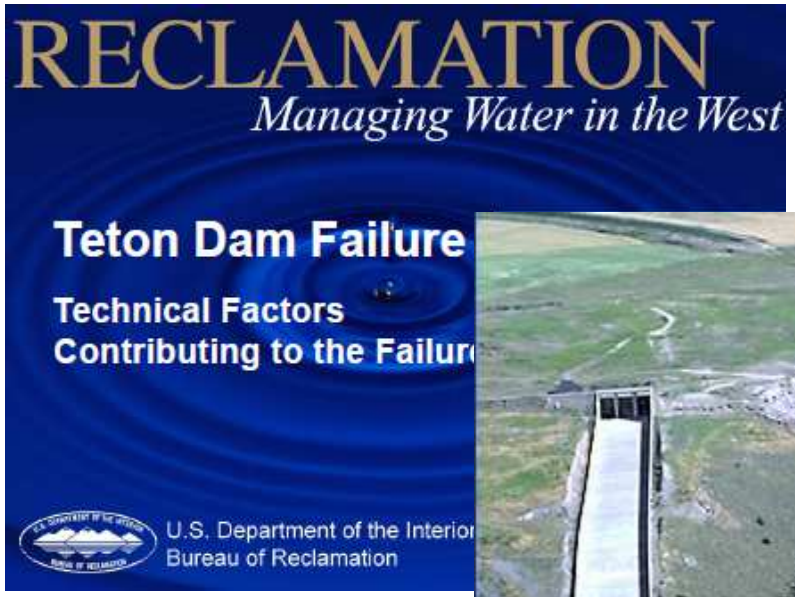
VISITE DU BARRAGE DE TETON: RETOUR SUR LES CONDITIONS DE LA RUPTURE

Jean-Jacques FRY (EDF-CIH) Luc DEROO (ISL)

