue

Durée des travaux: 2008 - 2011

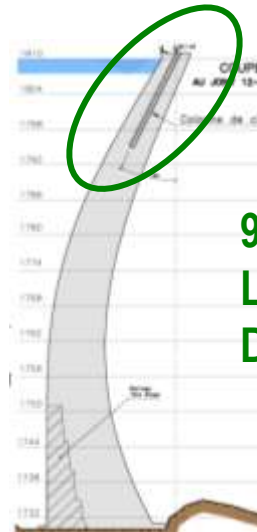


Confortement en béton (2009-2010)

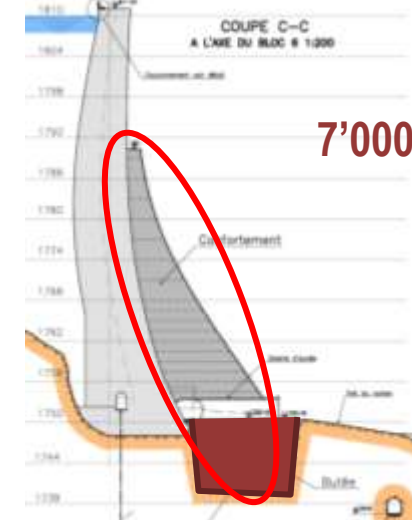


30'000 m³ béton par confortement

Colonnes de cisaillement (2008-2009) Butée rive gauche (2008)



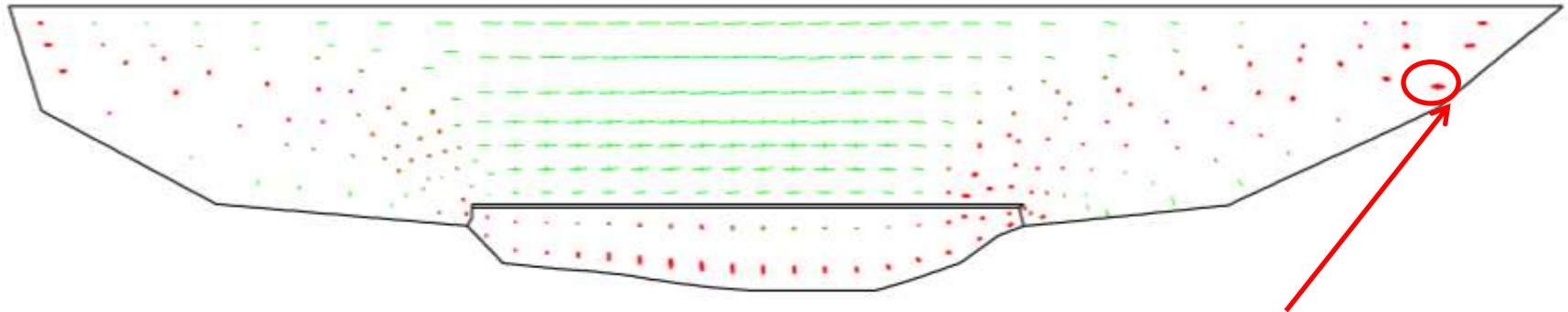
**9 colonnes
L = 16 m
D = 700 mm**



7'000 m³

Calculs statiques:

