

Barrages et Mécanique des roches

Évolutions du savoir dans les années autour de
MALPASSET

Pierre Duffaut (EDF 1948-1977)

Réunion commune du 23 mai 2013

COMITE FRANCAIS DES BARRAGES ET RESERVOIRS

- Pourquoi des barrages
- Construction
- Nouveautés
- Environnement
- Documentation
- Accueil
- Liens
- Comité français

Nouveautés

Pourquoi des barrages ?

- Qu'est qu'un barrage ?
- Comment fonctionne un barrage ?
- Un peu d'histoire...

Construction du barrage

- Projet, chantier et mise en eau
- Types de barrages

Environnement

- Charte environnementale

CFBR

Documentation

- Données, références

Liens

- Liens vers

RECHERCHE

Comité Français de Mécanique des Roches

Bienvenue sur le site web du CFMR

Problèmes de mécanique des roches liés à la maintenance et à la modernisation des barrages existants (en collaboration avec le CFBR), 23 mai 2013 - Paris - CNAM

Le mot du Président

C'est avec un grand plaisir que nous vous accueillons sur le site web du Comité Français de Mécanique des Roches (CFMR). Vous y trouverez de nombreuses informations sur le fonctionnement de notre comité, sur les manifestations passées et à venir, sans oublier des éléments de son histoire. Il est en effet important, au cours de cette période de mutation rapide de notre société, de conserver en mémoire les préceptes qui ont conduit nos aînés à se réunir pour fonder notre communauté d'intérêt scientifique et technique.

Les défis qui nous sont lancés en ce début de XXI^{ème} siècle sont nombreux : l'urbanisme se développe (de plus en plus souvent en souterrain), la protection environnementale devient une priorité, la gestion des risques naturels et anthropiques demeure une nécessité et la question de la gestion de la ressource énergétique, face à une demande en constante augmentation, devient vitale. Autant de questions pour lesquelles la mécanique des roches se doit d'apporter des réponses.

Les évolutions à venir dépendent à mon sens de trois facteurs : D'abord l'innovation technologique, clé du progrès au service de tous, qui ne peut être rapide qu'en capitalisant l'expérience acquise. Indissociablement liée, l'excellence scientifique,

Actualité

des barrages existants (en collaboration avec le CFBR), 21-26 septembre 2013

Symposium Eurock 2013

<http://www.eurock.com>

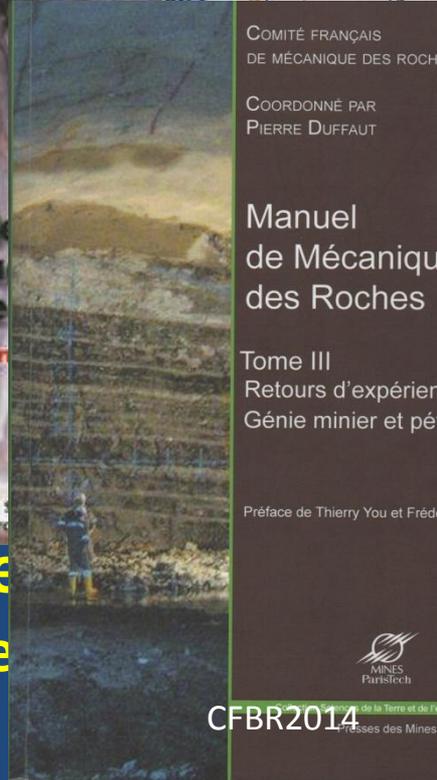
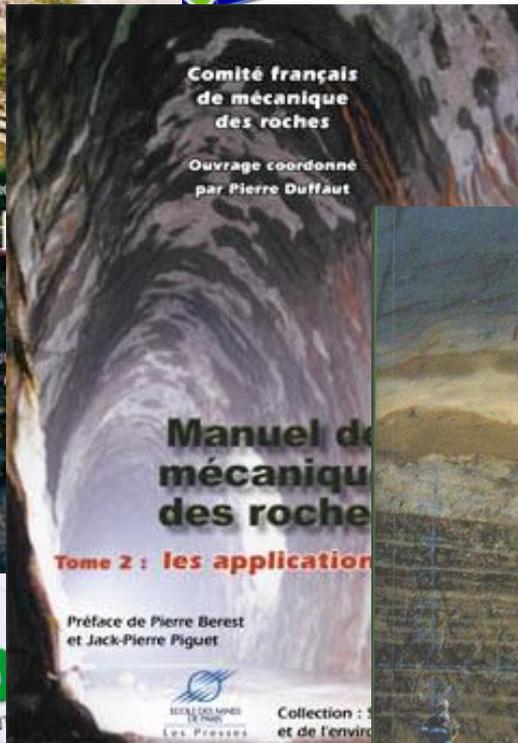
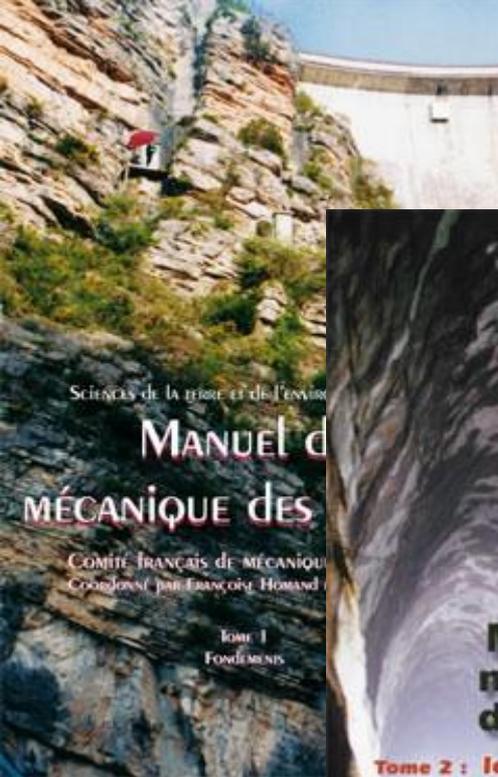
3 octobre 2013

Plusieurs sociétés soutiennent le CFMR parmi lesquelles

Publication

Problèmes de mécanique des roches liés à la maintenance et à la modernisation des barrages existants

Réunion commune du 23 mai 2013



COMITÉ FRANÇAIS
DE MÉCANIQUE DES ROCHES

COORDONNÉ PAR
PIERRE DUFFAUT

Manuel de Mécanique des Roches

Tome IV
Retours d'expériences
en Génie civil

BARRAGES

VERSANTS
Révisés de Thierry You et Frédéric Pellet

TUNNELS

AUTOROUTES



Collection Sciences de la Terre et de l'environnement

Presses des Mines

Problèmes
liés à la maintenance et

MARÈGES



André Coyne Joseph Duffaut



Modèle hydraulique
janvier 1932
maintes fois
modifié pour
l'étude des
évacuateurs de
cruie et du lit
de la Dordogne
à l'aval du
barrage

CFBR2014

archives du barrage grâce à Bernard Goguel et Cécile Barbin



**Estany LANOS
1956**

**Barrage du LANOUX
1956-60
et galerie en charge**





Est

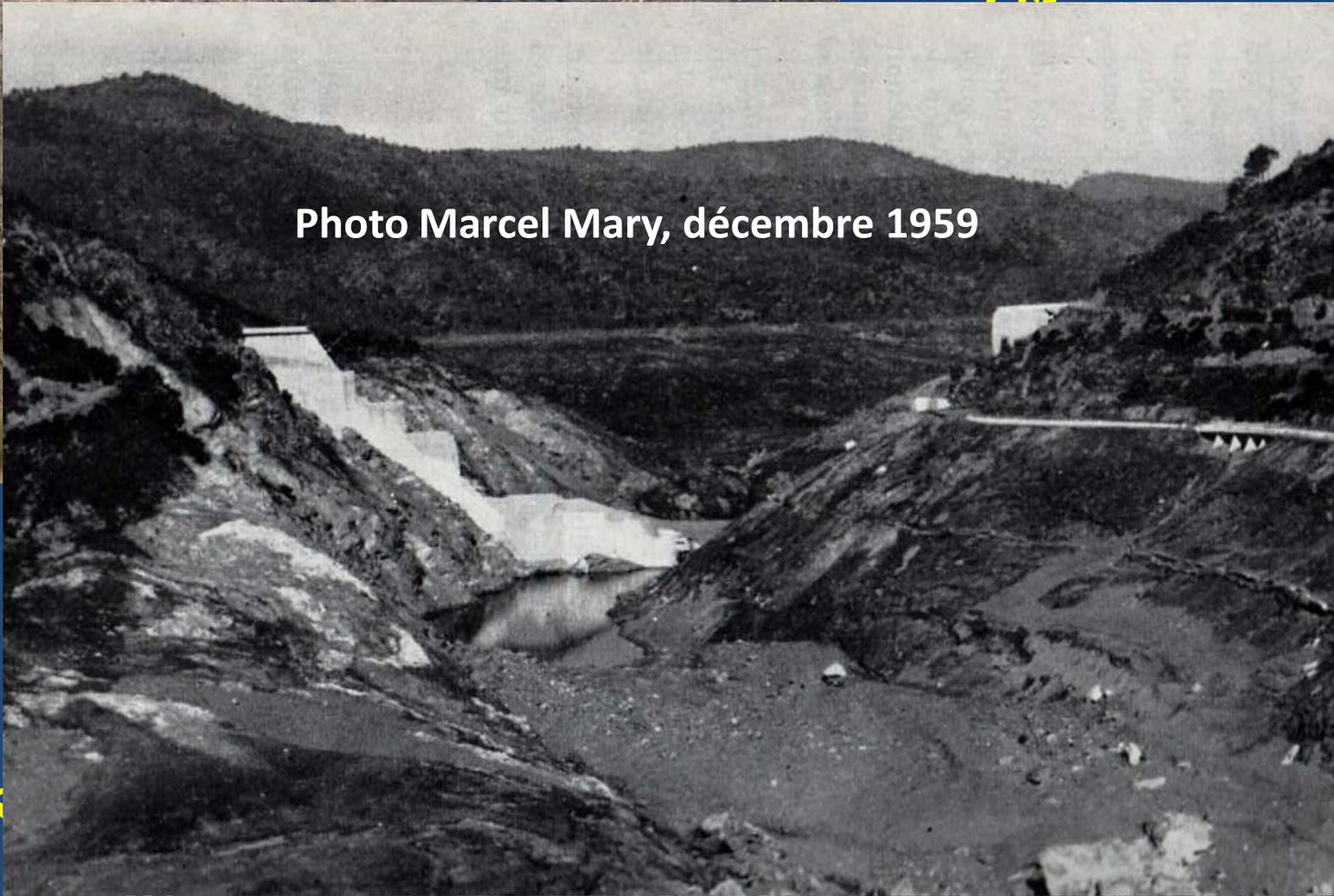


Photo Marcel Mary, décembre 1959

Barrage
et galerie



LA MÉCANIQUE
DES
ROCHES
APPLIQUÉE AUX TRAVAUX PUBLICS

PAR
J. TALOBRE
Ingénieur civil E.N.P.C.
Ingénieur en chef à l'Électricité de France

PRÉFACE DE
D. OLIVIER-MARTIN
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Directeur de l'Équipement de l'Électricité de France

La mécanique des roches appliquée aux travaux publics
par J. TALOBRE, Dunod, **1957**, 444 pages
Préface de Didier OLIVIER-MARTIN

La mécanique des roches et ses applications
par J. TALOBRE, Dunod, **1967**, 444 pages
deuxième édition revue et augmentée

Pierre DUFFAUT

INTRODUCTION AUX PROBLÈMES
DE FONDATION DES BARRAGES
SUR LE ROCHER

Extrait de la REVUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE
— Juin — N° 6 —

1963

19 608
Société Nouvelle des Imprimeries
de la Loire Républicaine
10, place Jean-Jacques, 45
Saint-Etienne (Loire)
1963

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

INTERNATIONAL COMMISSION
ON LARGE DAMS

Pierre LONDE

LA MÉCANIQUE DES ROCHES
ET LES FONDATIONS
DES GRANDS BARRAGES
*ROCK MECHANICS
AND
DAM FOUNDATION DESIGN*

1973



Supplément aux
ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS
VINGT-DEUXIÈME ANNÉE ■ JUIN 1969 ■ N° 258

Série : SOLS ET FONDATIONS (72)
CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
SÉANCE DU 25 JUIN 1968
SOUS LA PRÉSIDENTIE DE **Pierre HABIB**,
Directeur Adjoint du Laboratoire de Mécanique des Solides de l'École Polytechnique