Symposium du CFBR du 26 janvier 2017 à Chambéry

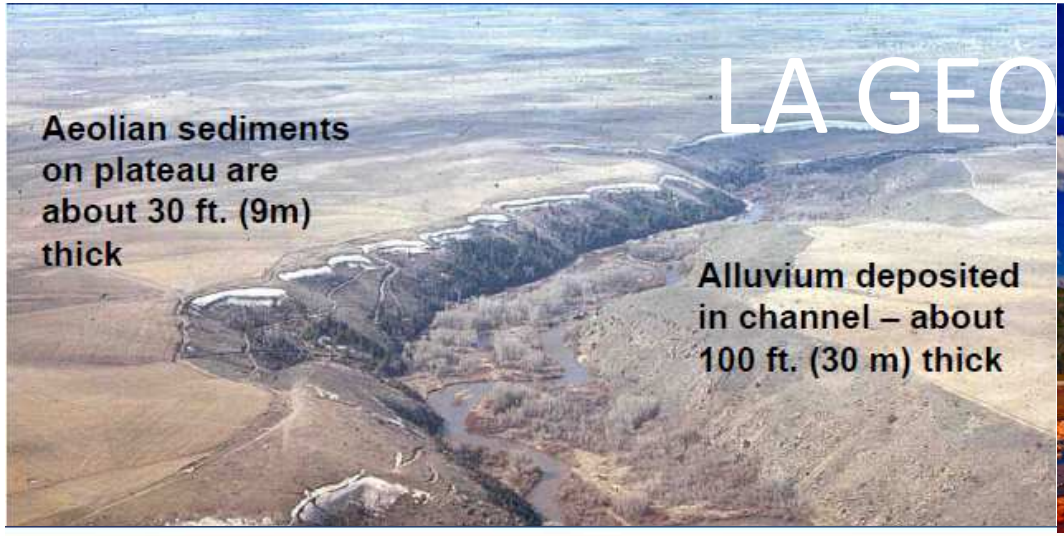
LA VISITE DU SITE LE 11 AOUT 2016

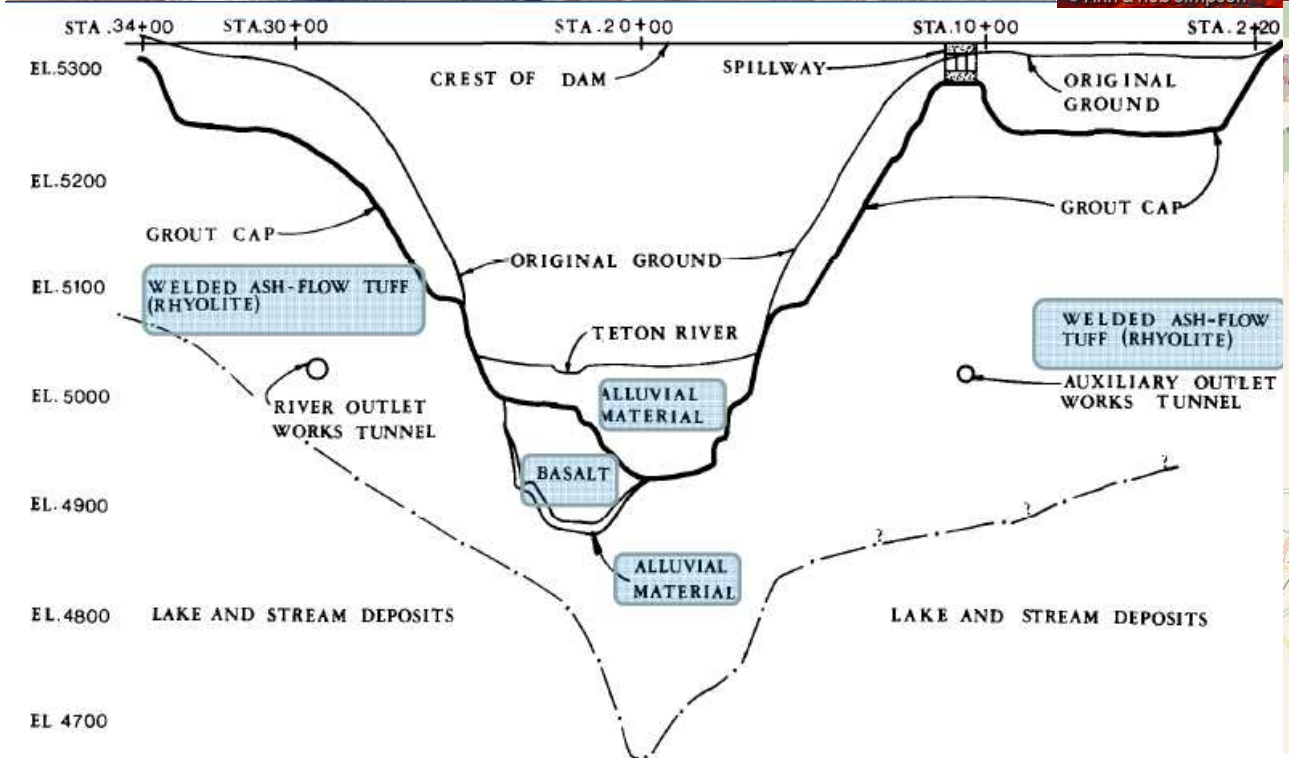


1.L'EXPOSE LE 9 AOUT 2016 par l'USBR lors du SYMPOSIUM USSD « EROSION INTERNE »