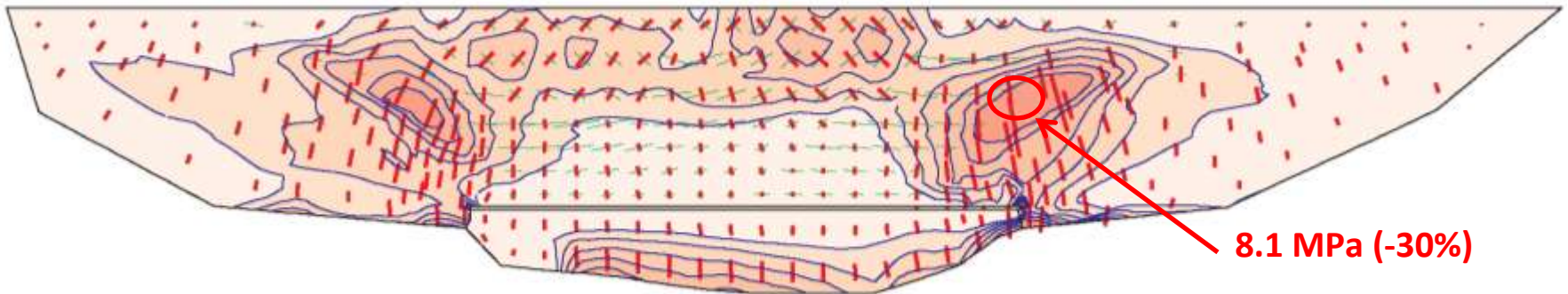
Face amont



3.0 MPa (-45%)

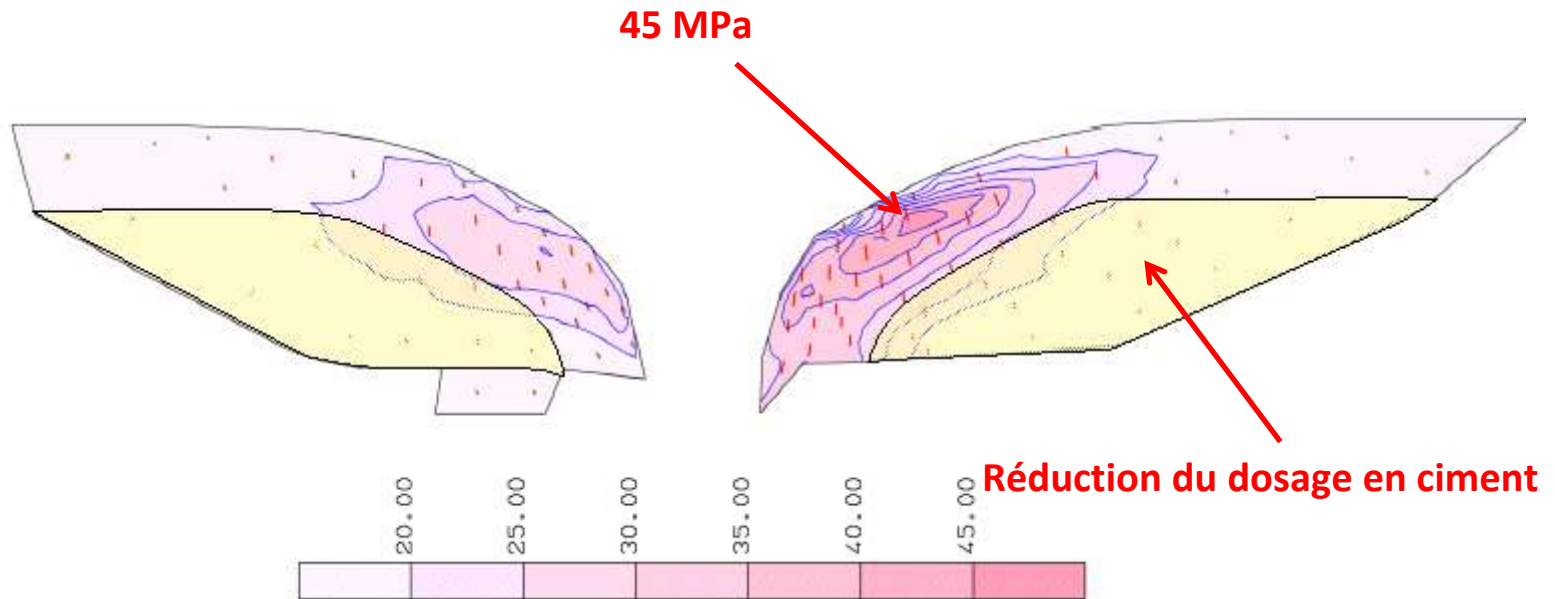
Calculs dynamiques:

Face avale



8.1 MPa (-30%)

Résistance requise



Béton	28 jours [MPa]	365 jours [MPa]
Type I	30	50
Type II	25	37

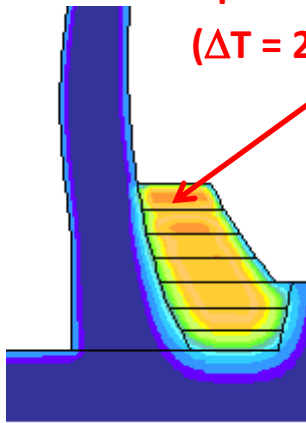
	<u>Type I</u>	<u>Type II</u>
Cement:	190 kg/m ³	175 kg/m ³
Cendres volantes:	110 kg/m ³	125 kg/m ³
Plastifiant:	1.2%	1.2%
Entraîneur d'air:	0.8%	0.8%

Hypothèse: début le 1^{er} Mai

Température du béton frais: 10°C

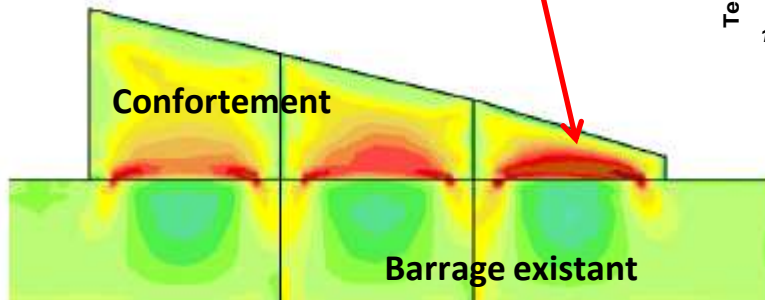
Levée de 1.5 m – temps de recouvrement: 4 jours

Après 30 jours: 37 °C
($\Delta T = 27^\circ\text{C}$)

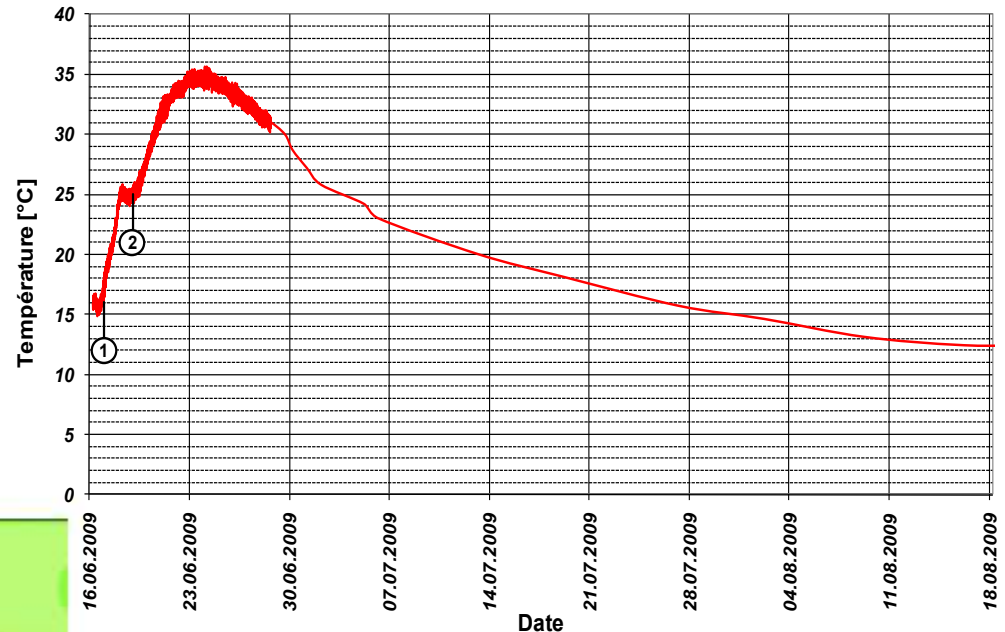


- ⇒ Post-cooling (tuyaux refroidissement chaque 3m)
- ⇒ Thermomètres dans les levées (each 9 m)
- ⇒ Élévation réelle de température: $\Delta T = 20\text{-}22^\circ\text{C}$