LE RÔLE DES ESSAIS DE MÉCANIQUE DES ROCHES
DANS L'ÉTUDE DES APPUIS DE BARRAGES

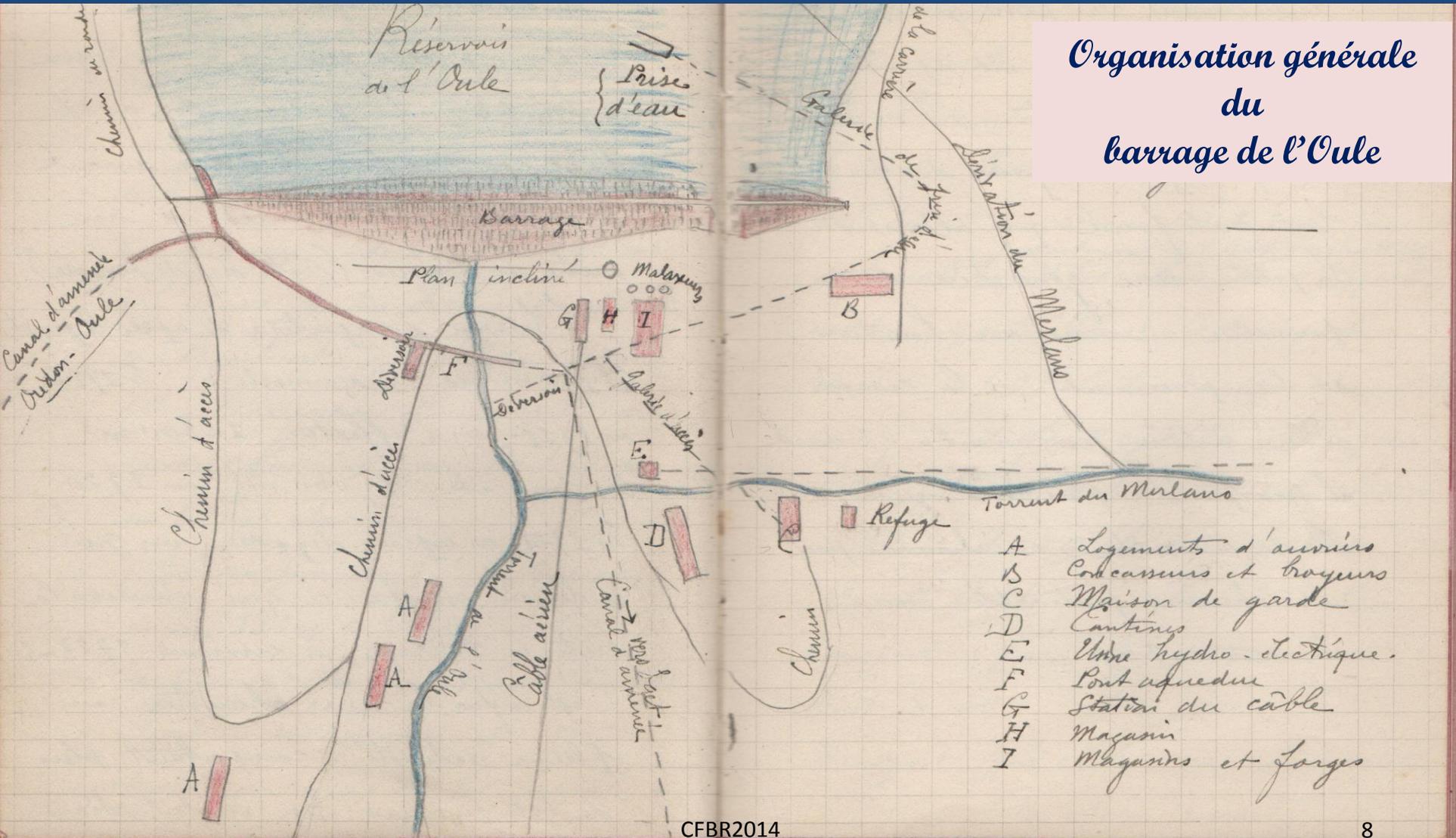
Pierre LONDE Jean BERNAIX

1968

**Pierre HABIB, Francis SABARLY
Bernard SCHNEIDER
Vincent MAURY
Claude LOUIS etc. etc.**

Duffaut François Marie Joseph Jean X 19 spéciale

Ingénieur-élève à l'École d'application des Ponts et Chaussées, en mission à Tarbes
pages 21bis et 22 du Carnet n° 1, août 1921



COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES
de la Conférence Mondiale de l'Énergie
Bureau Central :
51, rue Saint-Georges, Paris-9^e

INTERNATIONAL COMMISSION
ON LARGE DAMS
of the World Power Conference
Central Office :
51, rue Saint-Georges, Paris-9^e

HUITIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DES GRANDS BARRAGES

ÉDIMBOURG, Grande Bretagne

4 - 8 MAI

1964

EIGHTH INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS

EDINBURGH, Great Britain

4 - 8 MAY 1964

COMPTES RENDUS
TRANSACTIONS

VOLUME I

QUESTION N° 28

**Propriétés physiques et
mécaniques du rocher « in situ »**
procédés permettant de **déterminer** ces
propriétés et de les **améliorer**, sous l'angle
particulier de l'établissement du projet et de
la **construction** des grands barrages

59 rapports dont 7 de France

Sur la suggestion de Didier Olivier-Martin
le CFGB a inauguré une démarche consistant à
confier à des groupes de travail des parties de
la question, ici au nombre de quatre :

R 15 Déformabilité du massif rocheux

R 16 Mesures en sondages

R 17 Effets physico-chimiques de l'eau

R 18 Amélioration par injections

plus 3 rapports « individuels », **Monteynard**, par EDF
Talobre (testament), **Bollo** (mesures sismiques)

CONGRÈS DES GRANDS BARRAG



**Pierre
LONDE**



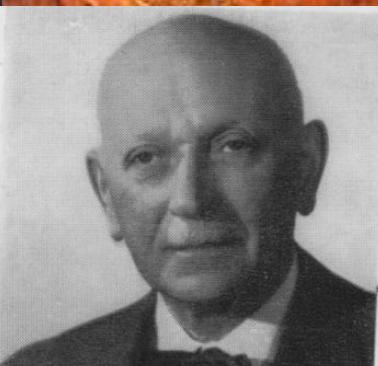
Leopold MÜLLER



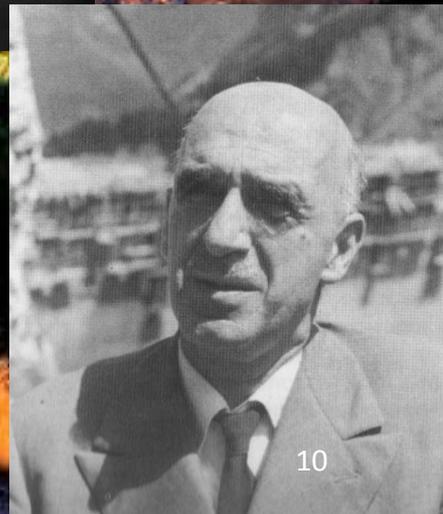
Manuel ROCHA



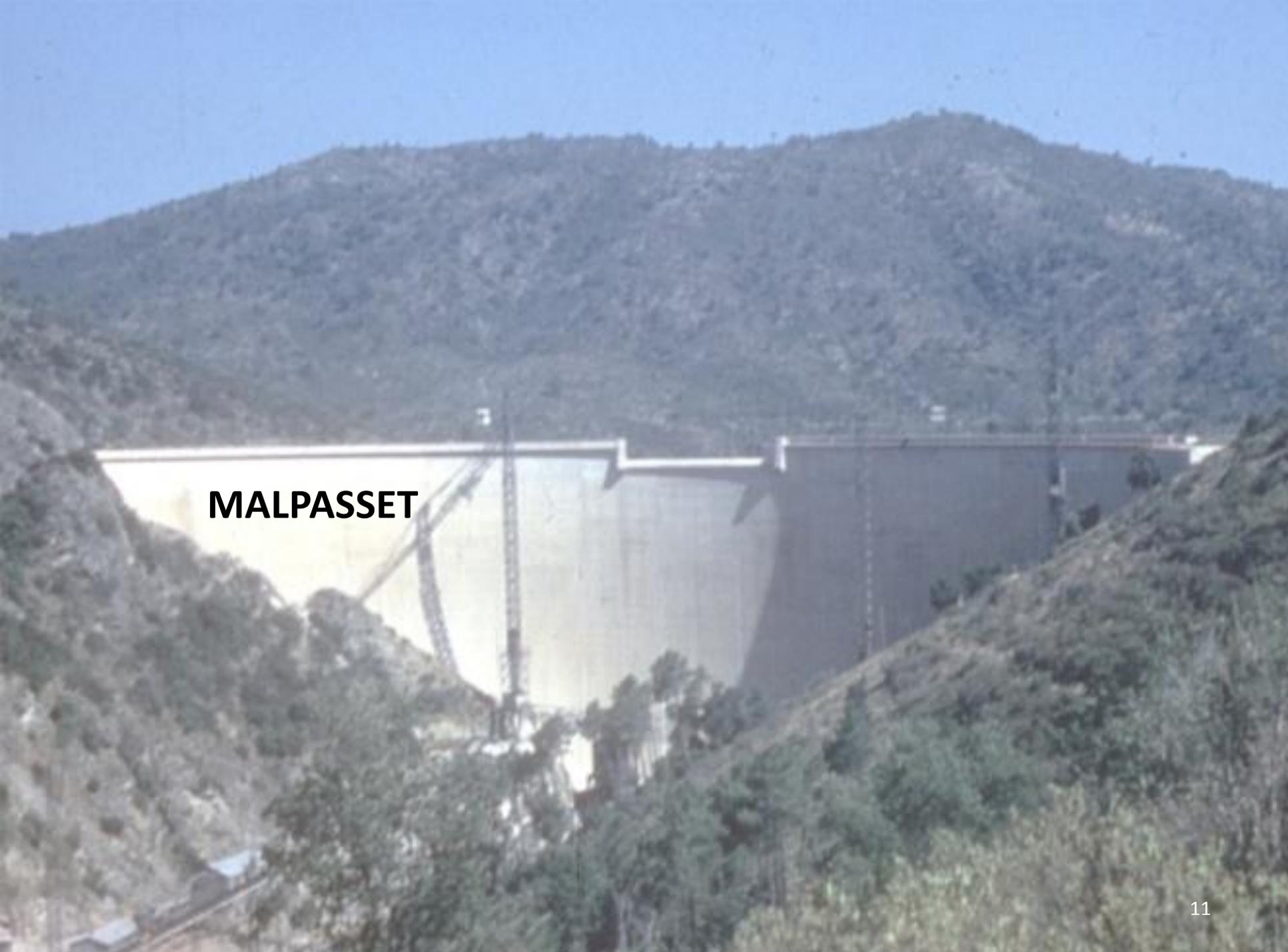
**André
COYNE**



**Marcel
MARY**



Carlos SEMENZA

A photograph of the Malpasset Dam, a large concrete gravity dam with a spillway, situated in a valley between forested hills. The dam is light-colored and has a dark spillway on the right side. A tall tower structure is visible in the center of the dam. The surrounding hills are covered in dense green vegetation. The sky is clear and blue.

MALPASSET



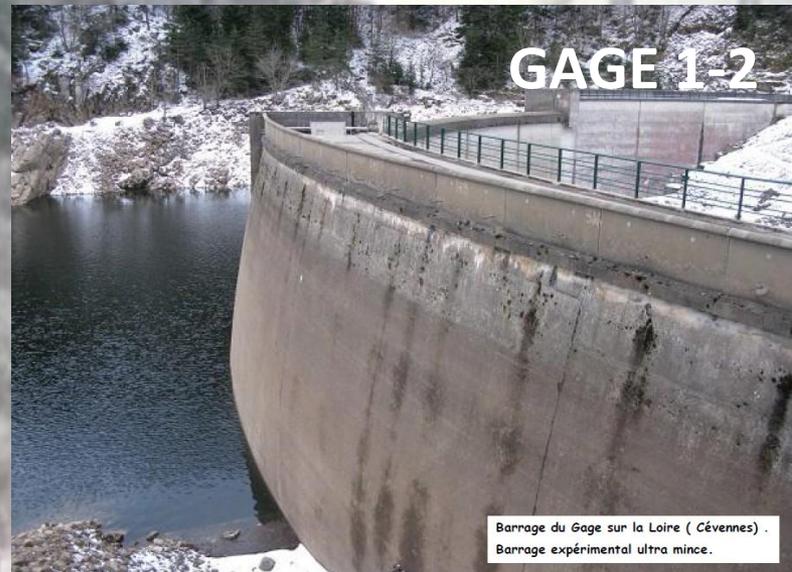
BORT



MONTEYNARD

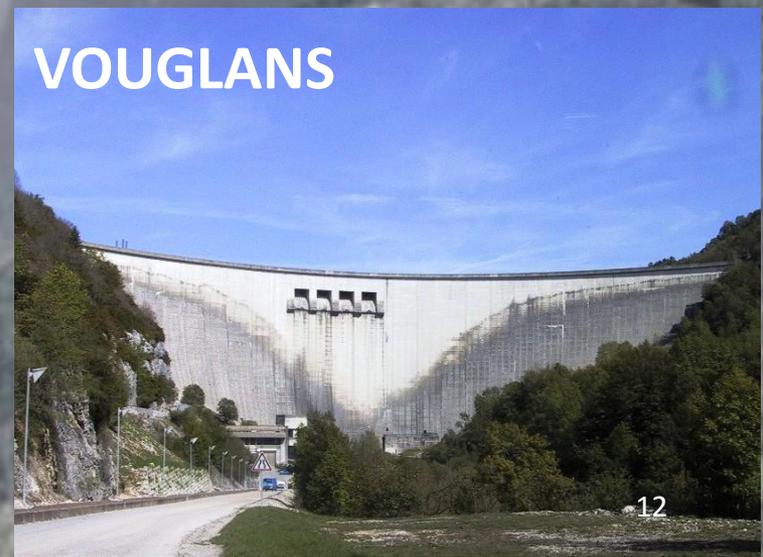


MALPASSET



GAGE 1-2

Barrage du Gage sur la Loire (Cévennes) .
Barrage expérimental ultra mince.