2. LE PARCOURS DE LA VISITE LE 11 AOUT 2016

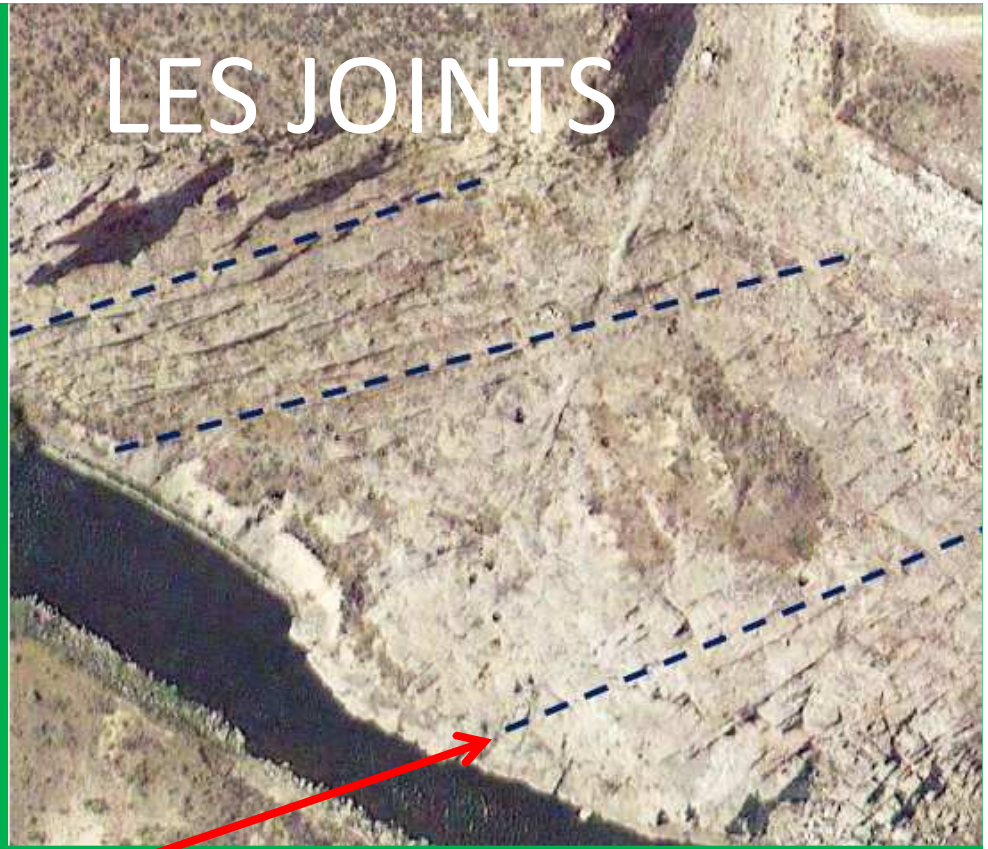
LA GEOLOGIE

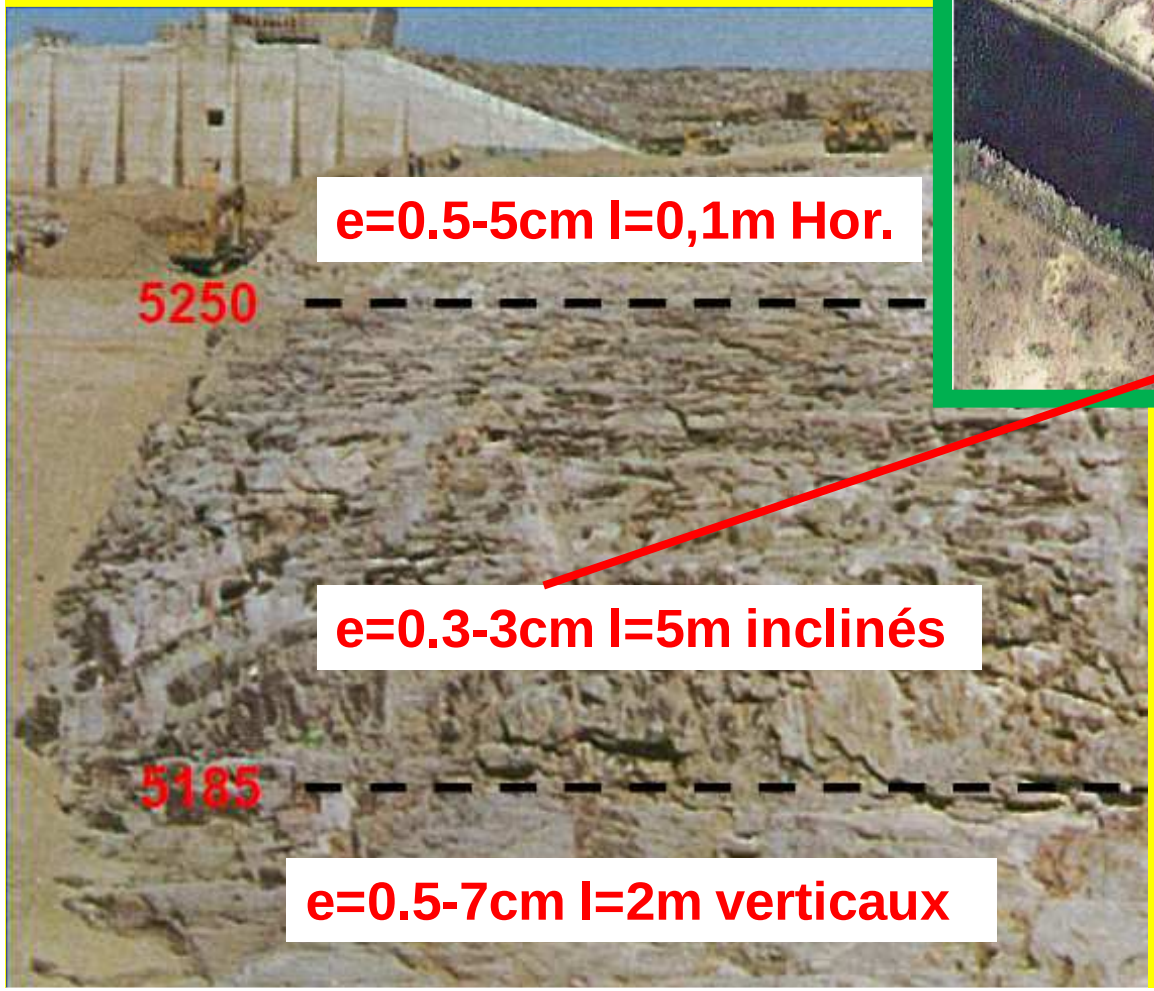




Coulées de cendres de Yellowstone refroidies: soudées puis fracturées par retrait, mouvement tectonique et érosion