Après 720 jours: $\sigma_t = 1.8 \text{ MPa}$



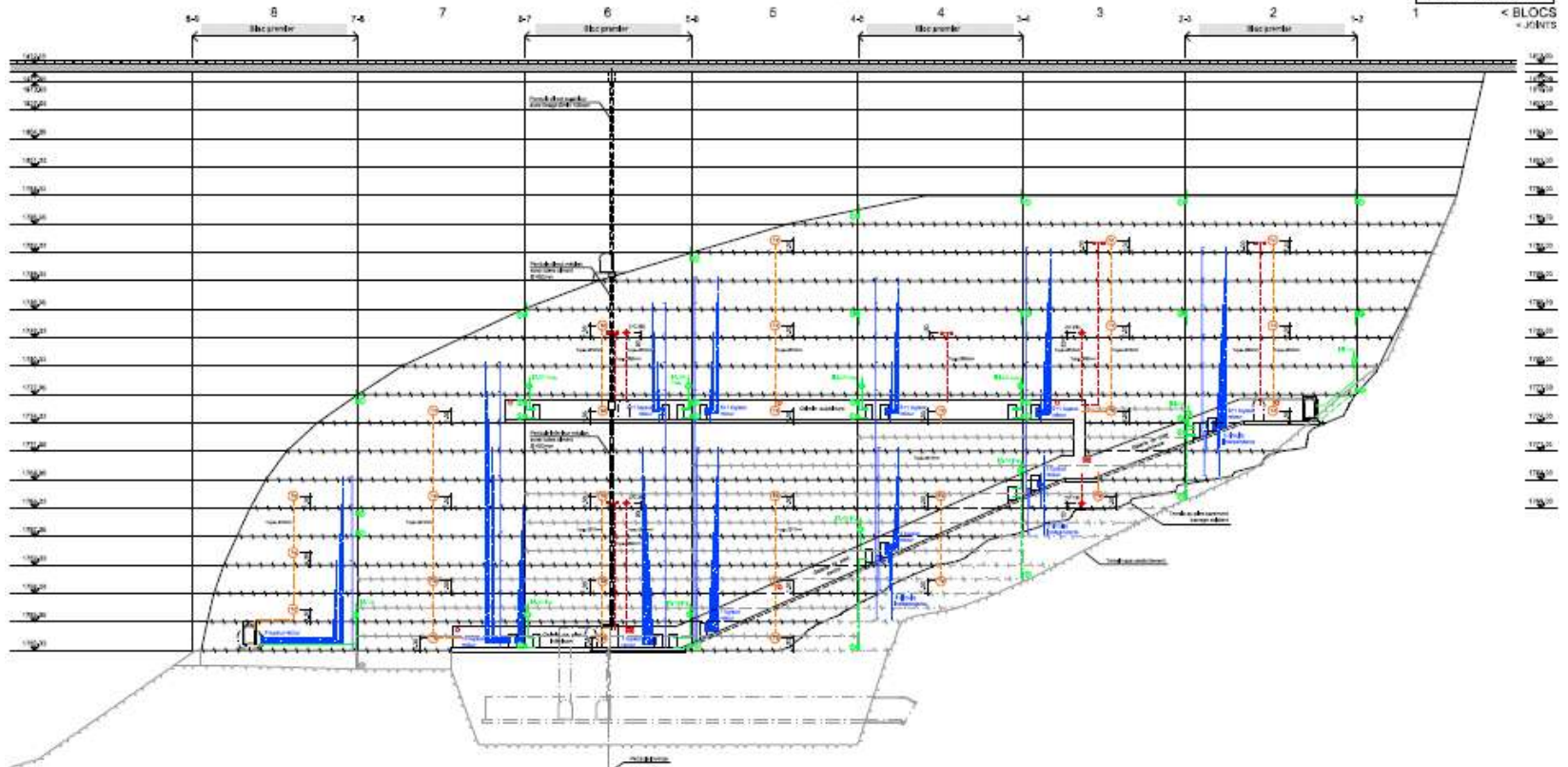
Bloc 19 - Temperature at 1757.30 (Lift 29)



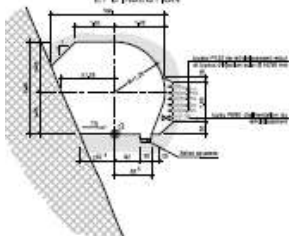
DEVELOPPEE AVAL 1:200

RIVE GAUCHE

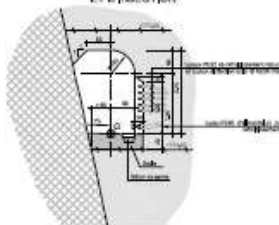
< BLOCS
< JOINTS



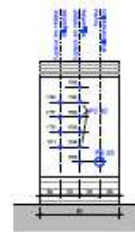
GALERIE DE PIED 1:50
COUPE TYPE SUR NICHE DE REFOURCISSEMENT
ET D'INJECTION



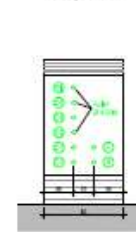
GALERIE DE VISITE SUPERIEURE 1:50
COUPE TYPE SUR NICHE DE REFOURCISSEMENT
ET D'INJECTION



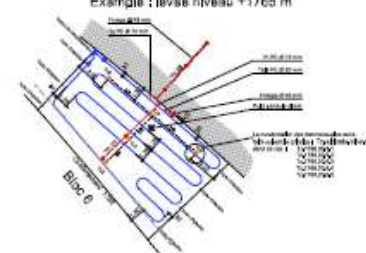
Principe d'organisation de niche
de refourcissement