VOUGLANS

nom	hauteur m	capacité hm3	terrain	mise en service	propriétaire	concepteur
LANOUX	48	73	schistes durs	1960	EDF	COB
MALPASSET	65	50	gneiss faillés	1954	Var	COB
MARÈGES	90	47	granite	1935	SHEM	Coyne
BORT	125	477	micaschiste et gneiss	1952	EDF	EDF
MONTEYNARD	155	275	calcaire	1963	EDF	COB
VOUGLANS	130	592	calcaire	1968	EDF	COB
GAGE	42	3,5	granite	1950-1967	EDF	COB

MARÈGES



André COYNE

*la base du mur reposerait partout sur le granit compact,
c'est-à dire sur la meilleure des roches de fondation*

*Rapport géologique 1918
TERMIER, ZURCHER, GLANGEAUD*

MARÈGES

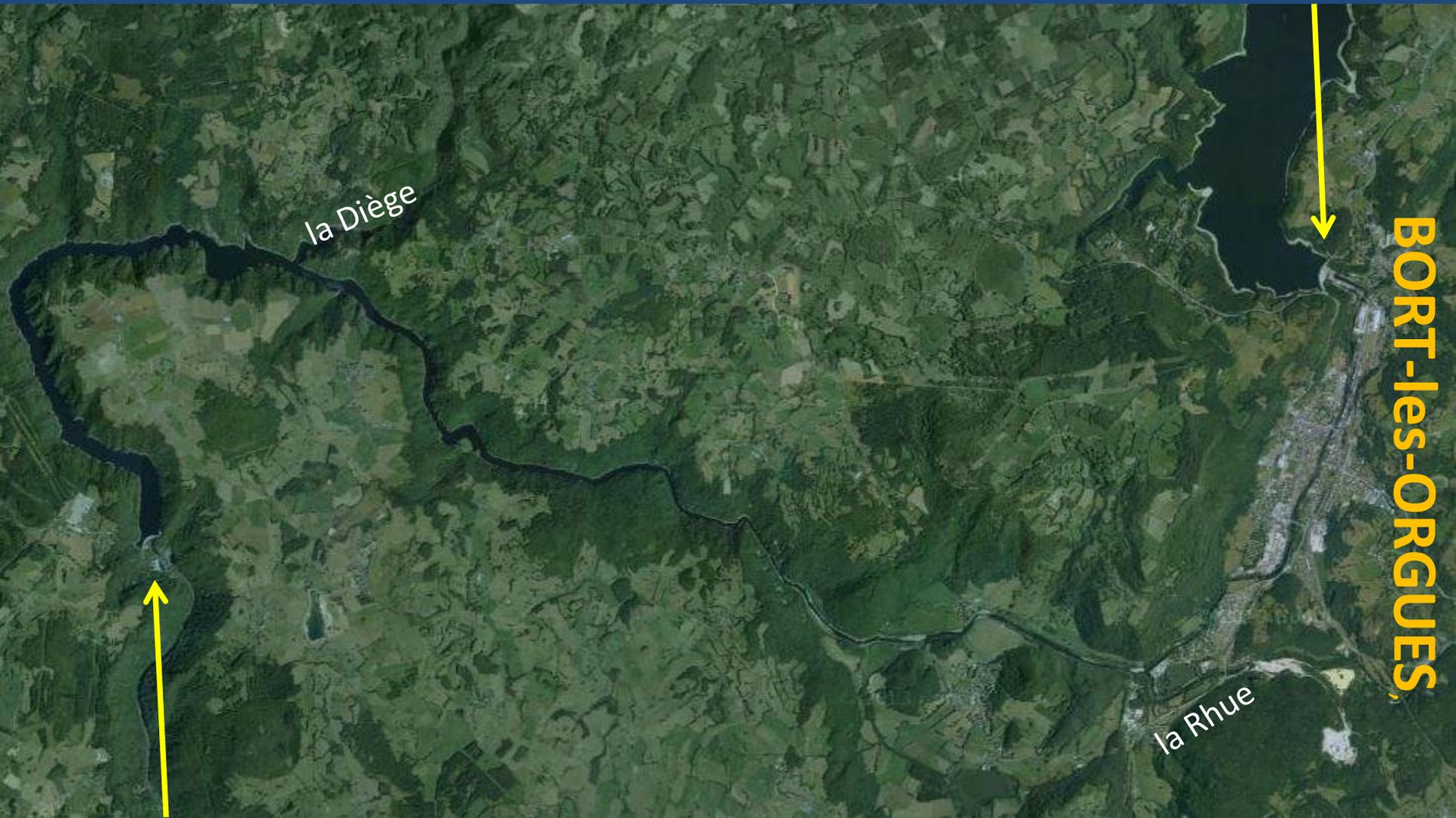


André COYNE

**1953 : un barrage est une authentique ŒUVRE d'ART
il est fait pour durer des siècles
et rendre témoignage de la civilisation de son temps**