RIVE DROITE: LES JOINTS

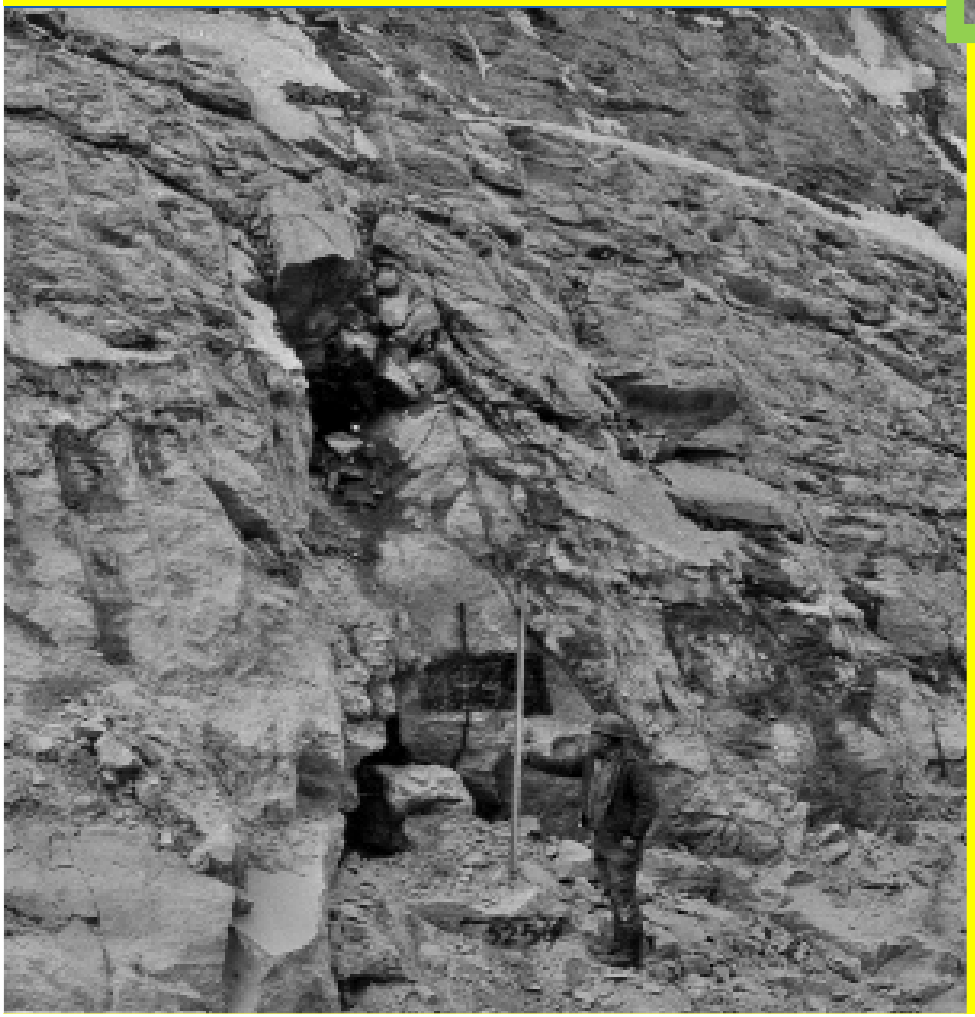


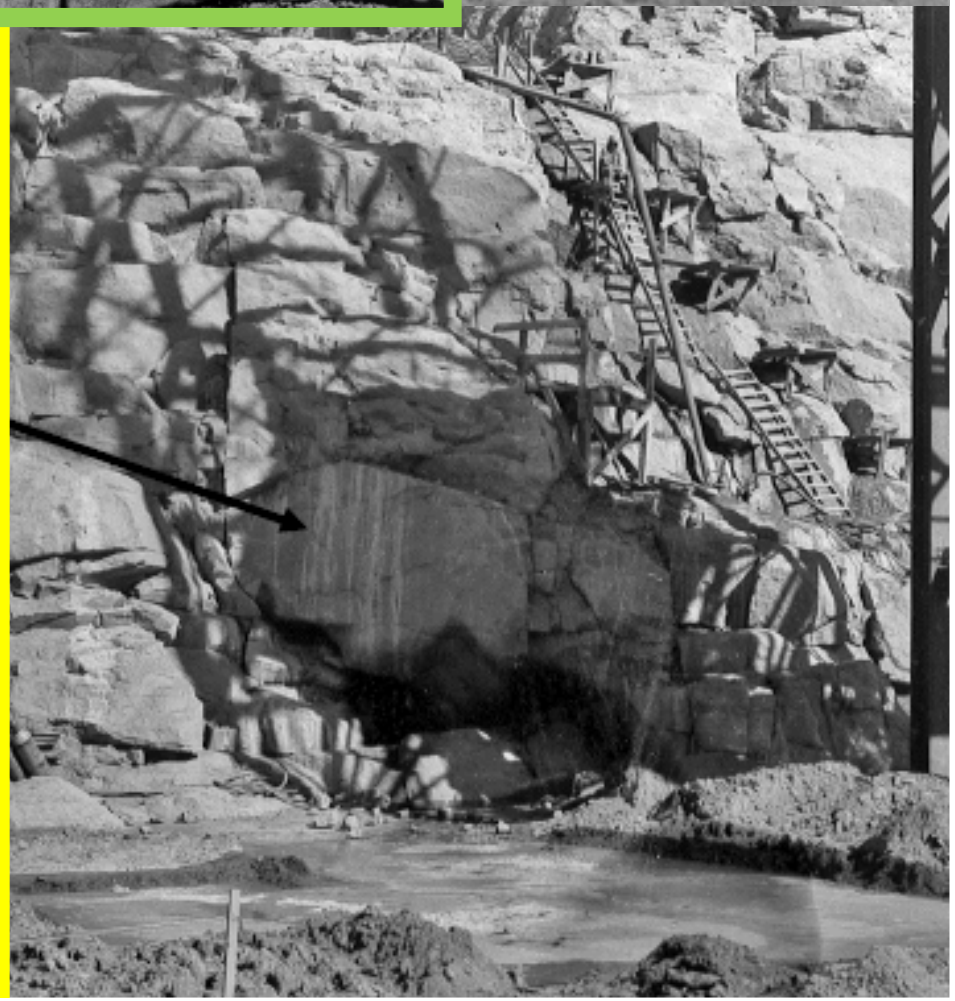


LES INJECTIONS

1969 1 train de ciment absorbé dans 2 forages en extrémité de la Rive Droite

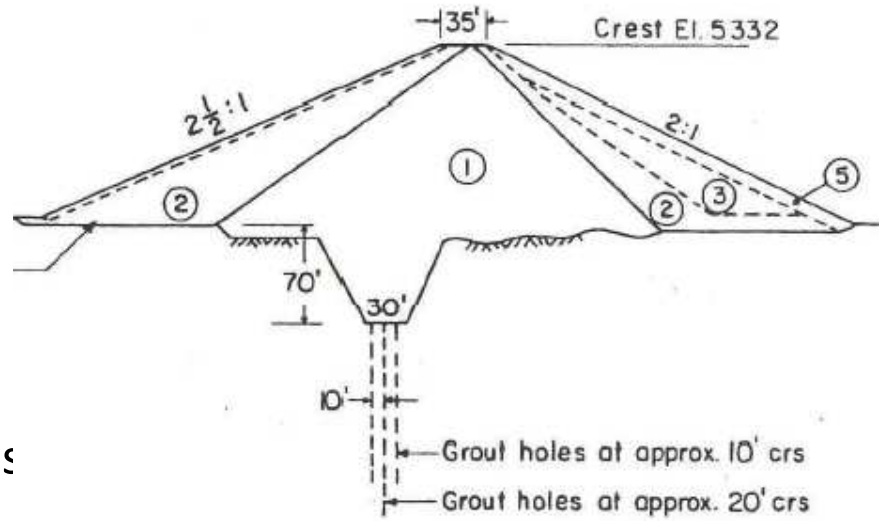
1974 Découverte de cavités ouvertes et pertes et résurgences dans les injections