Principe d'organisation de niche
d'injection

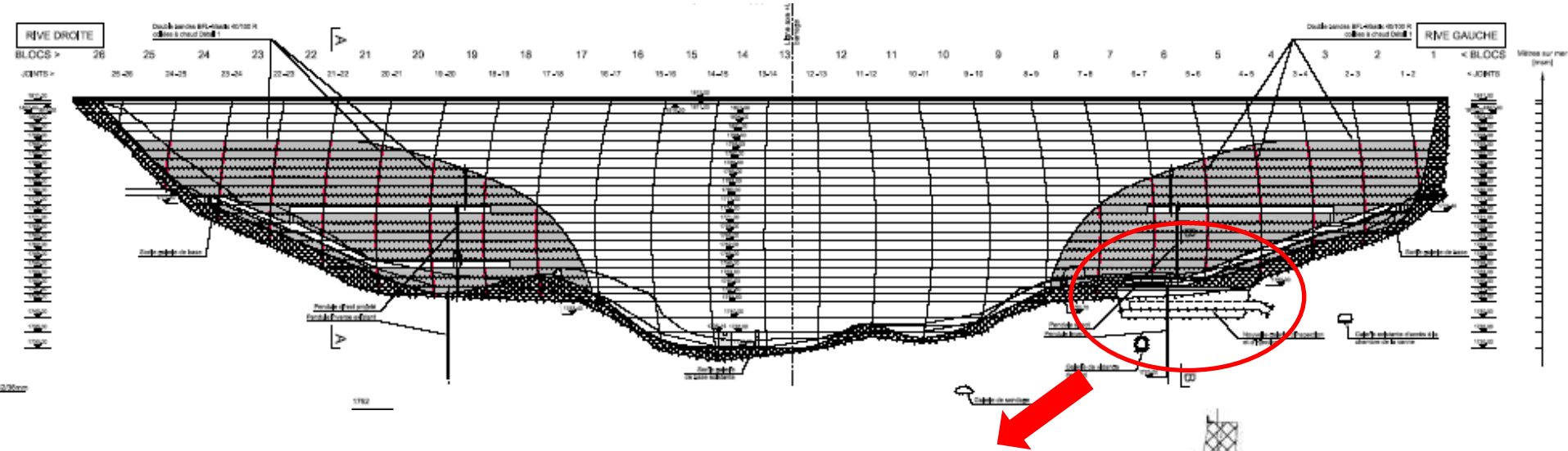


VUE EN PLAN TYPE
DE L'EQUIPEMENT D'UNE LEVEE
Exemple : levée niveau +1765 m









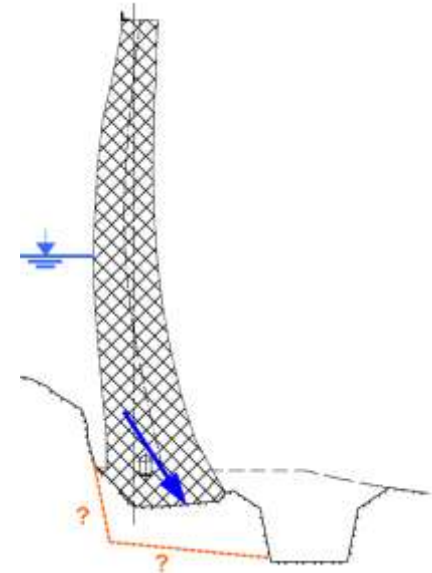
Calculs EF - Résultats:

Calculs statiques:

FS = 2.73 ~~1.18~~

Calculs dynamiques:

FS = 1.31 ~~0.83~~



Le déroulement des travaux

2008





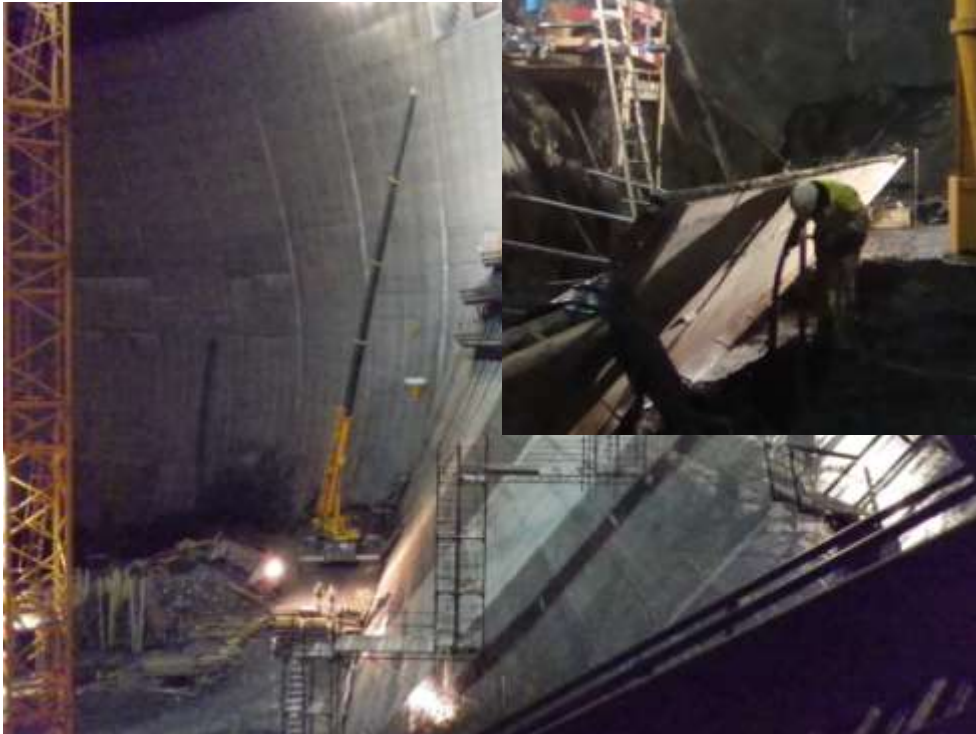




2009



2010





**2008-
2010**

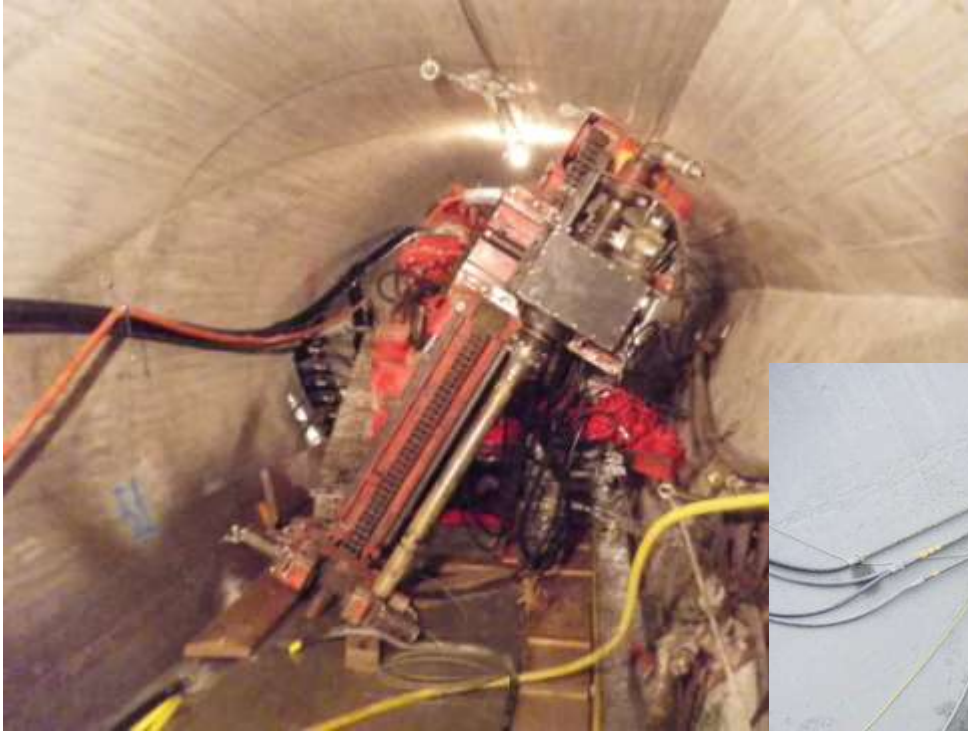


2008-2010



2010 RD – 2011 RG





2010



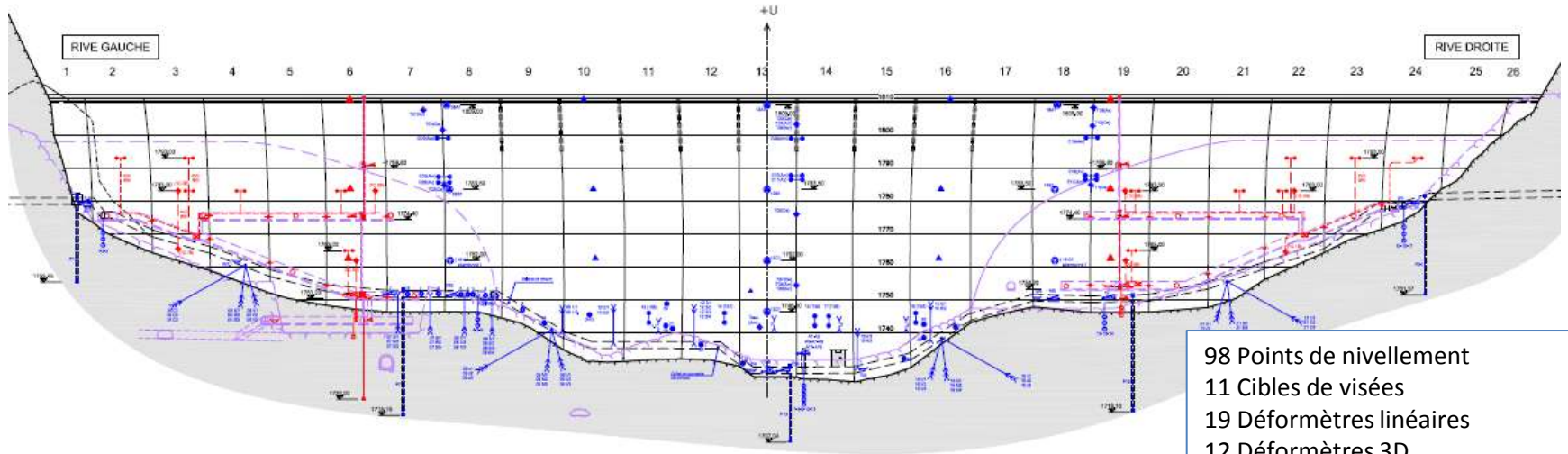




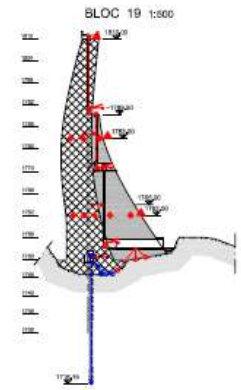
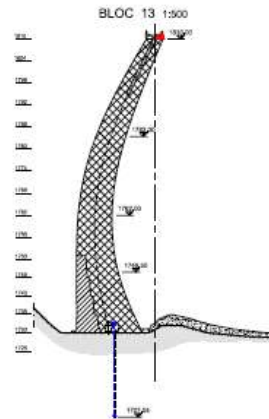
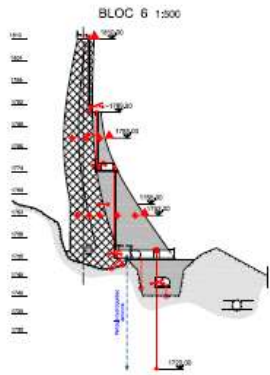


Instrumentation et remise en eau

ELEVATION AMONT 1:500



- 98 Points de nivellement
- 11 Cibles de visées
- 19 Déformètres linéaires
- 12 Déformètres 3D
- 22 Télédilatromètres
- 12 Extensomètres dans joint Prepak
- 49 Extensomètres en rocher
- 4 Extensomètres télétransmis
- 29 Clinomètres
- 20 Débits d'infiltration (jaugeage)
- 34 Contrôle des fissures
- 67 Piézomètres
- 6 Pendules directs
- 9 Pendule inverses
- 10 Pendules optiques
- 19 Prismes 360°
- 40 Téléthermomètres
- 11 Inclinomètres
- TOTAL: 472 mesures et appareils**
- => 1 pièce / 650 m³ !**