La Dordogne entre Bort et Marèges reçoit deux affluents, la Diège et la Rhue

Barrage de BORT



la Diège

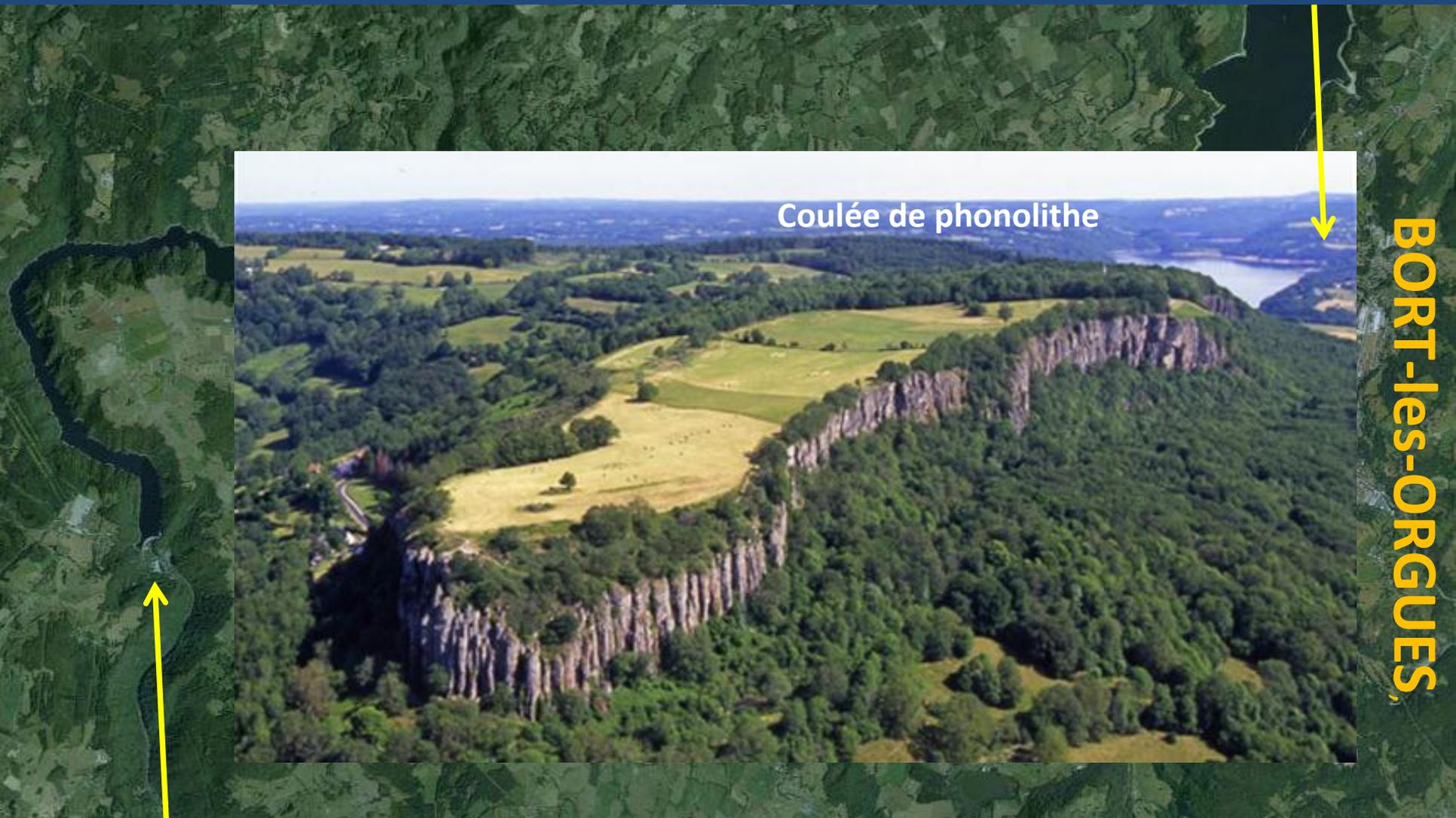
BORT-les-ORGUES

la Rhue

Barrage de MARÈGES

La Dordogne de Bort à Marèges

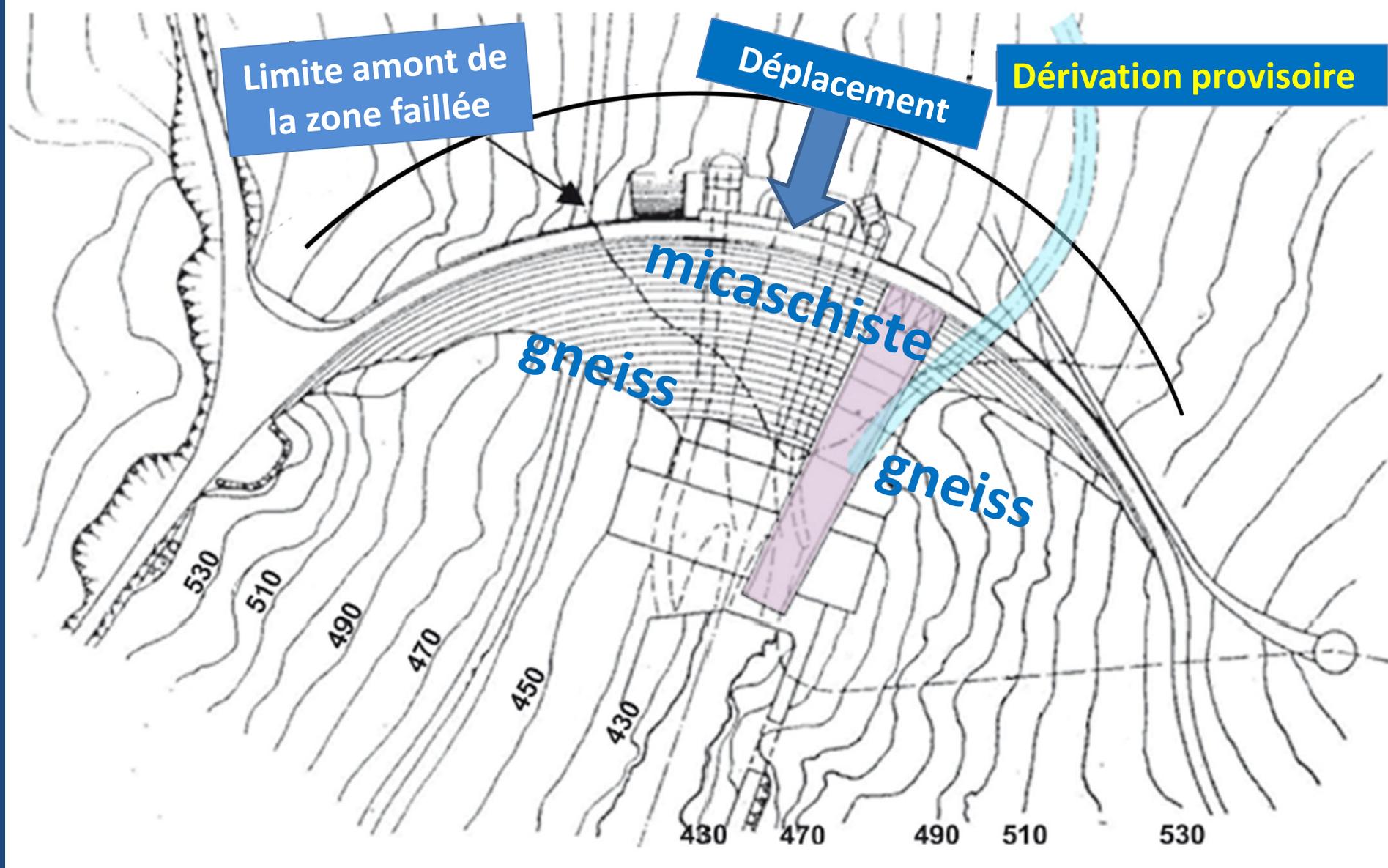
Barrage de BORT



Coulée de phonolithe

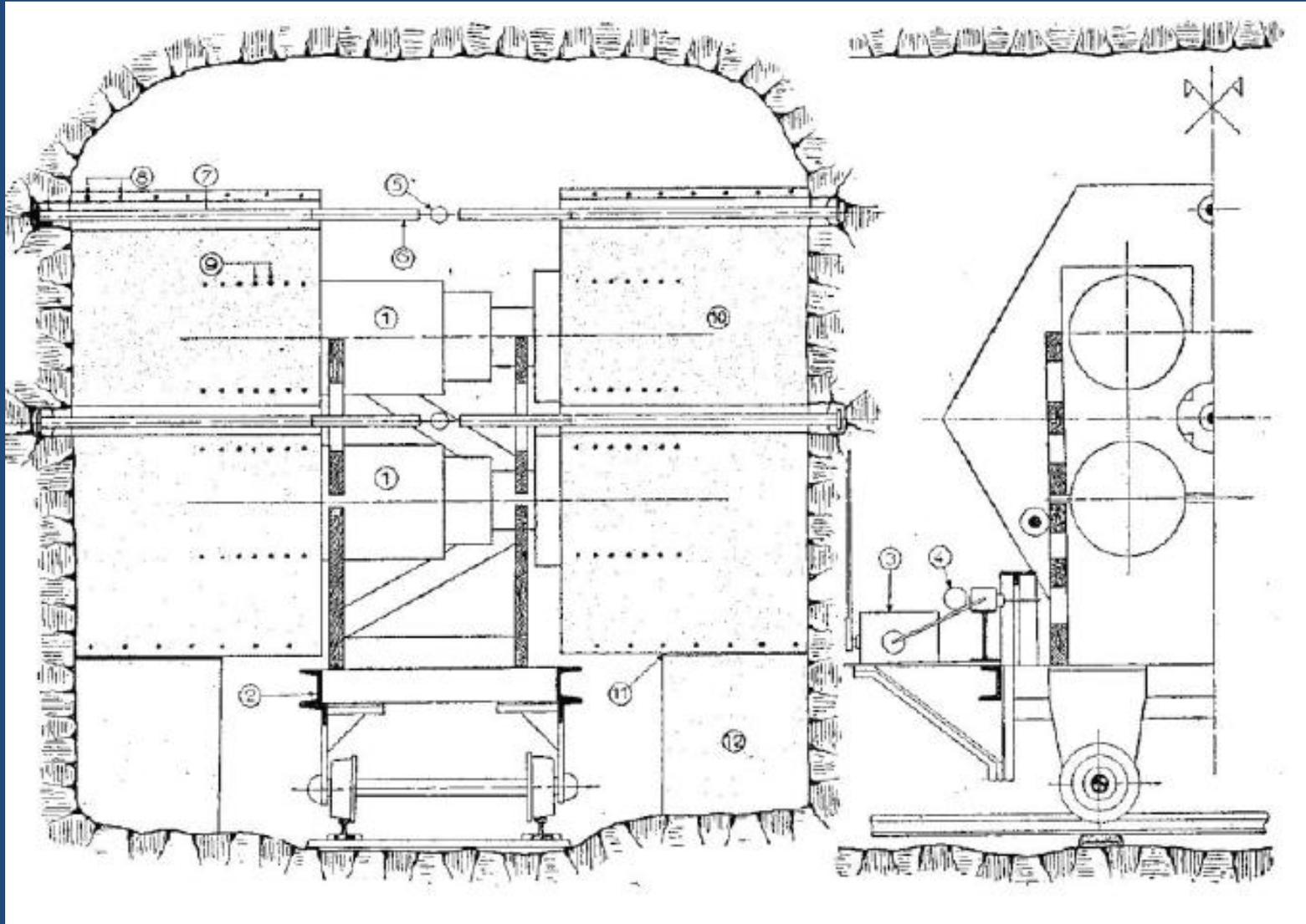
BORT-les-ORGUES

Barrage de MARÈGES



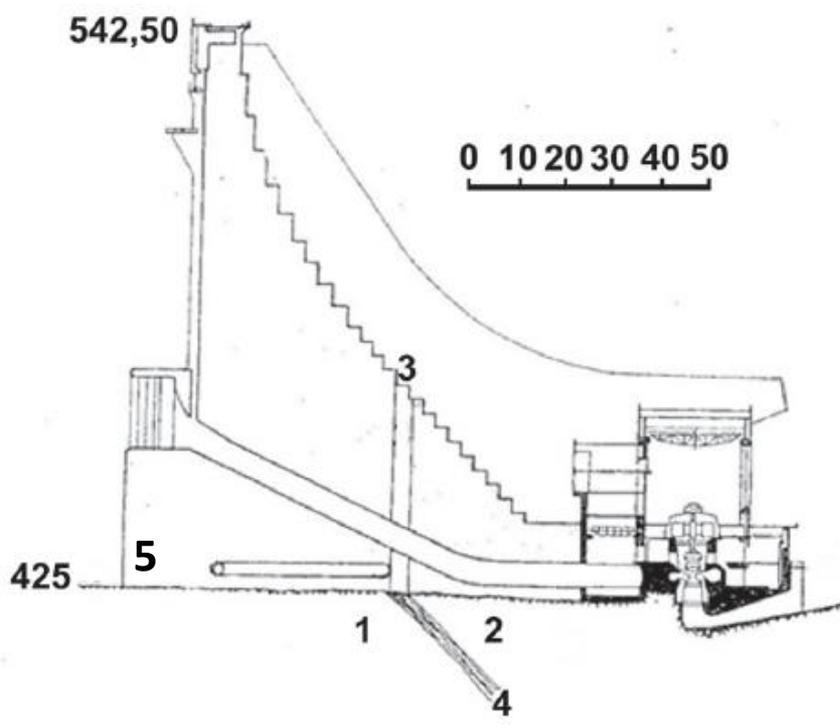
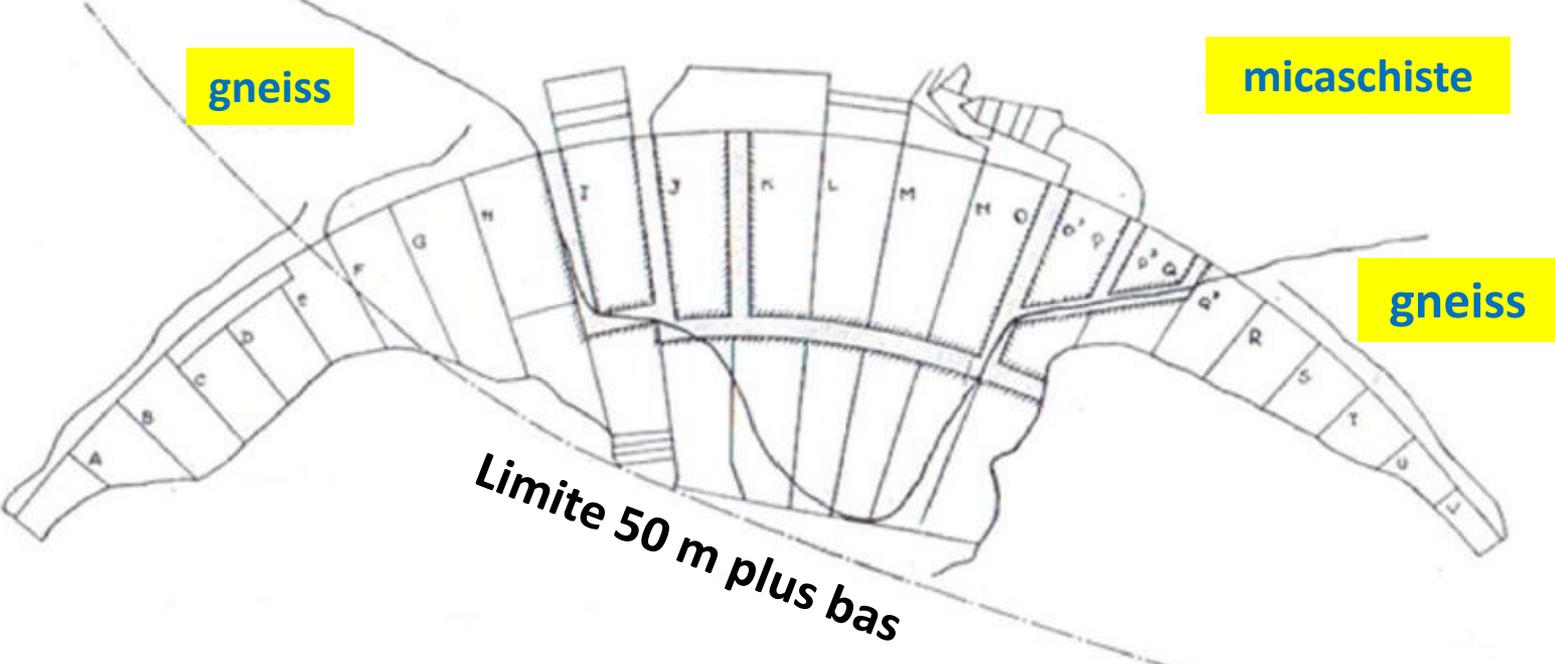
Barrage de BORT sur fondation mixte gneiss et micaschiste CFBR2014 **séparés par une faille**

DISPOSITIF DE MESURE DE LA DÉFORMABILITÉ DU TERRAIN



Coupe perpendiculaire à la galerie

Demi-vue de côté du dispositif



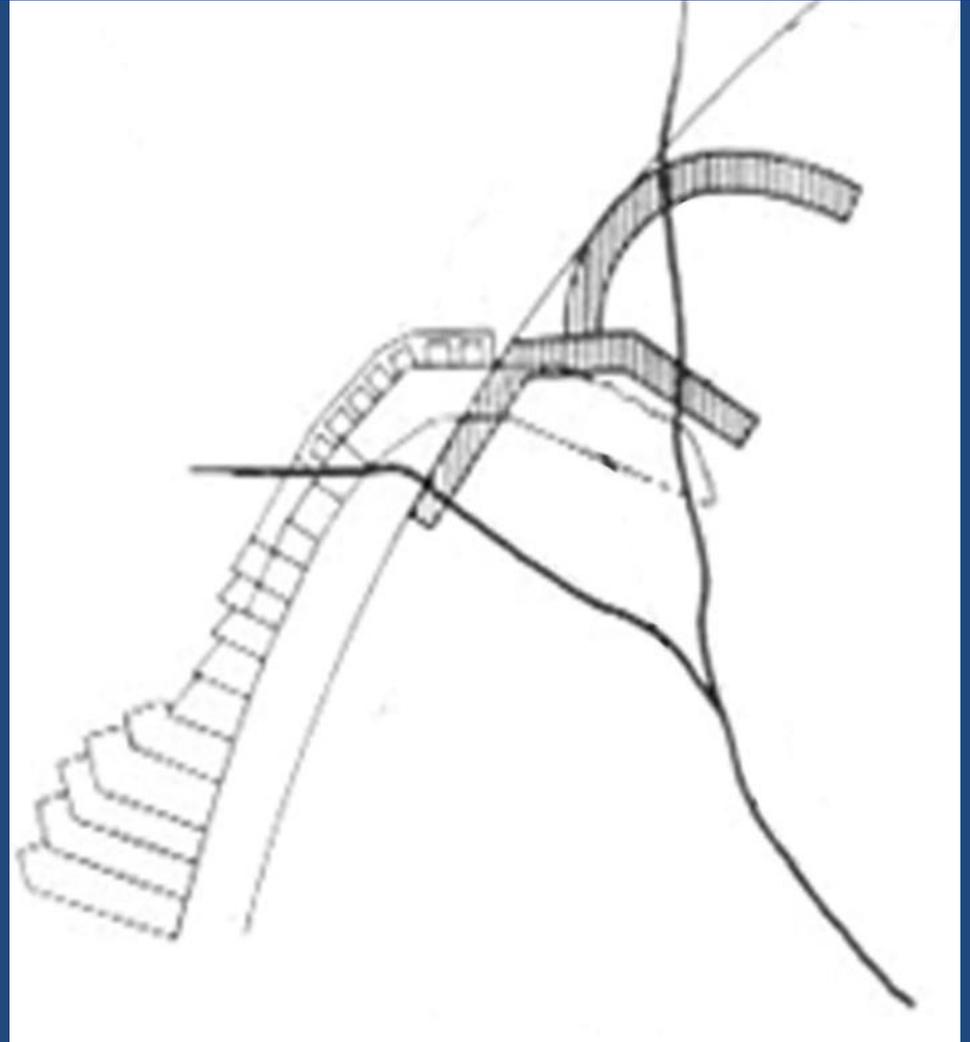
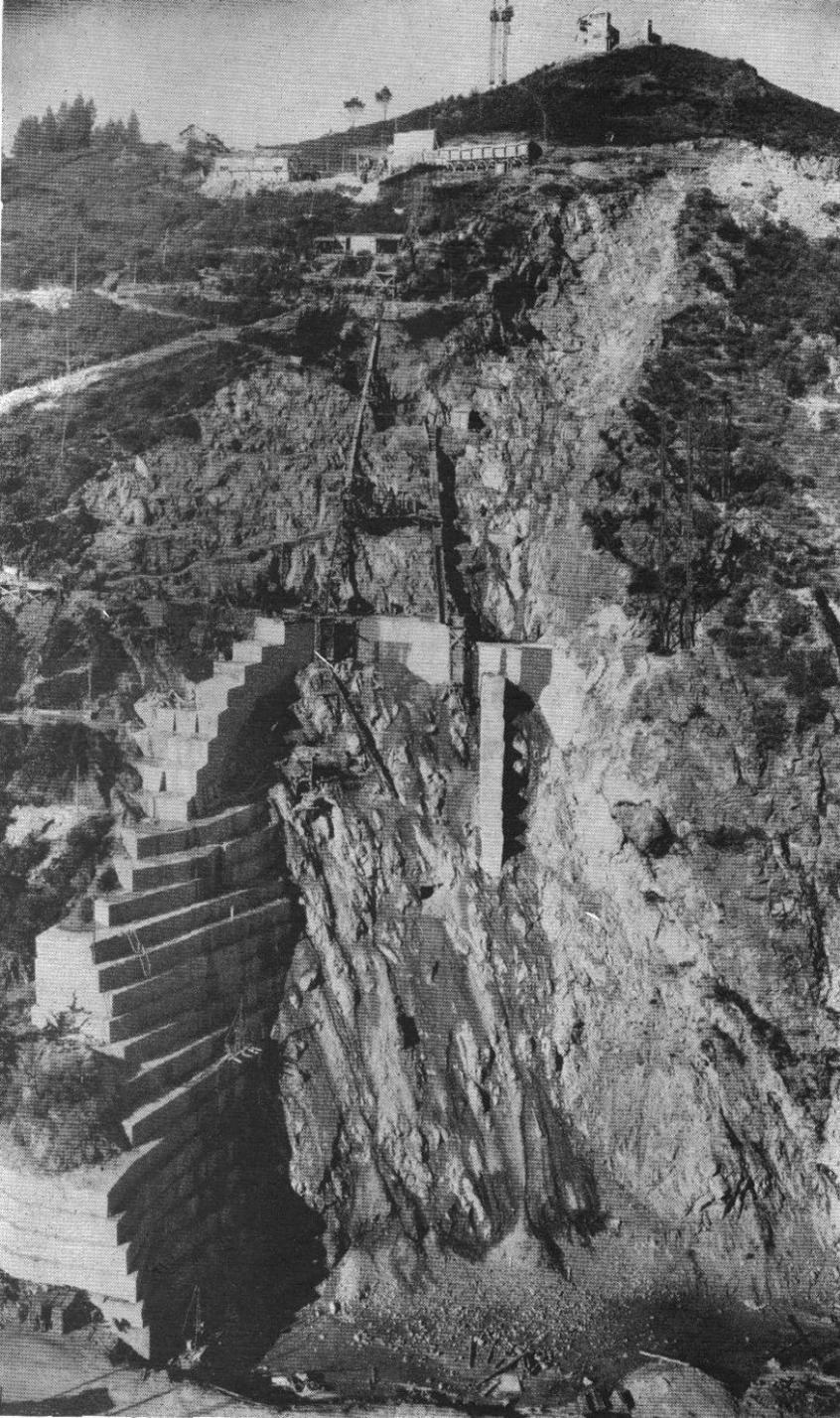
Élargissement des joints entre plots
 (6 joints radiaux, 1 joint longitudinal
 et 1 joint biais, suivant la faille