CHOIX CRITIQUE DU PROJET

- **Le maître d'œuvre demande un complément de financement**
- **Le maître d'ouvrage refuse**
- **Que fait le maître d'œuvre?**
- **Il décide de continuer à budget constant :**
  - Excavation des 20 m très perméables
  - Remplacement par une tranchée parafouille
  - Limitation des quantités injectées des voiles d'injection extérieurs
  - Injections de contact locales « si nécessaires »
  - Joints ouverts injectés au coulis

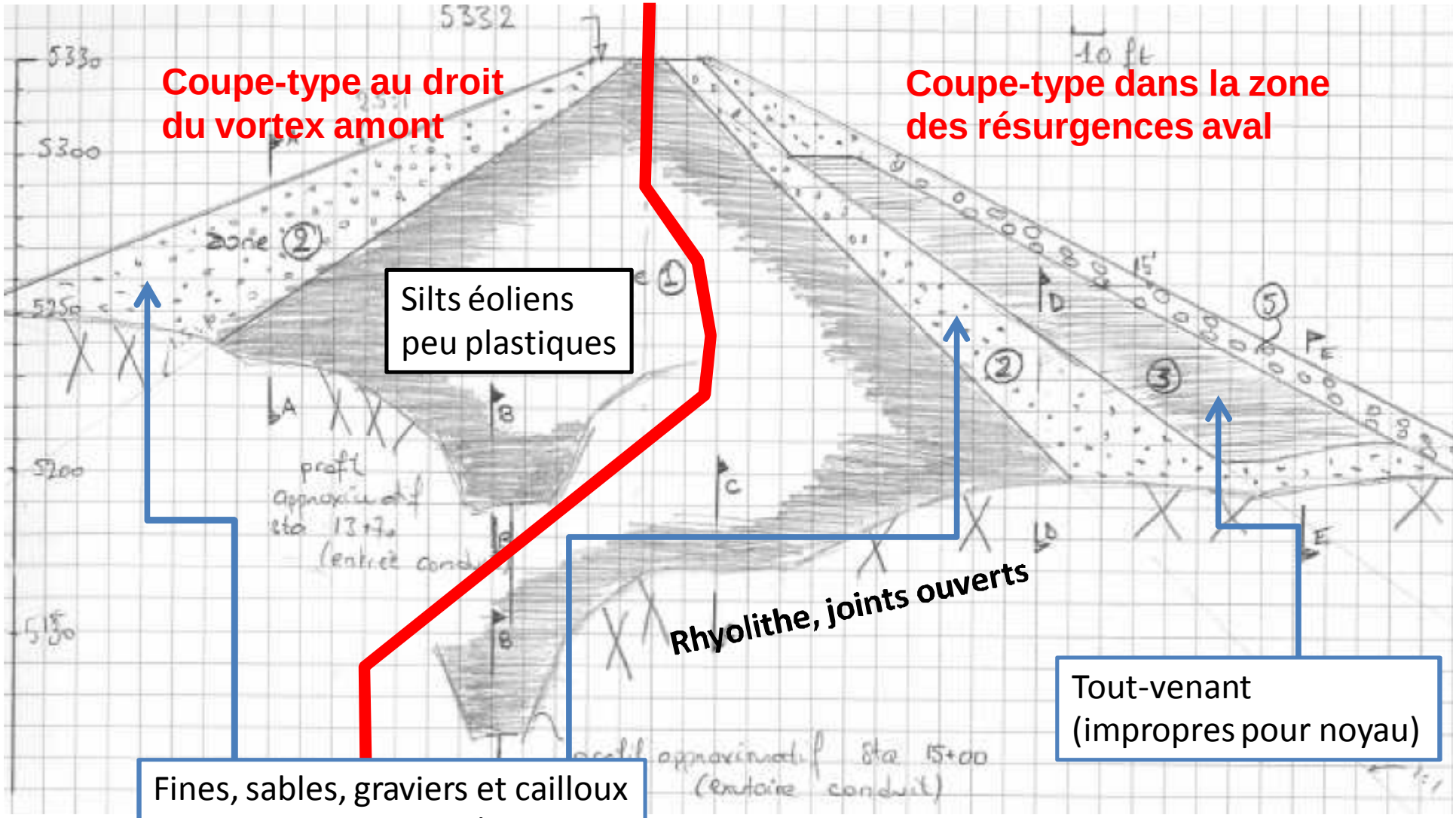


CONSEQUENCES POUR LA SURETE
(Evaluation ERINOH –CIGB 2015)

- **L'approche ERINOH a été utilisée a posteriori et présentée au Congrès CIGB de Stavanger de 2015 pour répondre à deux questions:**

- **Peut-on caractériser la sécurité du barrage par les méthodes du guide ERINOH?**
- **Quels sont les concepts clé ? Qu'aurait-il fallu pour que le barrage résiste?**