- LEGENDE INSTRUMENTATION ETAT ACTUEL:**
- ◆ Téléthermomètre
 - Y Extensomètre dans le parement amont
 - ▲ Télédilatromètres (E = Téléthermomètre)
 - ∇ Eau d'infiltration
 - Pise de pression joint base
 - Pise de pression joint prépak et fissure
 - ◆ Pendule Inversé
 - ◆ Extensomètre béton-rocher
 - ◆ Extensomètre au joint pré
 - ◆ Clinomètre
 - ◆ Piézomètre
 - ◆ Rocromètre
 - ◆ Cible de visée
 - ◆ Cible + prisme
 - ◆ Prisme
- LEGENDE NOUVELLE INSTRUMENTATION:**
- ◆ Thermomètre (10 x 18)
 - ◆ Niveau d'arrêt dans le parement amont et le barrage
 - ∇ Eau d'infiltration
 - ◆ Piézomètre
 - ◆ Clinomètre
 - ◆ Pendules
 - ◆ Pendules Inverses
 - Déformètre 3D
 - ◆ Déformètre linéaire (joints)
 - ◆ Télédilatromètre
 - ◆ Support pour prisme
 - ◆ Coffret de connexion élec
- LES INSTRUMENTS PREPACT SONT ALIMENTES PAR UN SYSTEME DE TELETRANSMISSION**
- ◆ Inclinomètres Modis
 - ◆ Capteur de fiss
 - ◆ Télédilatromètre
 - ◆ Téléthermomètre

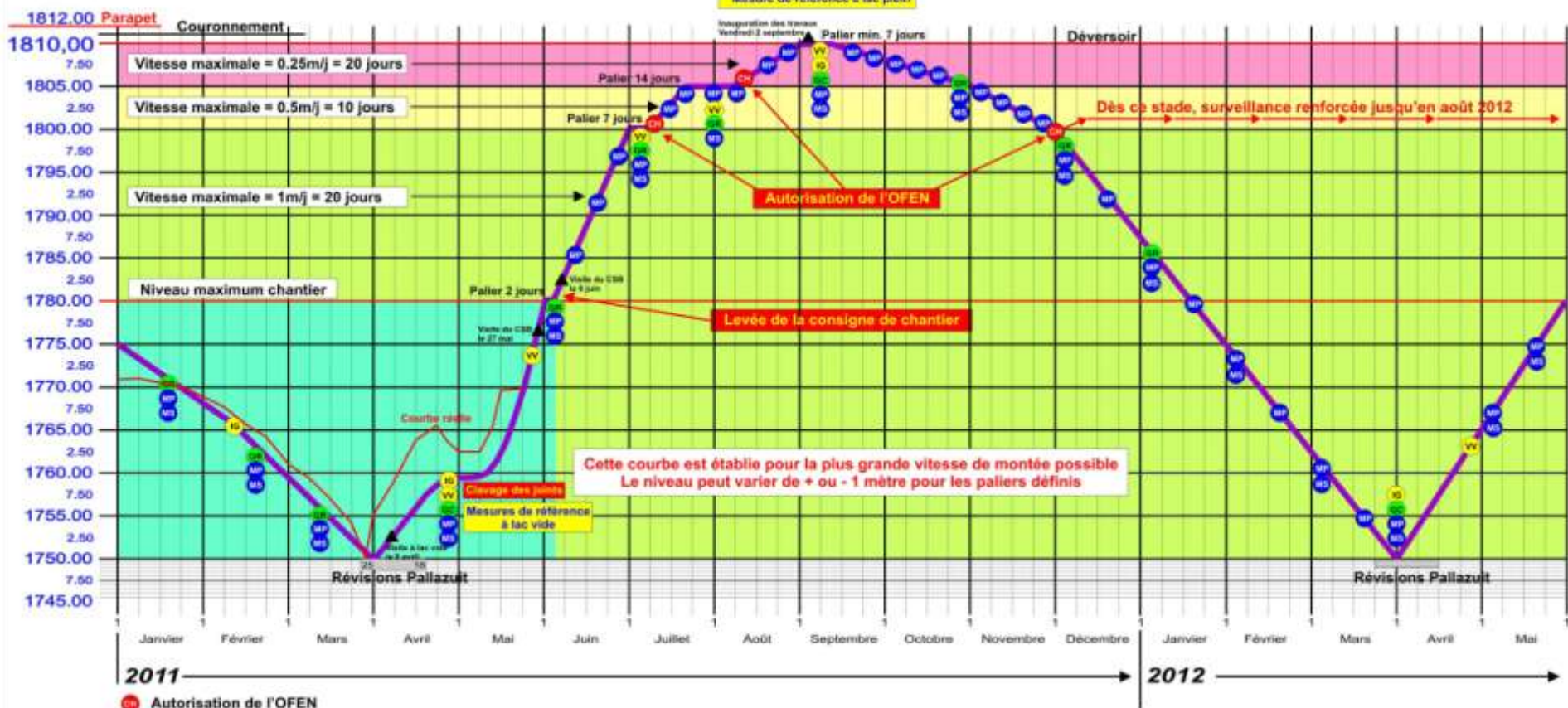


Barrage des Toules

Programme de remplissage et de surveillance 2011-12

Etude : Stucky
Approbation: OFEN
Gestion : Stucky/FGB

Altitudes



2011

2012

OR Autorisation de l'OFEN

IO Inspection des galeries

VV Essai des vannes de la vidange

GC Géodésie complète Mesures sur prismes avec rattachement aux piliers, durée 2 à 3 jours

GR Géodésie réduite Mesures sur prismes depuis P1-P2-P3, durée 1 jour

MP Mesure principale Pendules, visées verticales b.13,déformètres et télédilatomètres du confortement, toutes les prises de pression, tous les débits d'infiltration, tous les thermomètres, contrôle visuel de tout

MS Mesure secondaire Clinomètres,télédilatomètres du barrage existant, tous les extensomètres, rocmètres, pendule hydro bloc 6 tous les deux mètres