- 1 Gneiss
- 2 Micaschistes
- 3 « Rues »
- 4 Faille
- 5 « Pédale »

Barrage de BORT

fouille rive gauche

Travaux de consolidation



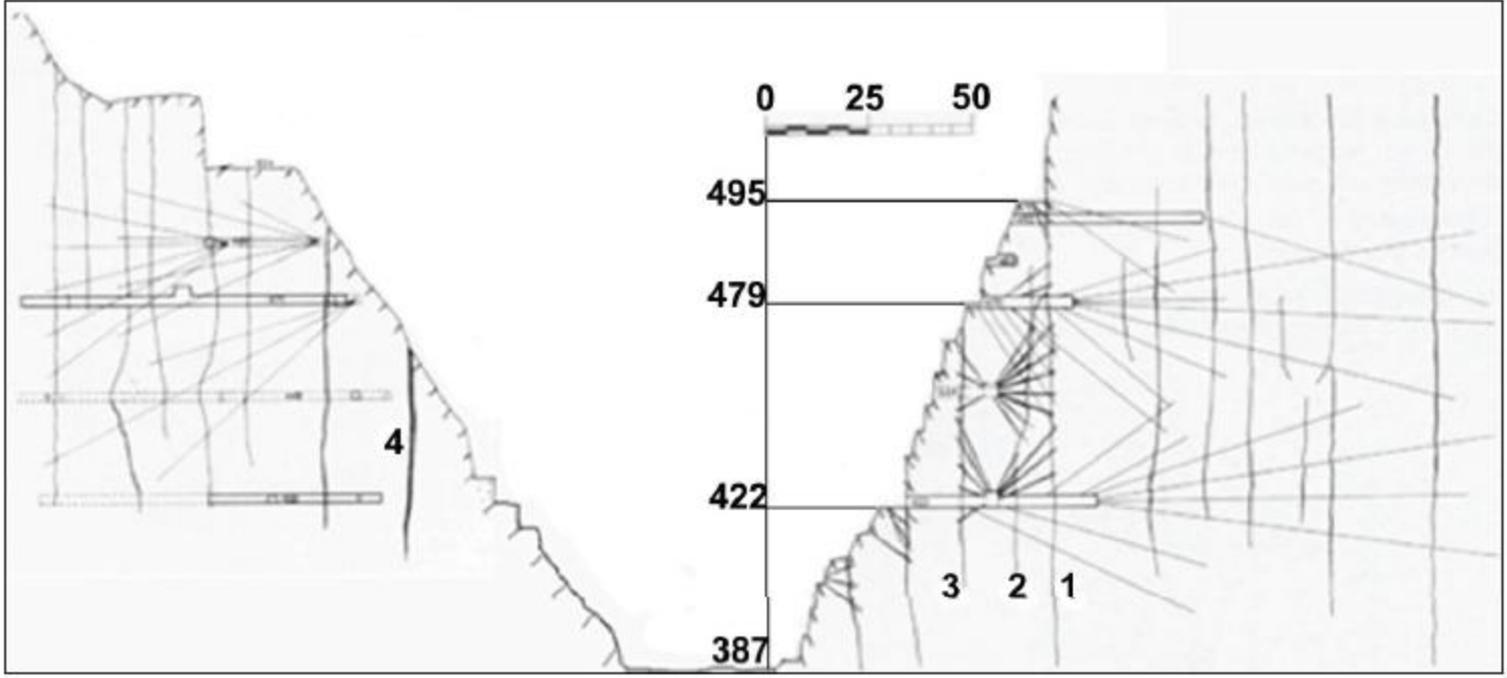
Barrage de MONTEYNARD sur le Drac, 1958, 155 m



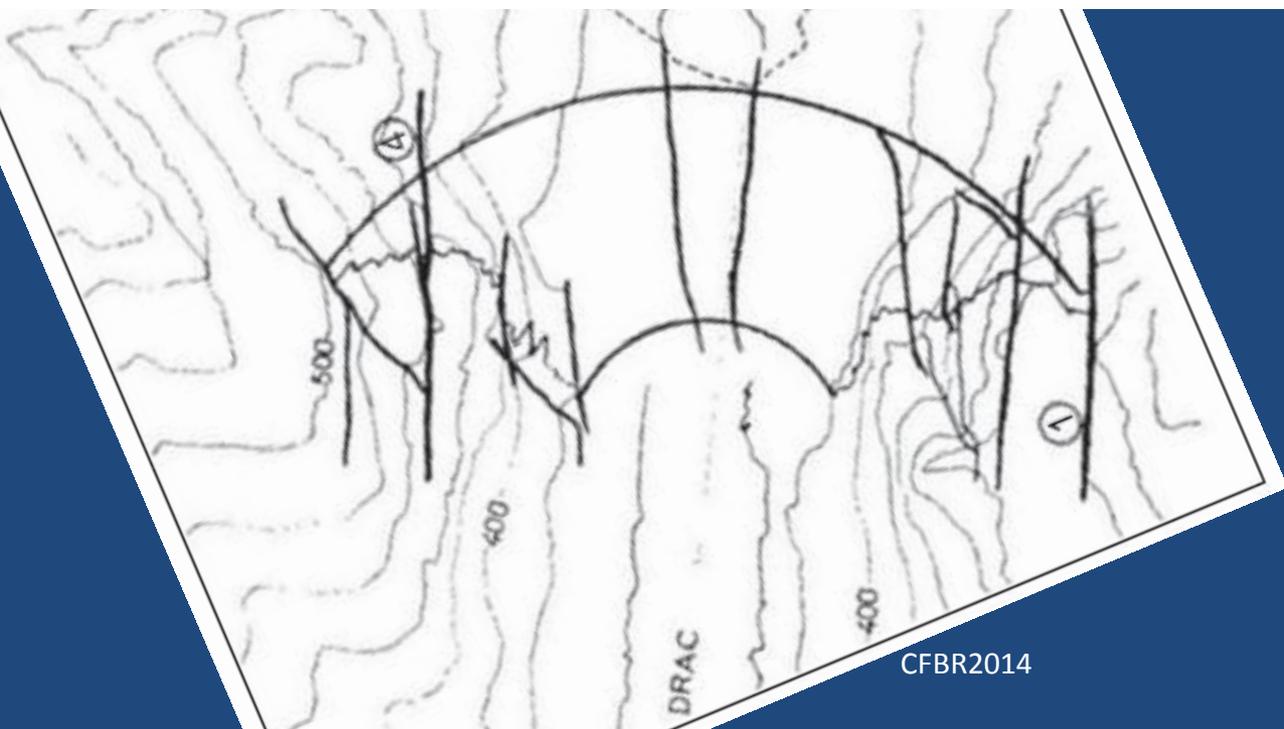
Stratification à 45°

Diaclases verticales

Schistosité verticale



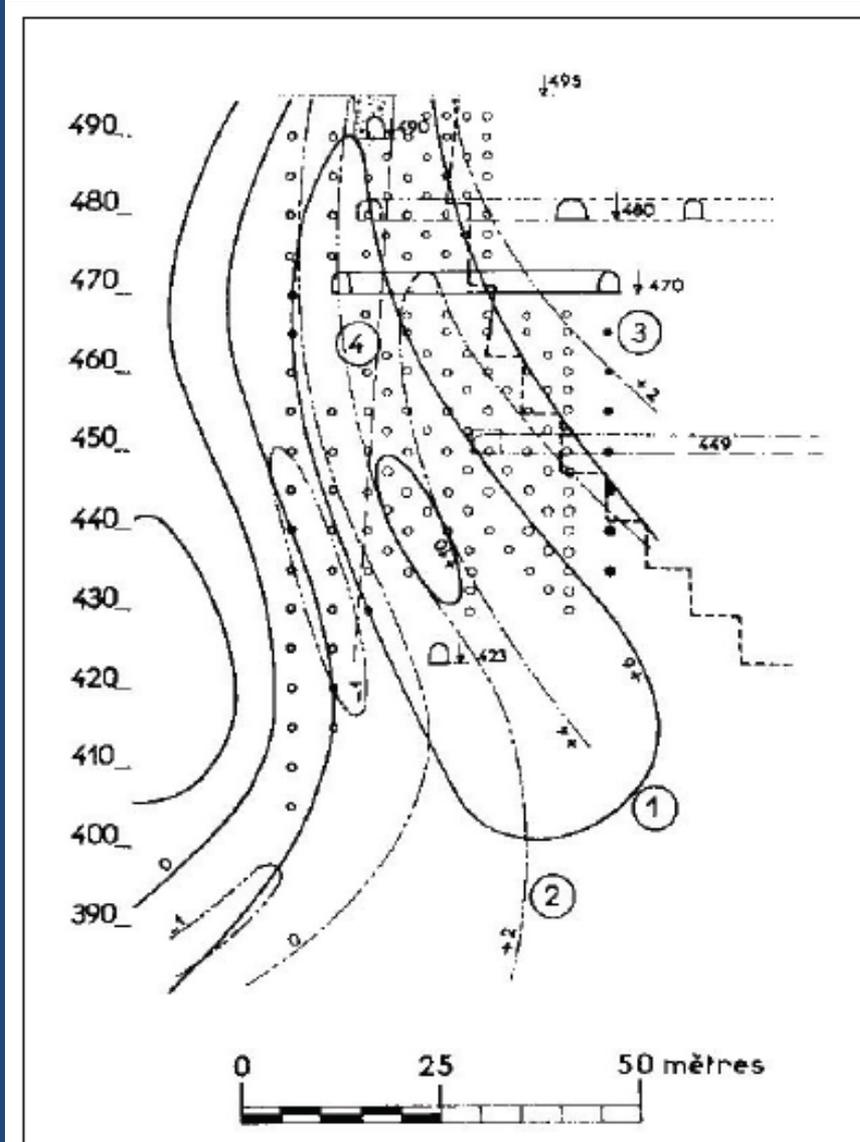
Coupe de la gorge vue d'aval



- Principales diaclases
- 1 Bérénice
 - 2 Béatrice
 - 3 Aglaé
 - 4 Julie la Rousse

Vue en plan du site
Courbes de niveau
Emprise du barrage

TRAITEMENT des DIACLASES au BARRAGE de MONTEYNARD



Rive gauche

Contraintes à transmettre à travers la diaclase Bérénice

- 1 courbes d'égal compression
- 2 courbes d'égal cisaillement
- 3 forages de contrôle
- 4 forages d'injection

(vue du barrage, dont on aperçoit le parement aval en escalier, vers l'appui)

TRAITEMENT des DIACLASES au BARRAGE de MONTEYNARD

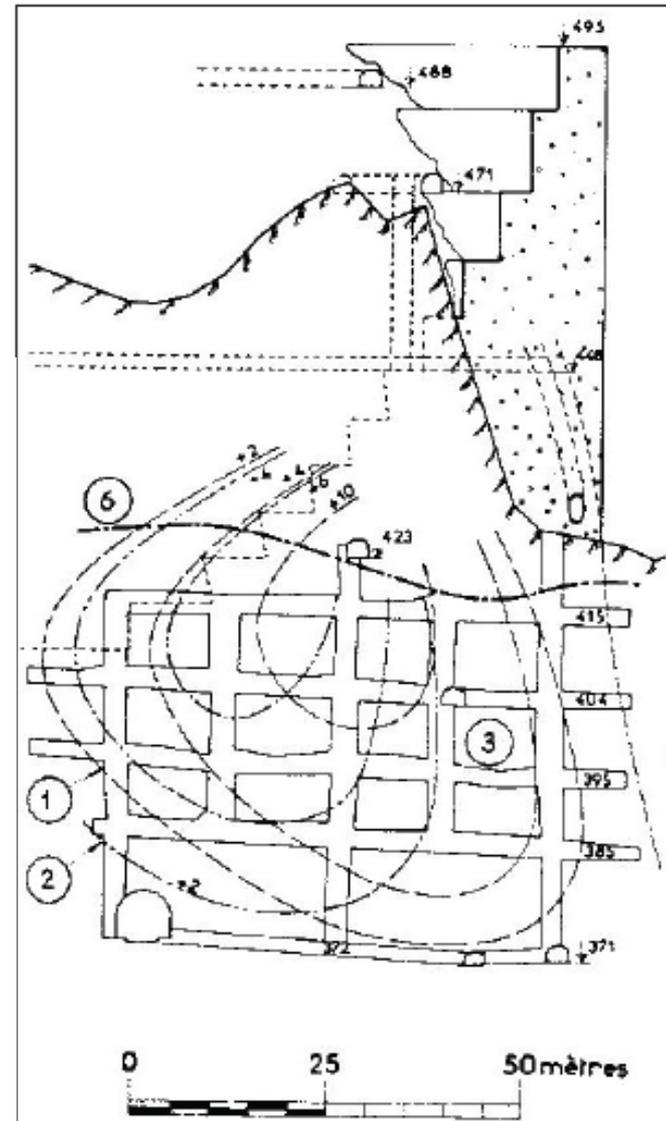
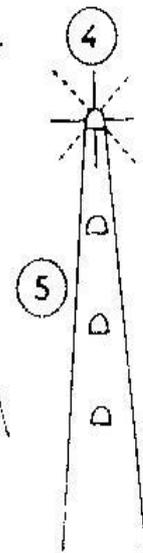
Rive droite