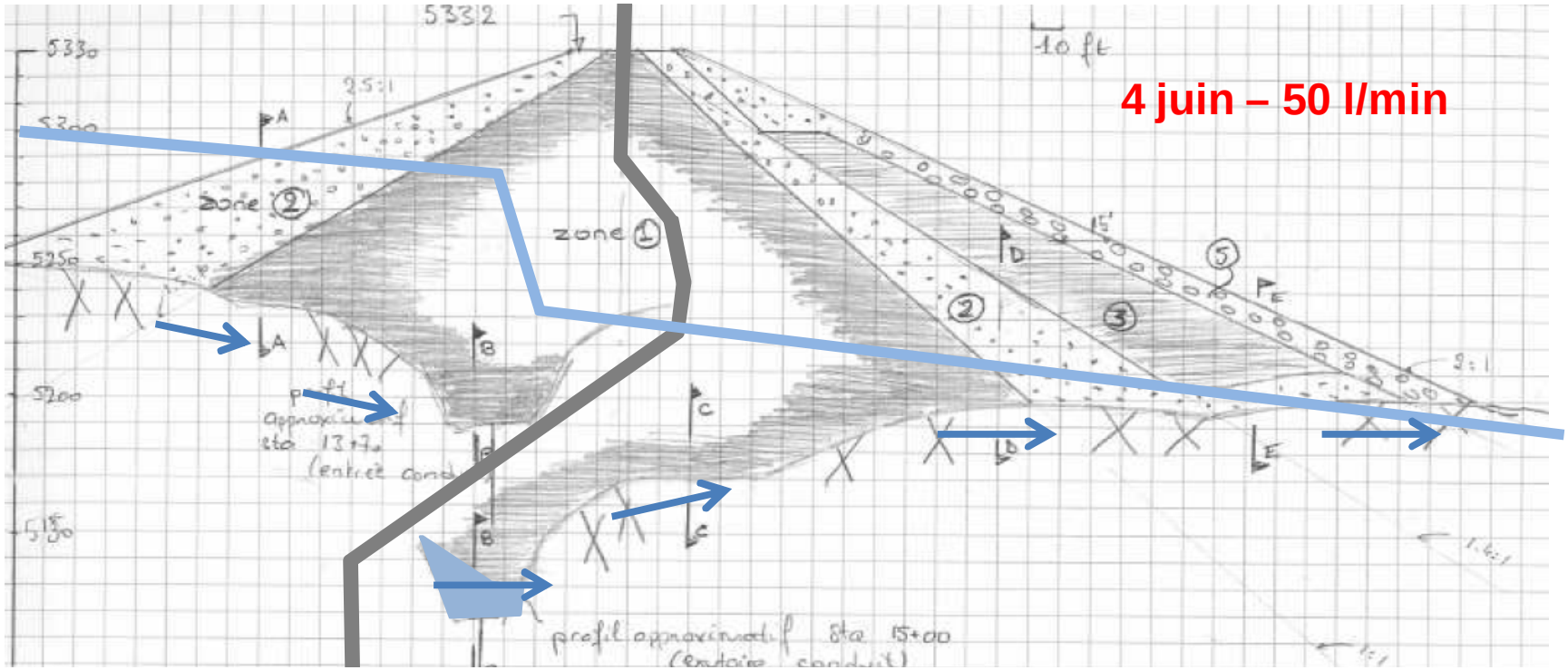
La coupe-type du barrage … avec filtre !



Etape 1 Initiation

Etat initial : clé intègre (raisonnablement étanche)

Etat final : clé claquée par « fracturation hydraulique »



Hypothèse 1 : Fracturation hydraulique (S'3=0) Chadwick, Casagrande, Seed (1976)

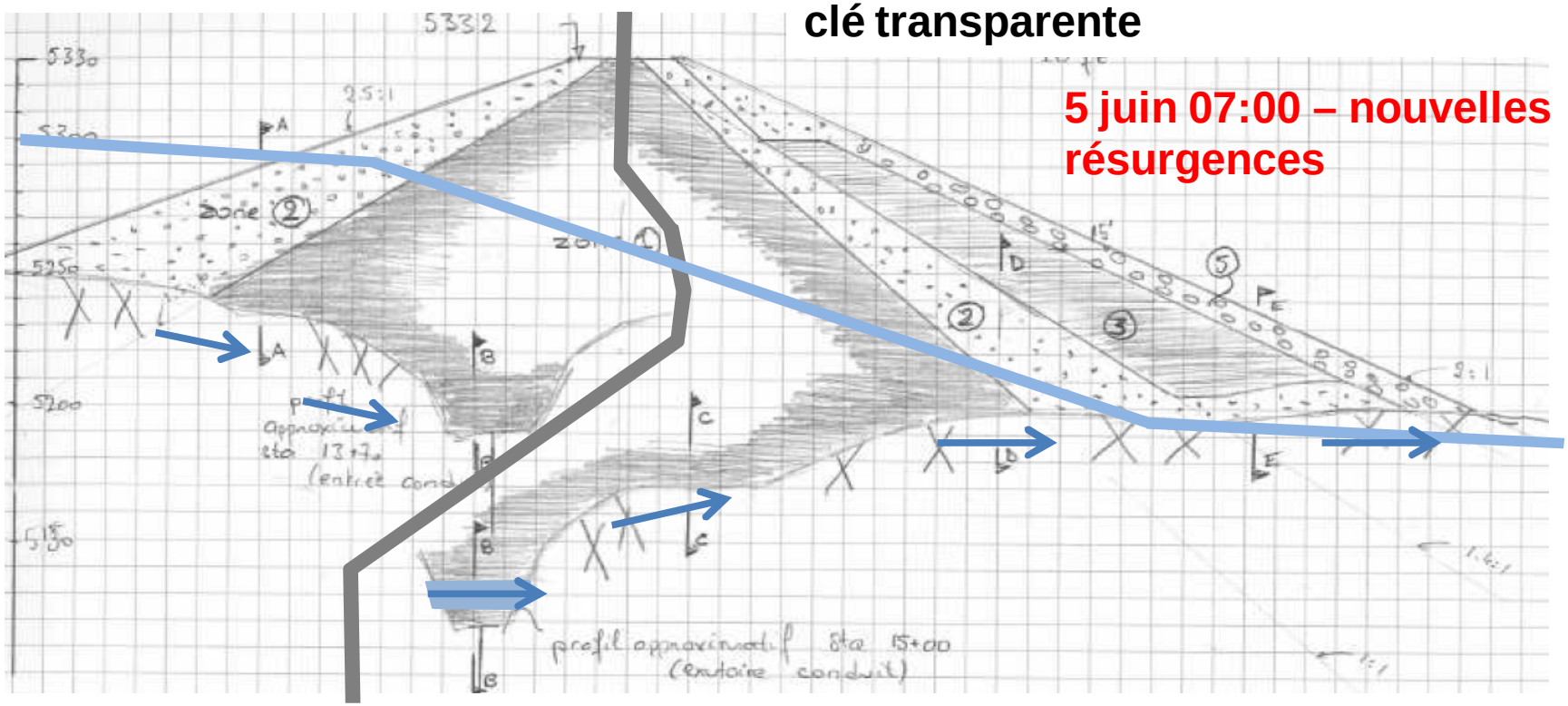
Fissure nécessairement fine, sinon la pression chute. Confirmée par les calculs hydrauliques : ouverture 1.5 mm => 50 l/min.