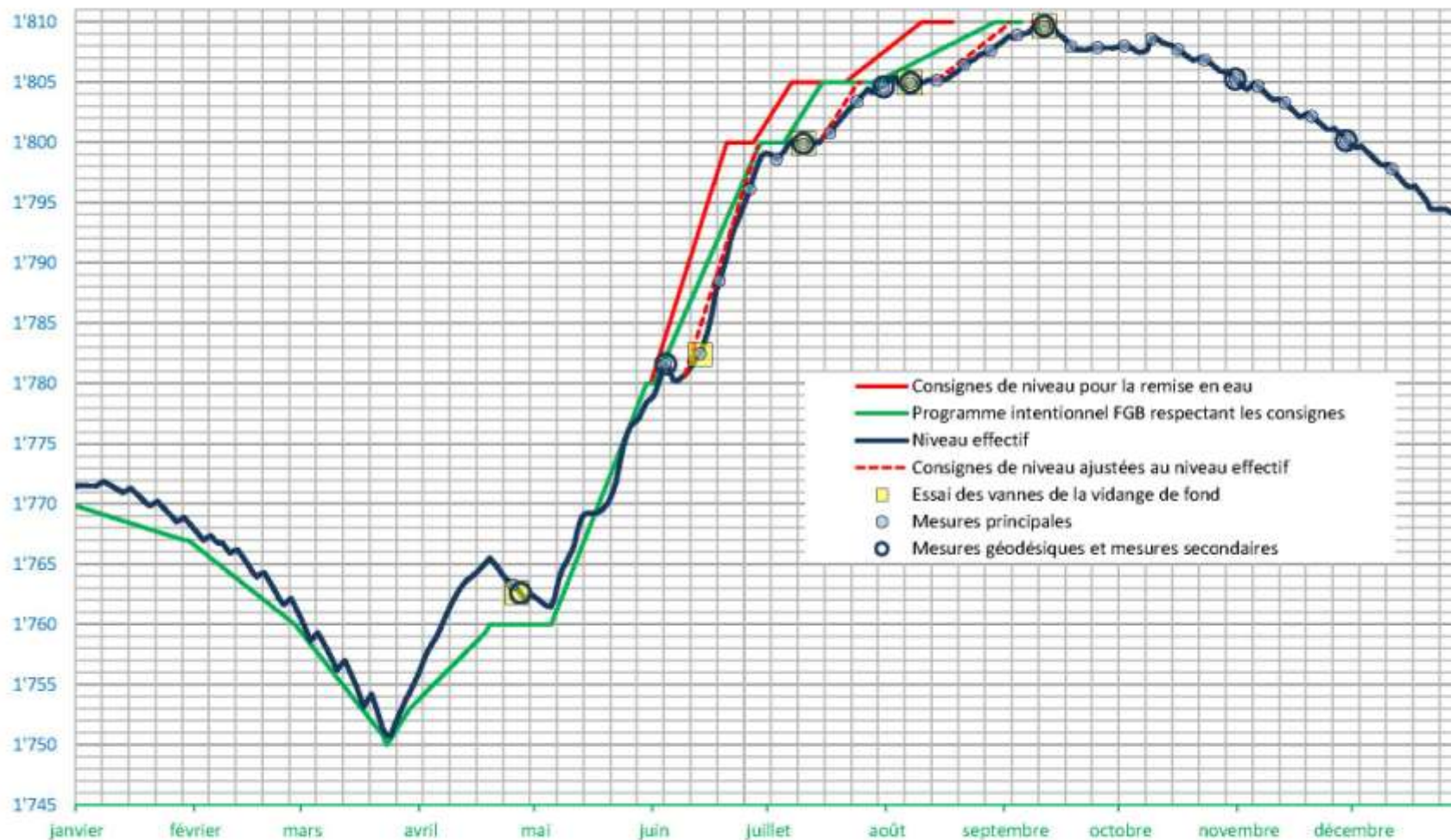
Z:\122\ProjetConfortbarrage\Auscultation\Courbederemplissage.cdr

Version du 14.02.2011

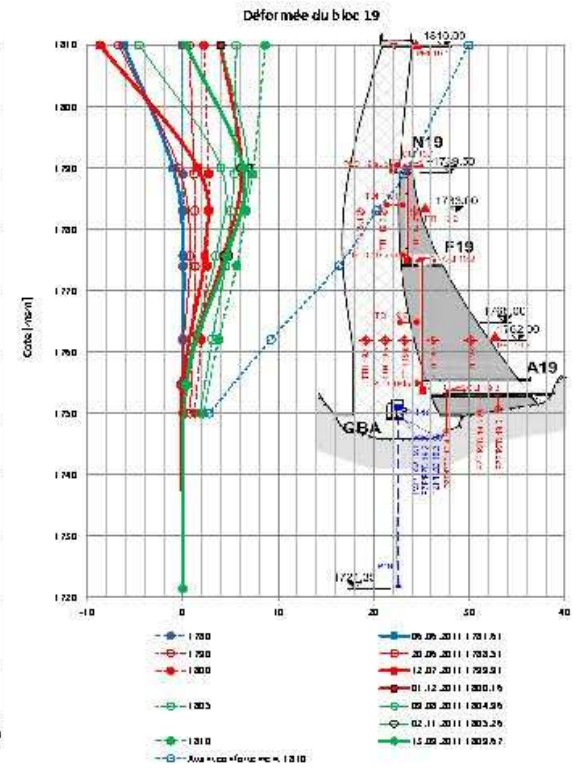
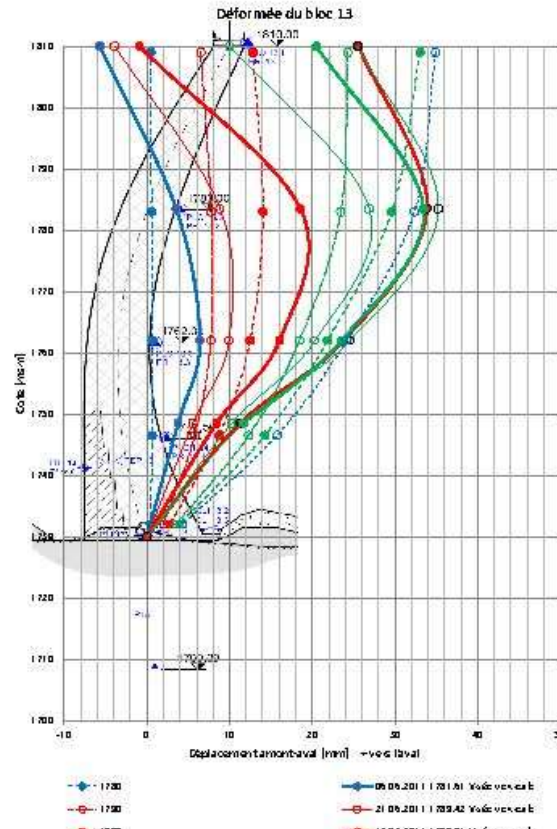
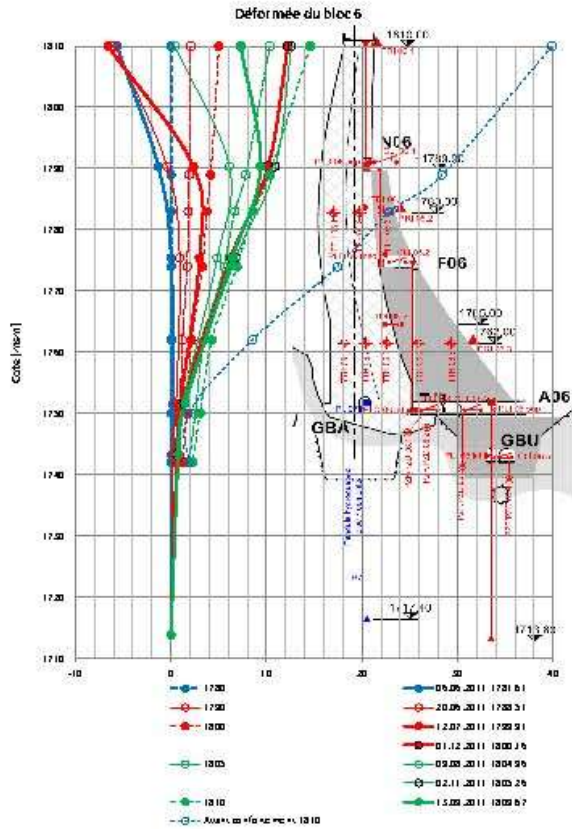
Voir plan 411 C
et listing
d'appareillage