Contraintes à transmettre à travers la diaclase Julie la Rousse

- 1 courbes d'égale compression
- 2 courbes d'égal cisaillement
- 3 claie de connection
- 4 Injections auréolaires
- 5 Injections en parapluie
- 6 Limite du remplissage par le haut en microbéton

(vue du barrage vers l'appui)

vue de profil

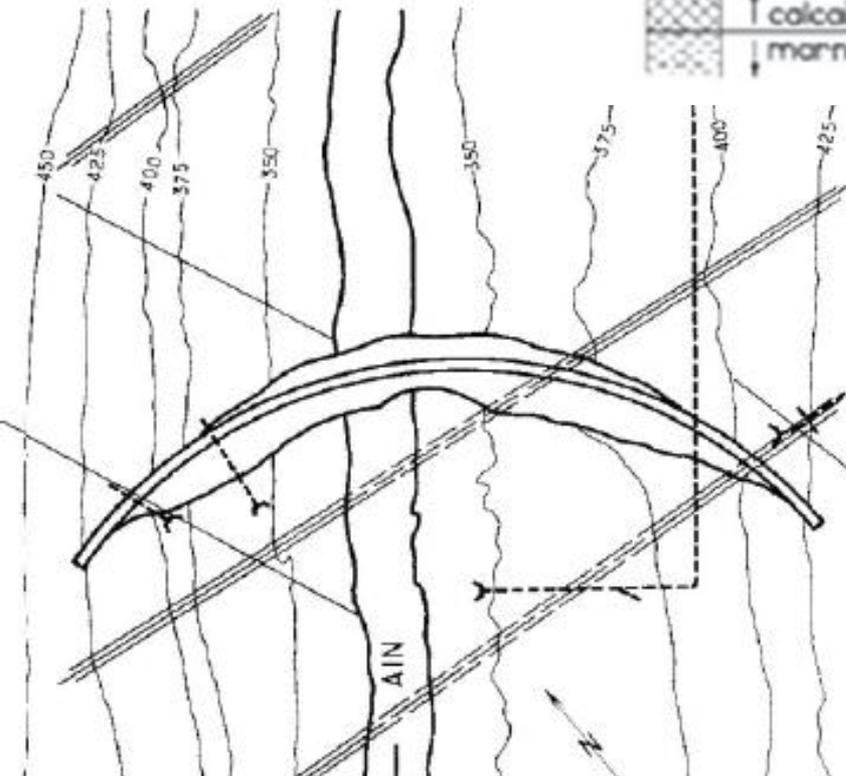
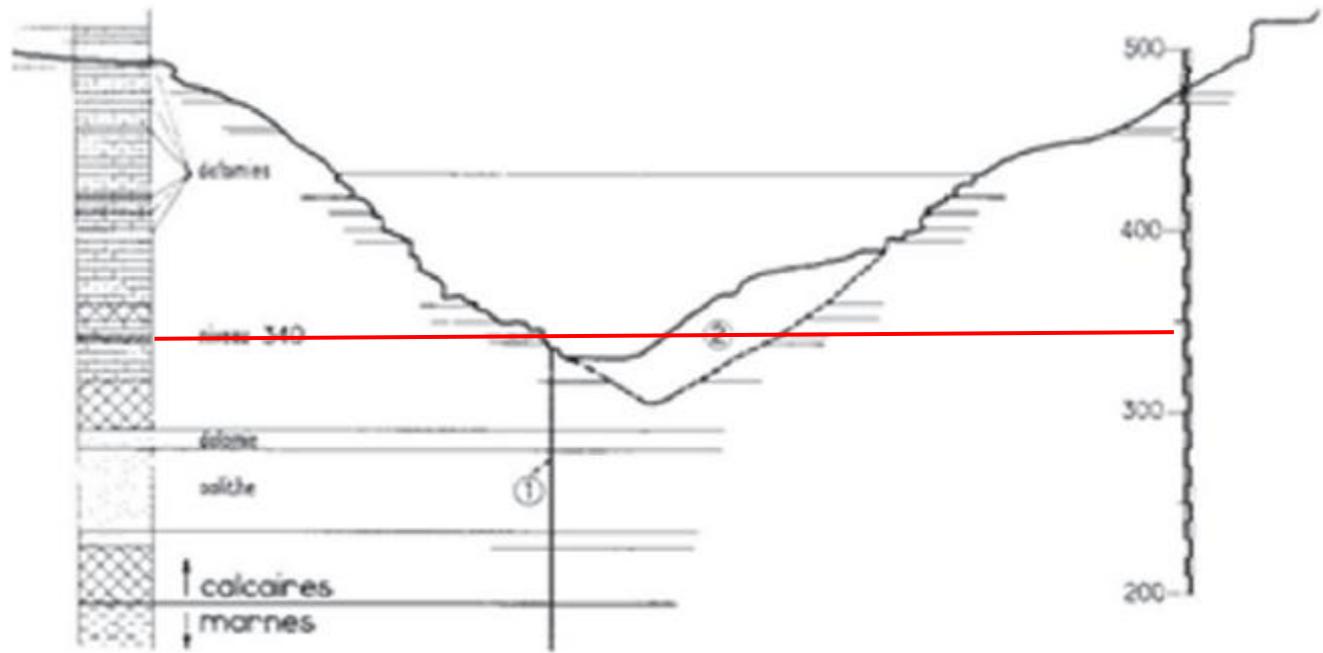


VOUGLANS

Rivière d'Ain

130 m, 1968

Diaclases verticales
à 45° et 55°
sur l'axe de la vallée



Jura tabulaire

Calcaires massifs horizontaux
parcourus de joints stylolithiques

- 1 Forage profond
- 2 Terrasse morainique

Niveau 343 : accumulation de
joints stylolithiques cisailés
formant un **joint argileux**

BARRAGE de VOUGLANS

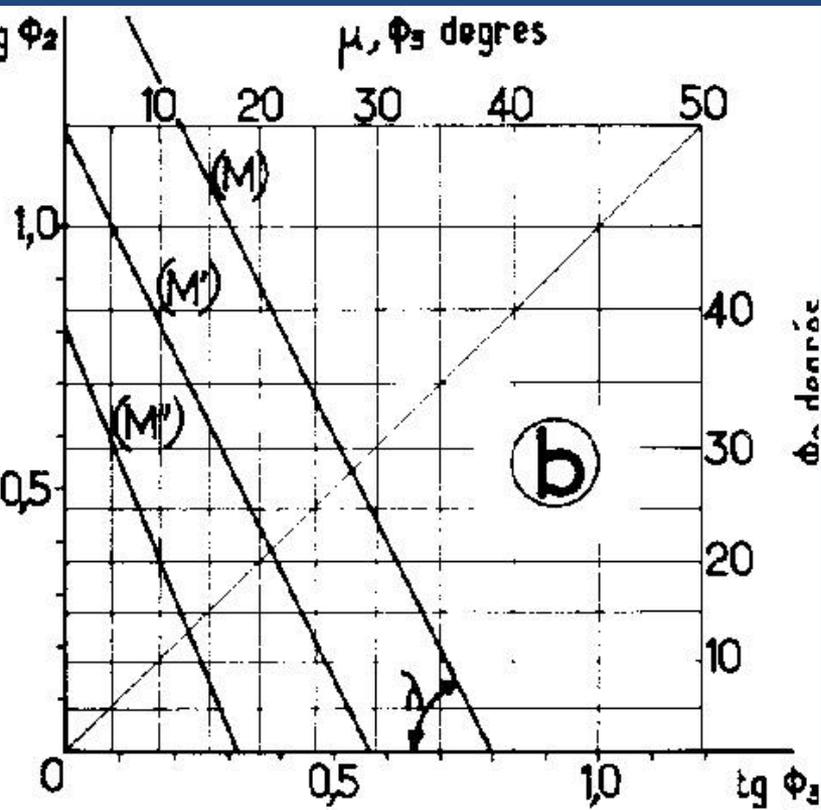
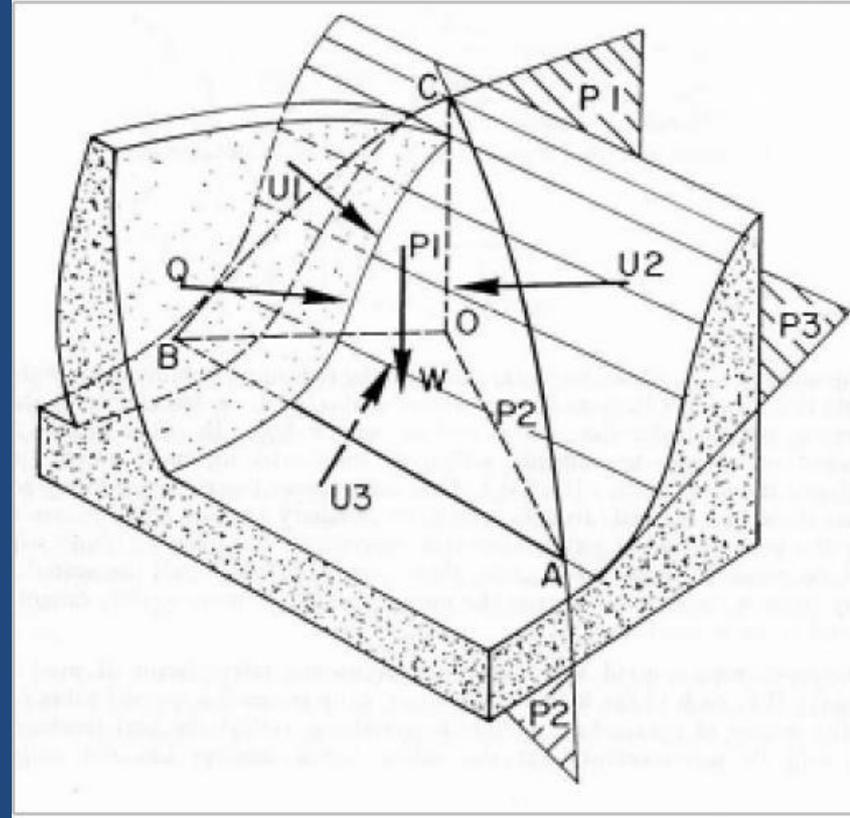


Rive gauche les principales diaclases sont bien visibles



Rive droite : excavation de la prise d'eau derrière les premiers plots

le « coin » de Pierre Londe bloc OABC (1967)