Hypothèse 2: Erosion concentrée à la base du noyau.

Etape 2 Elargissement du conduit dans la clé

Etat initial : la clé est traversée par une fracture faiblement ouverte

Etat final : la fracture est suffisamment élargie pour rendre la clé transparente



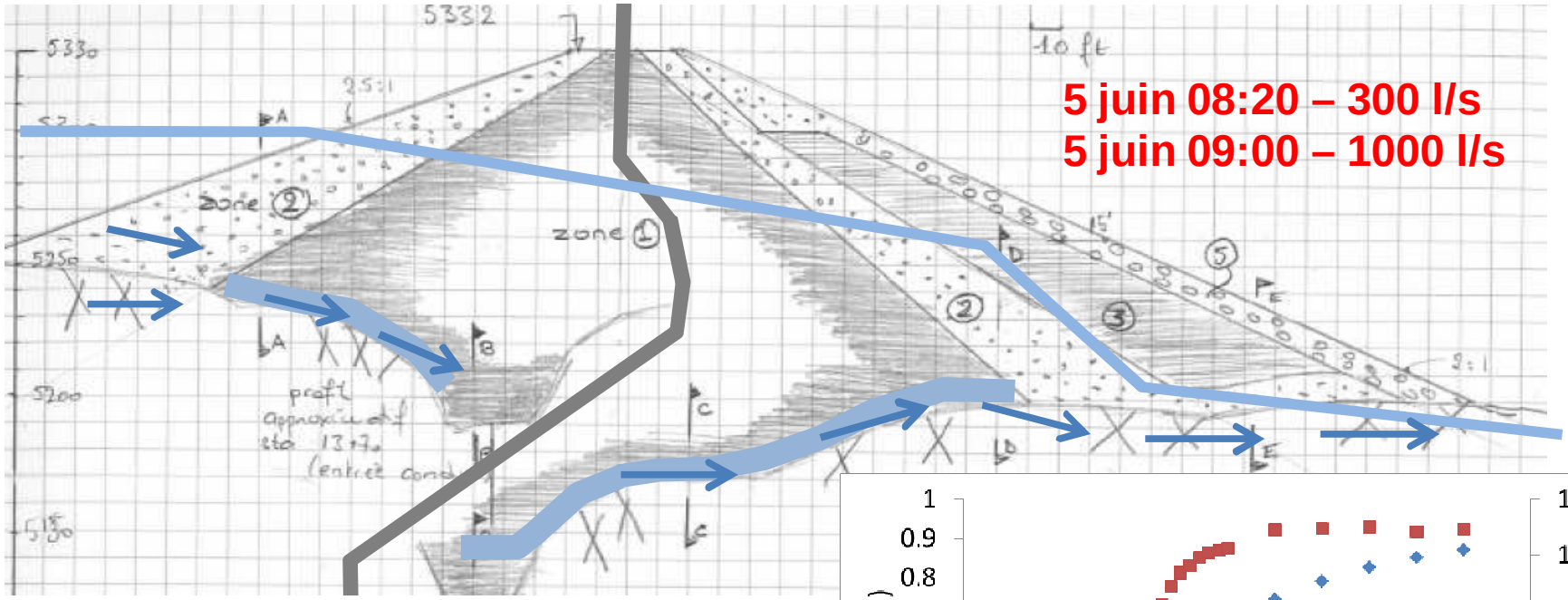
Une érosion par écoulement concentré est initiée dans la fissure de 1,5 mm (calcul HET)

Etat final : fuite à travers au moins une des fissures verticales sous la zone 1 : 10-30l/s.