Date : 14.02.11
Référence : Mx

Evolution du niveau de la retenue en 2011



Evolution des déplacements radiaux mesurés par pendules et par visées verticales



Fonction Métrique du Grand-St-Bernard

Commune de Bourg-St-Pierre

BARRAGE DES TOULES

MISE EN EAU

ETAT 111102

Annexe 5A

Déplacements planimétriques Coupe horizontale, Cote 1810 (A)

SITUATION 1 : 1/1000



VECTEURS DE DEPL. 2 : 1



ELLIPSES DE CONFIDANCE 2 : 1



Etat de référence: Etat construit de 2011
Etat de mesure: 110602, 110712, 110802, 110912, 111012, 111102

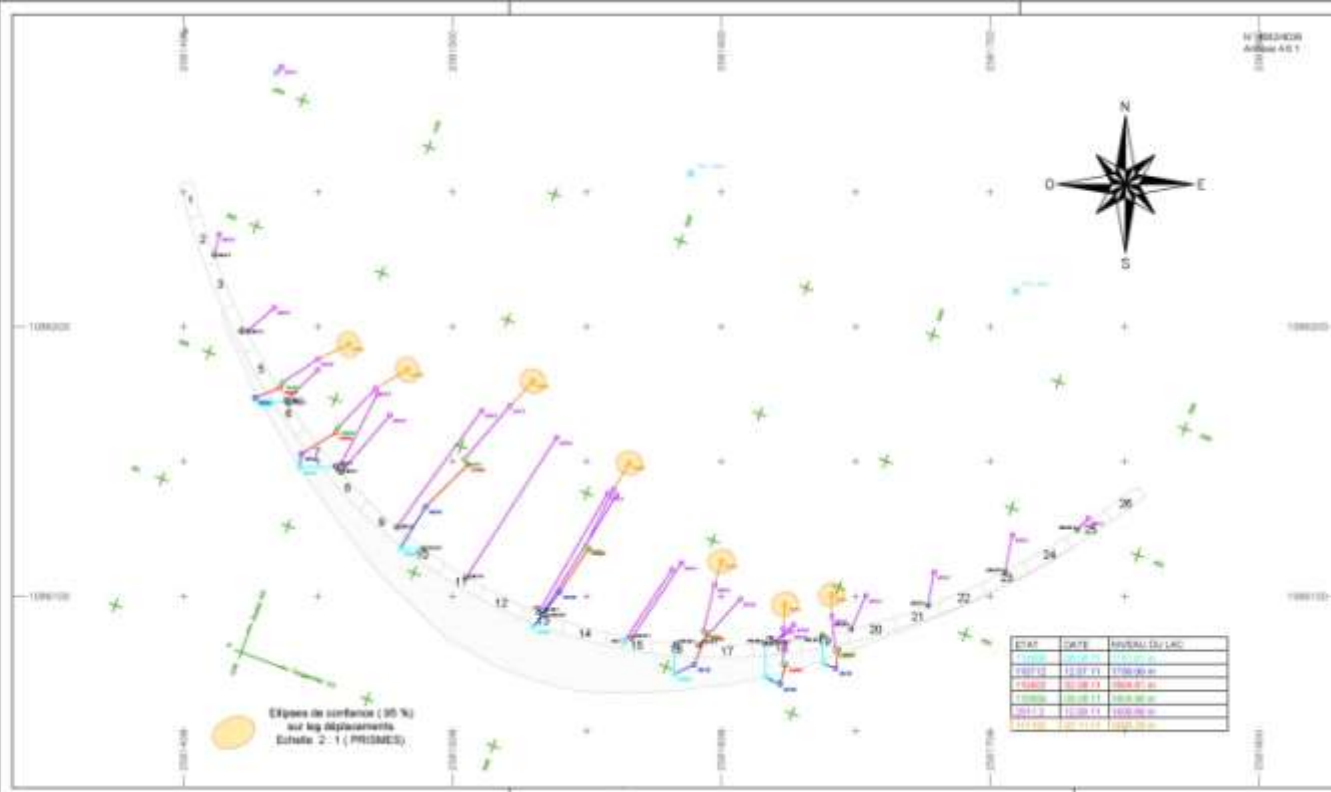
Systeme de coordonnées nationales N5000 (S / Y)

Systeme de coordonnées locales (O / V)

Primes

GEOBAT SA
ING. BAPTISTE FROST
Généraliste-Plan
Rue du Montgr 20a
1000 Sion

Rev. novembre 2011



	Cible 1810	Cible 1783.5	Cible 1762
Différence entre la mesure de juillet et de décembre à la cote 1800	27 mm	15 mm	8 mm
Amplitude annuelle de l'effet thermique selon analyse statistique [2] p. 50	28.2 mm	18.5 mm	11.5 mm



Merci de votre attention