Diaclases verticales

P1, P2

Joint horizontal

P3

W

poids du bloc

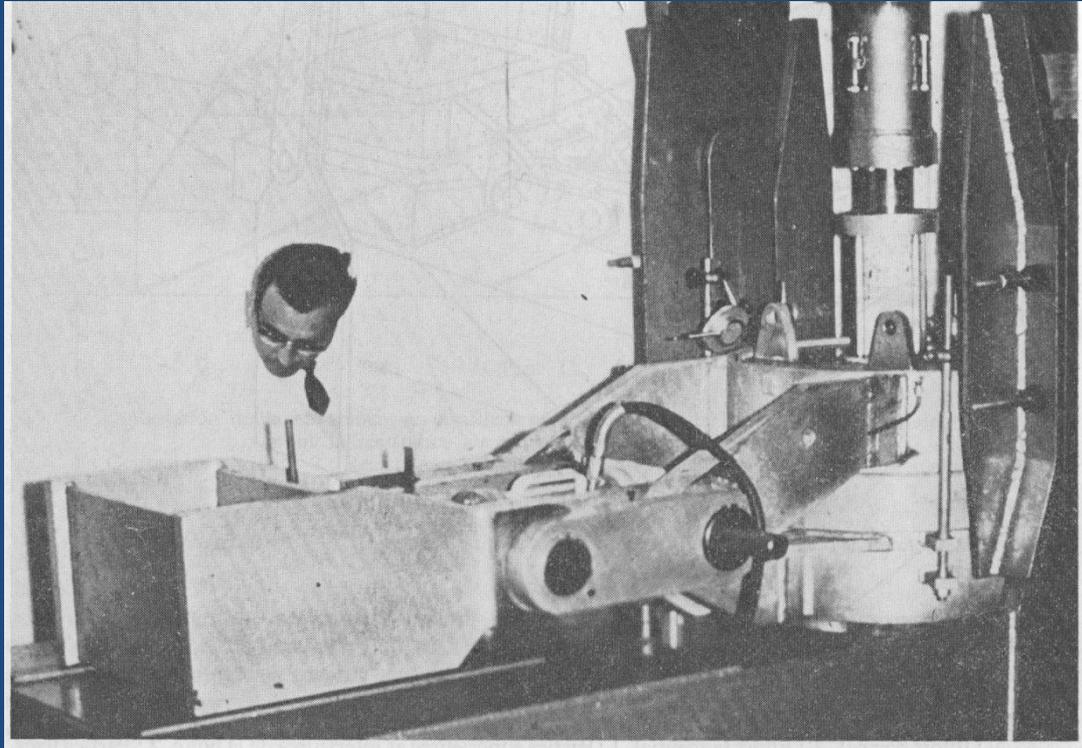
Q

poussée de la voûte

U1, U2, U3

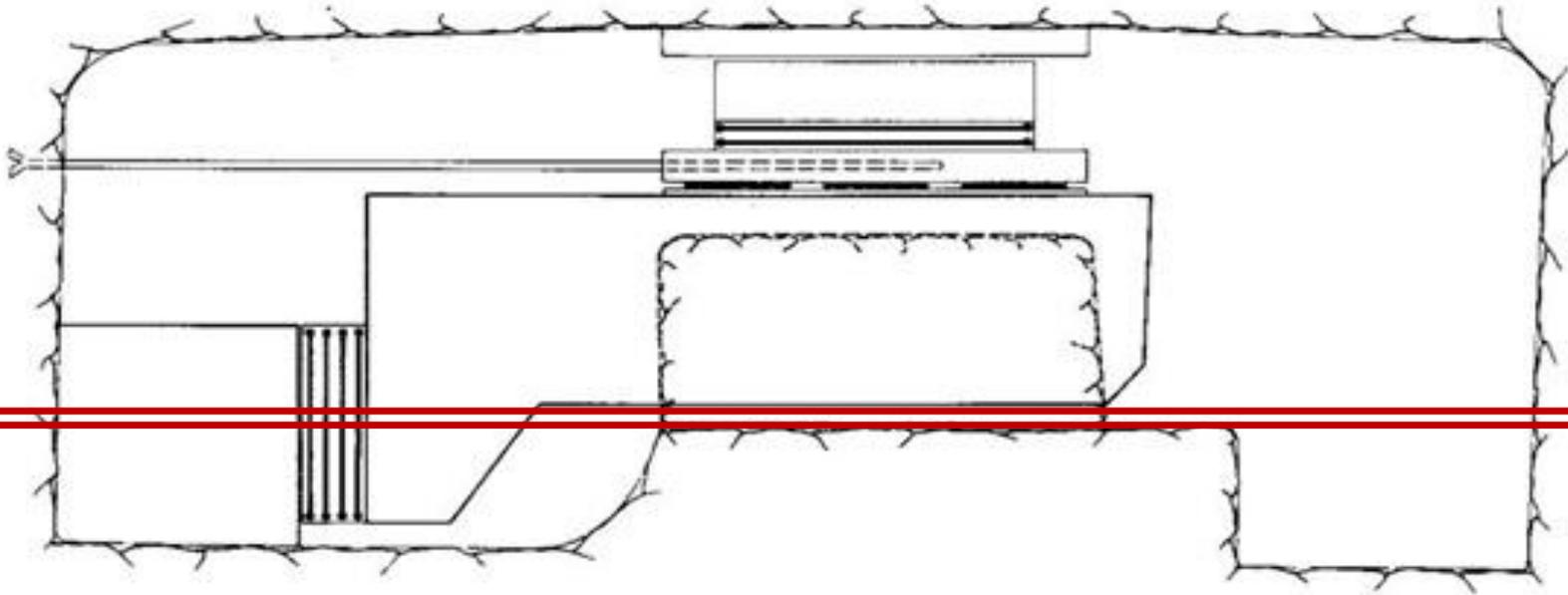
sous pressions

Machine de cisaillement SEIL



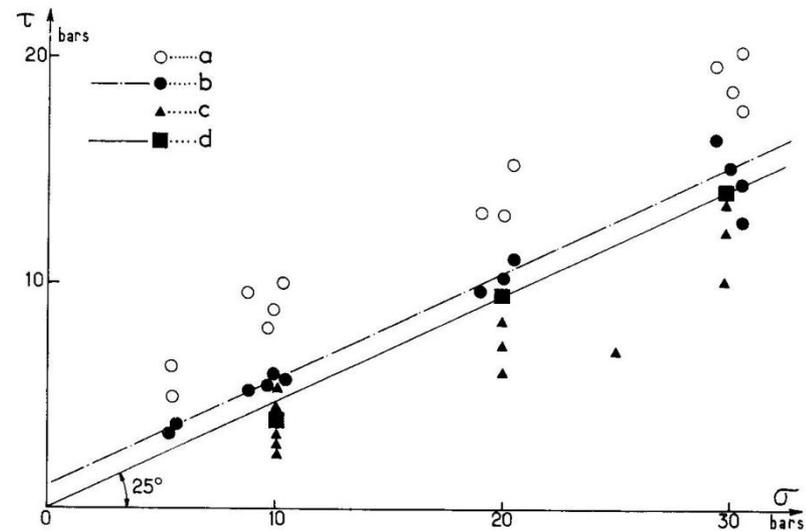
**Carottage horizontal
du joint 340 ϕ 250 mm**

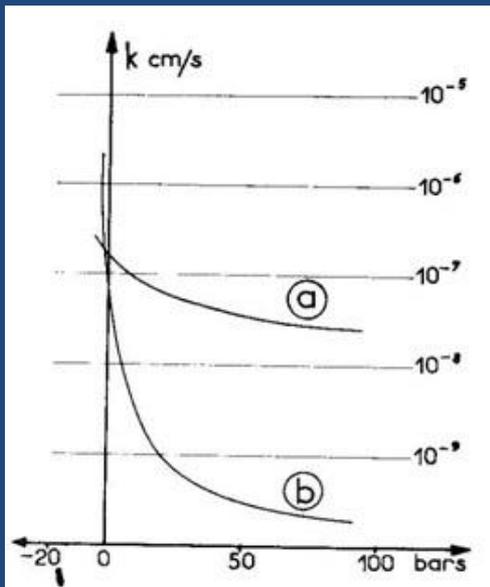
BARRAGE de VOUGLANS



Essai de cisaillement
in situ sur le joint 340

Pas d'effet d'échelle
sur le frottement

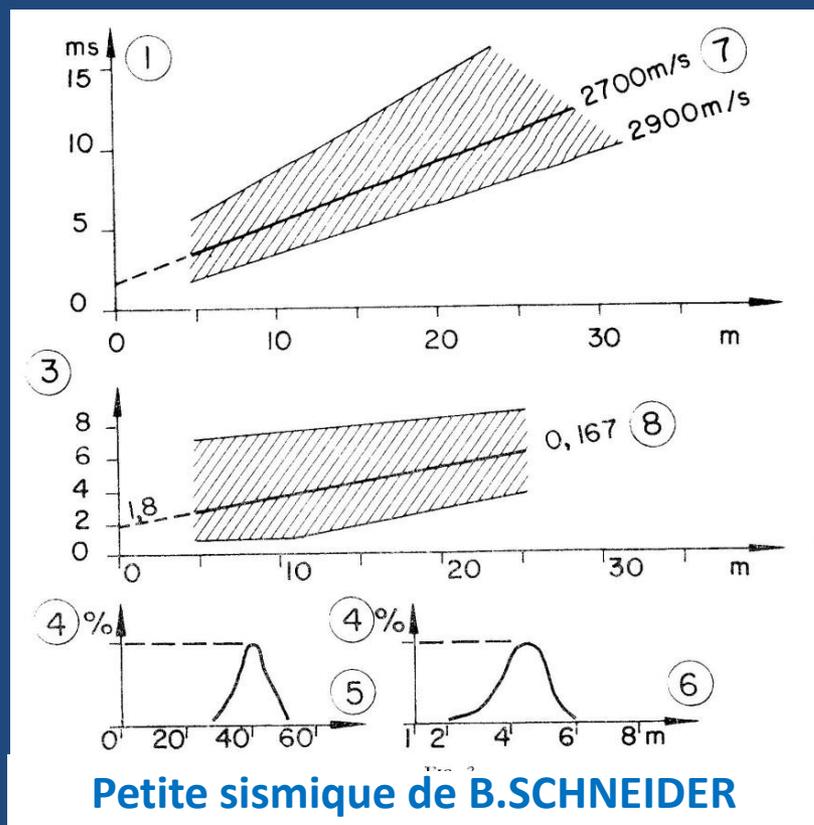




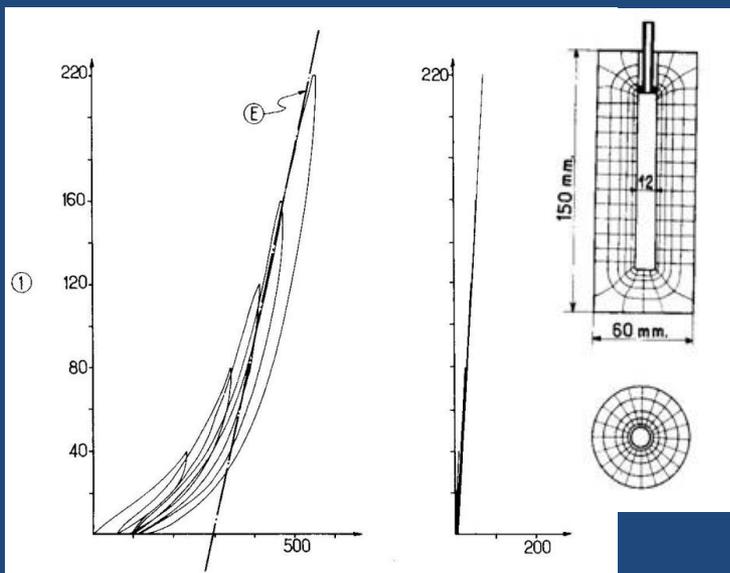
Sensibilité
de la
perméabilité
à la
contrainte

←
(P. HABIB)

a Vouglans
b Malpasset



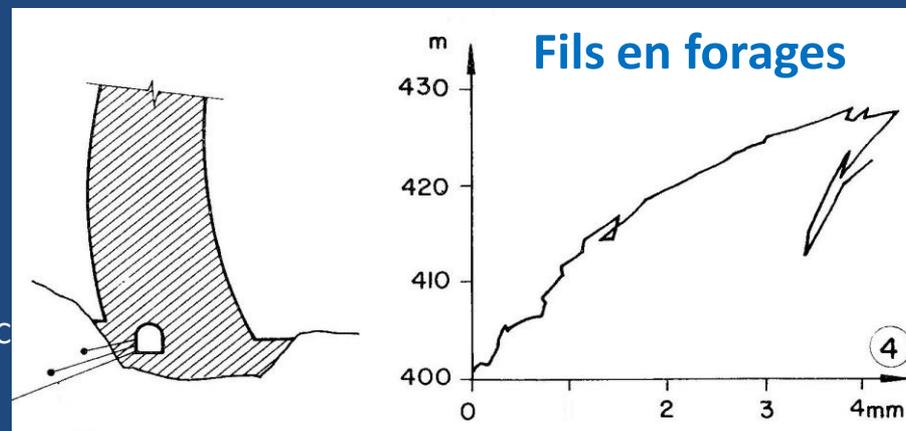
Petite sismique de B.SCHNEIDER



Essai à la plaque

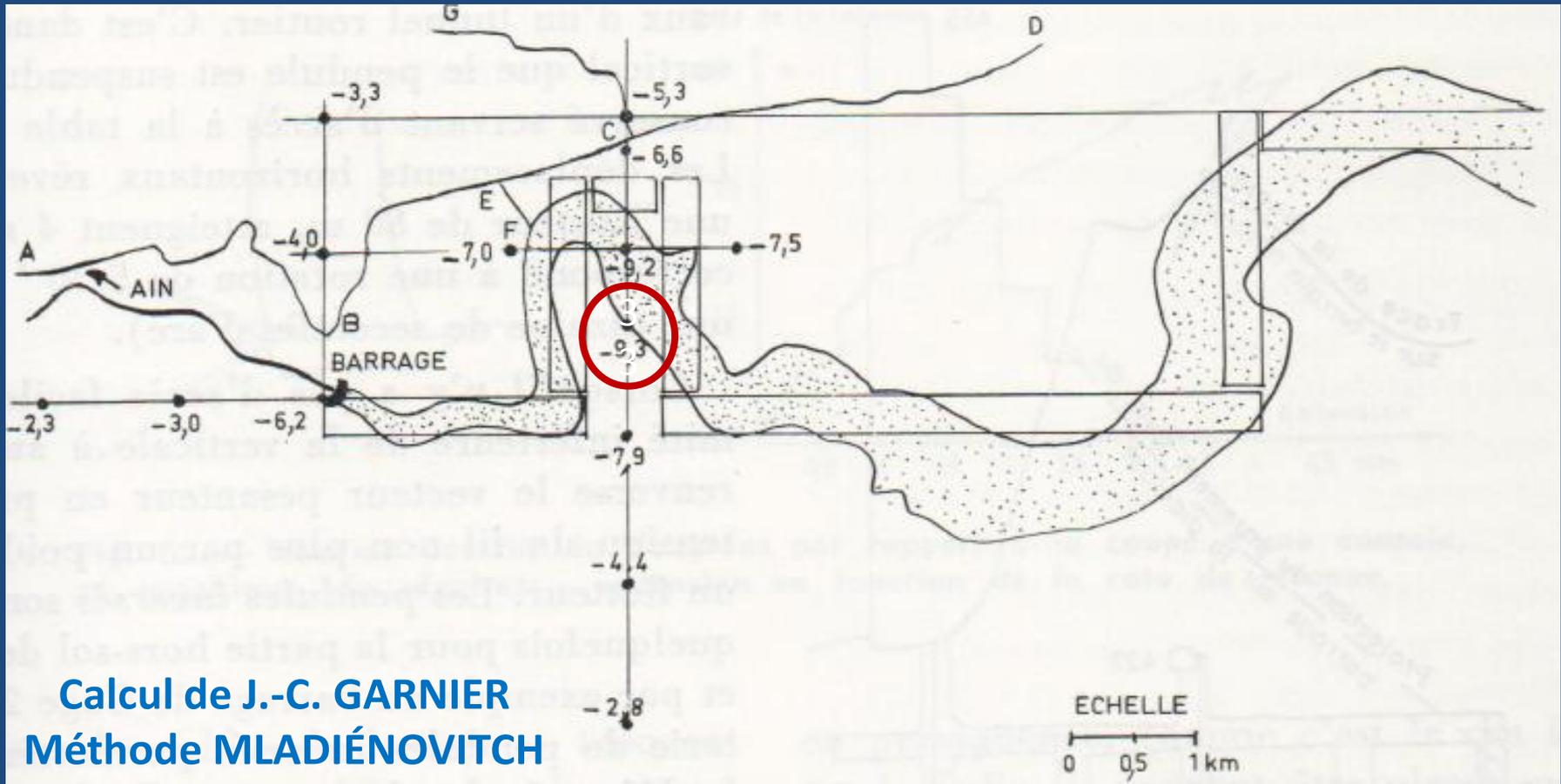
MEDERATEC

vérin cylindrique en forage brevet G. COMES

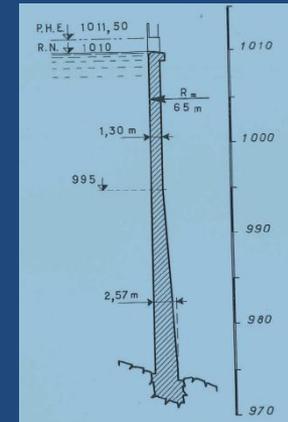
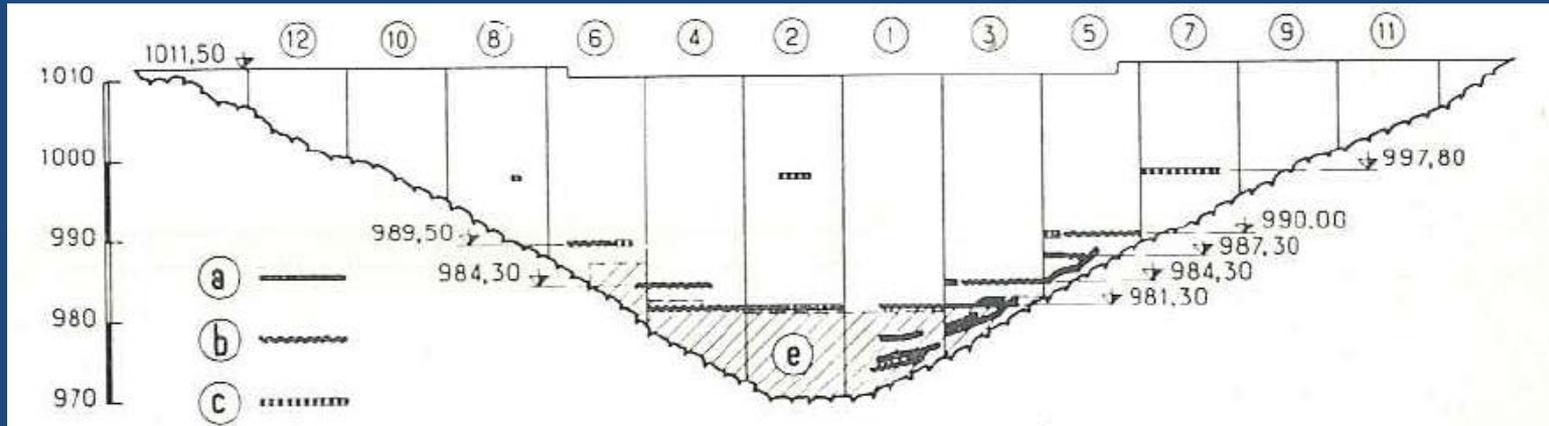


Fils en forages

Assimilation de la retenue à un ensemble de parallélépipèdes dont l'influence est calculée en une douzaine de points



Pour un module de 1 GPa, l'affaissement aurait approché 10 cm au cœur du méandre



GAGE 1 et 2

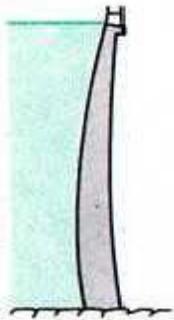
Apparition des fissures

a : 1955

b : 1960

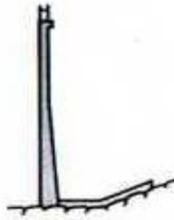
c : 1964

Cette voûte ultra-mince a été doublée à l'amont quelques années après Malpasset par une voûte plus classique



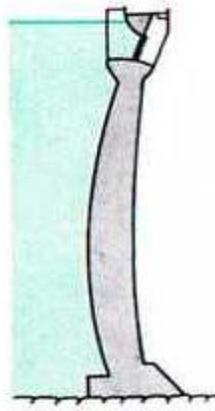
LA PALISSE
1949 - 1953
30 000 m³

REPLACÉ

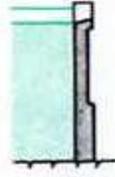


GAGE 1

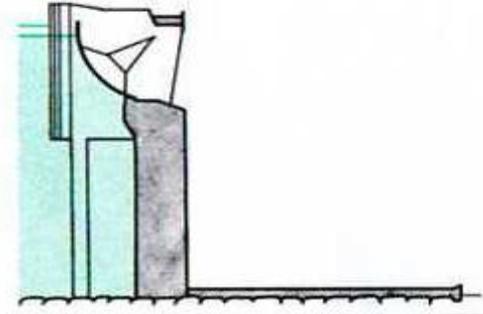
1949 - 1953
6 000 m³



SALAMONDE
1949 - 1953
93 000 m³



DUMBÉA EST
1950 - 1972
11 000 m³



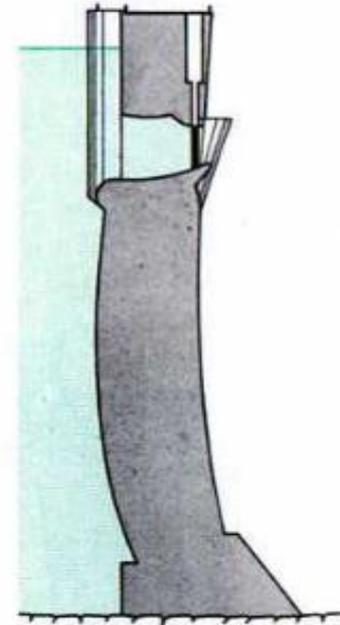
GRANGENT
1950 - 1958
65 000 m³



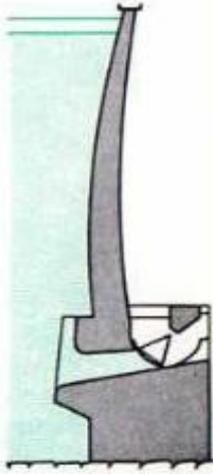
MALPASSET

1950 - 1954
48 000 m³

Coupes de quelques voûtes de COB 1949-1973



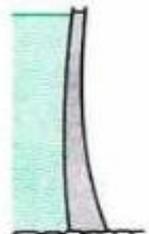
KARIBA
1954 - 1959
1 000 000 m³



SAINTE CROIX

1965 - 1973
50 000 m³

HORS SERVICE

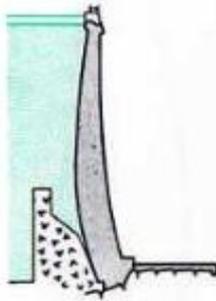


LA VALLA

1952 - 1954
28 000 m³



RIBOU
1952 - 1954
4 000 m³

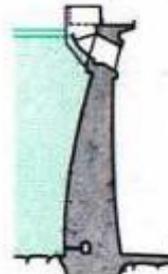


NAGUILHES
1954 - 1959
25 000 m³



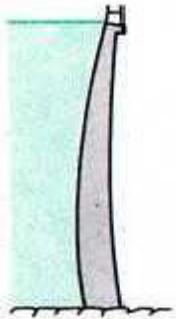
LANOUX

1954 - 1960
26 000 m³



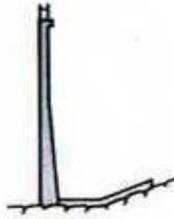
LADUZAS
1954 - 1964
60 000 m³

CERR20



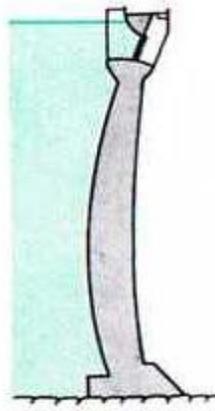
LA PALISSE
1949 - 1953
30 000 m³

REPLACÉ

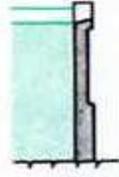


GAGE 1

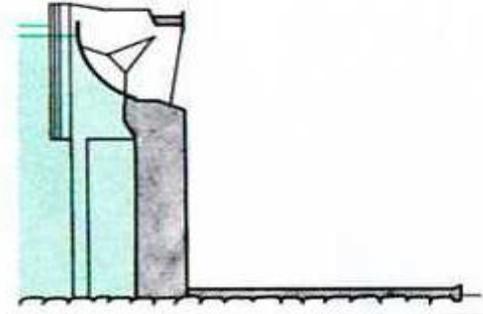
1949 - 1953
6 000 m³



SALAMONDE
1949 - 1953
93 000 m³



DUMBÉA EST
1950 - 1972
11 000 m³



GRANGENT
1950 - 1958
65 000 m³



MALPASSET

1950 - 1954
48 000 m³

Coupes



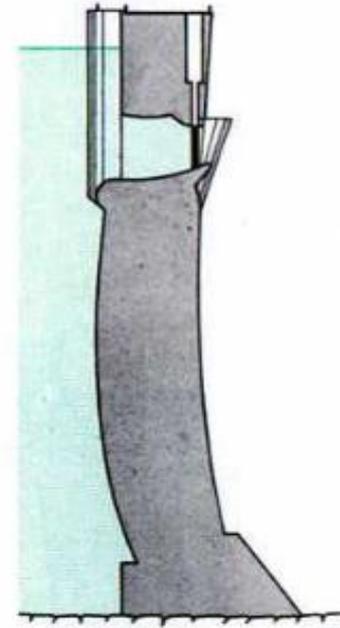
la VALLA
(PINEY)
1955-2000

HORS
SERVICE

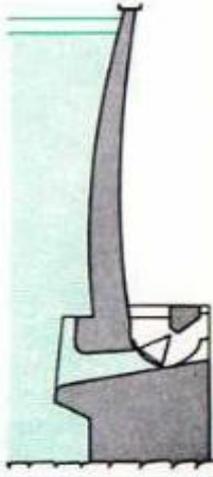


LA VALLA

1952 - 1954
28 000 m³



KARIBA
1954 - 1959
1 000 000 m³



SAINTE CROIX

1965 - 1973
50 000 m³

MALPASSET

Joint J



Vanne à
jet creux
ouverte

Limite béton-rocher

MALPASSET

Joint J



Deux principes de bon sens

MERCI à TOUS

1

La **géologie**, source infiniment variée
d'incertitudes et de surprises

Seuls des **géologues expérimentés** ont une
chance de découvrir tous les pièges et
défauts d'un terrain, quelle que soit
l'importance des reconnaissances,
galeries, forages, méthodes
géophysiques

2

Seuls les **ingénieurs en barrages**
peuvent comprendre parfaitement la
puissance de **l'eau (water power)**
qu'elle soit derrière le barrage,
sous le barrage, à l'intérieur du barrage
et/ou tout autour,
à l'intérieur du terrain de fondation,
comme à l'intérieur de
tout **relief naturel** et de tout **tas artificiel**

Les modèles ne sont que des outils pour le projeteur

La seule réalité est le **TERRAIN**

Tout barrage est un médiateur entre la Géologie et l'Eau

Principaux articles et ouvrages utilisés

- 1936, Drouhin G., 3^{ème} Congrès CIGB, Washington
- 1955, Jeanpierre D., 5^{ème} Congrès CIGB, Paris
- 1964, Faivre d'Arcier, Conte, 8^{ème} Congrès CIGB, Édimbourg
- 1964, Les 4 GT du CFGB, 8^{ème} Congrès CIGB, Édimbourg
- 1965, Londe P., Analyse 3D de la stabilité d'une rive rocheuse, Ann. PC
- 1967, Bernaix J., La roche de Malpasset, Dunod
- 1967, Mary M., Barrages voûtes, incidents accidents , Dunod
- 1967, Schneider B., Nouveaux moyens de reconnaissance, Ann. ITBTP
- 1967, GT du CFGB, Essais et calculs de mécanique des roches, exemple de Vouglans, 9^{ème} Congrès CIGB, Istamboul
- 1967, Louis C. Écoulements d'eau dans les roches fissurées, thèse Karlsruhe
- 1969, Londe, Sabarly , La distribution des perméabilités dans la fondation des barrages voûtes en fonction du champ de contraintes, Ann. PC
- 1969, Maury V. Mécanique des milieux stratifiés, Dunod
- 1973, Londe P., Mécanique des roches et fondations des barrages, CIGB
- 1996, Gérard P., L'épopée hydroélectrique d'Electricité de France, AHEF