Etape 3 Erosion de conduit à la base de zone 1

Etat initial : écoulement dans le rocher au contact de la zone 1 début d'érosion

Etat final : érosion de conduit à travers toute la zone 1

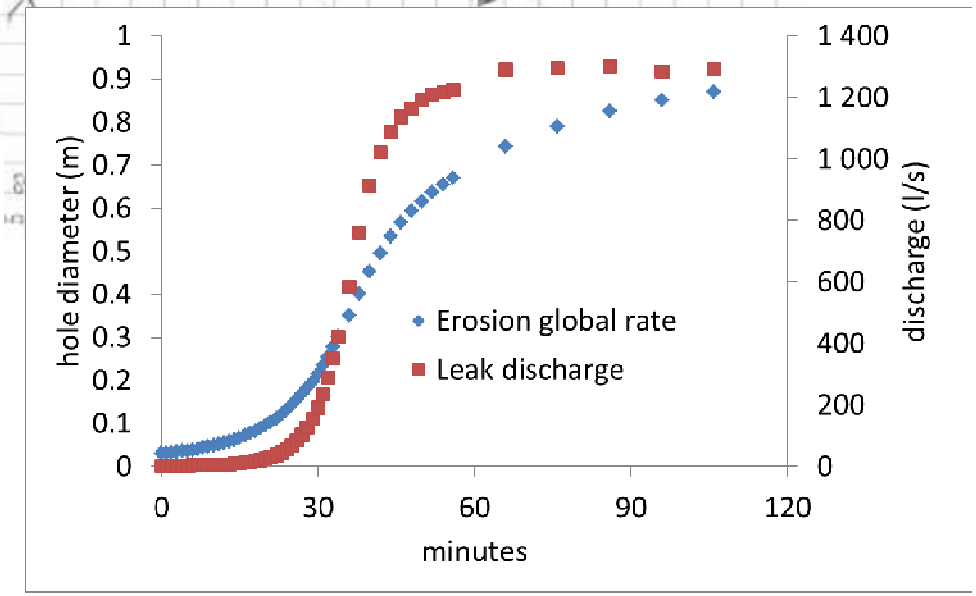


A l'état initial : les critères d'érosion de contact (géométrique, hydraulique) sont atteints.

Erosion jusqu'à initiation de l'érosion de conduit.

Puis élargissement par érosion de conduit.

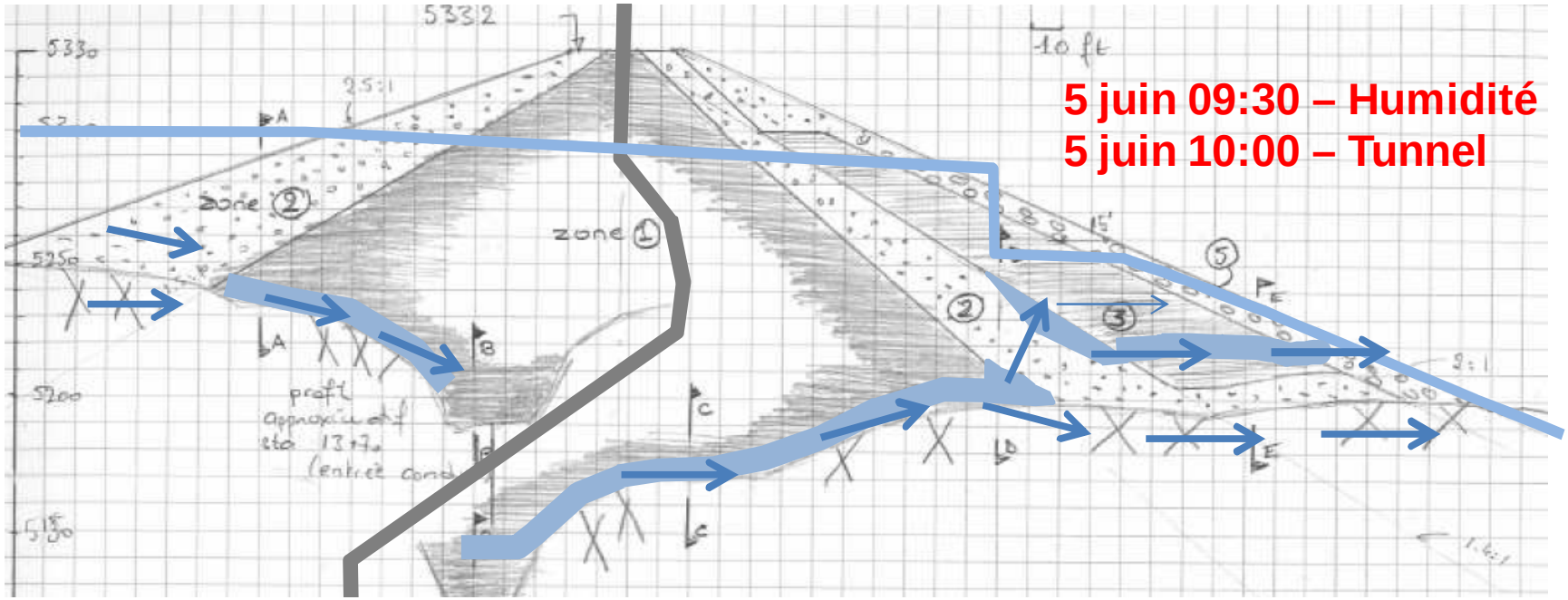
On retrouve bien la cinétique et les ordres de grandeur =>



Etape 4 Percement du filtre et de la recharge

Etat initial : un conduit large à travers la zone 1 (ordre de grandeur du diamètre : 1 m)

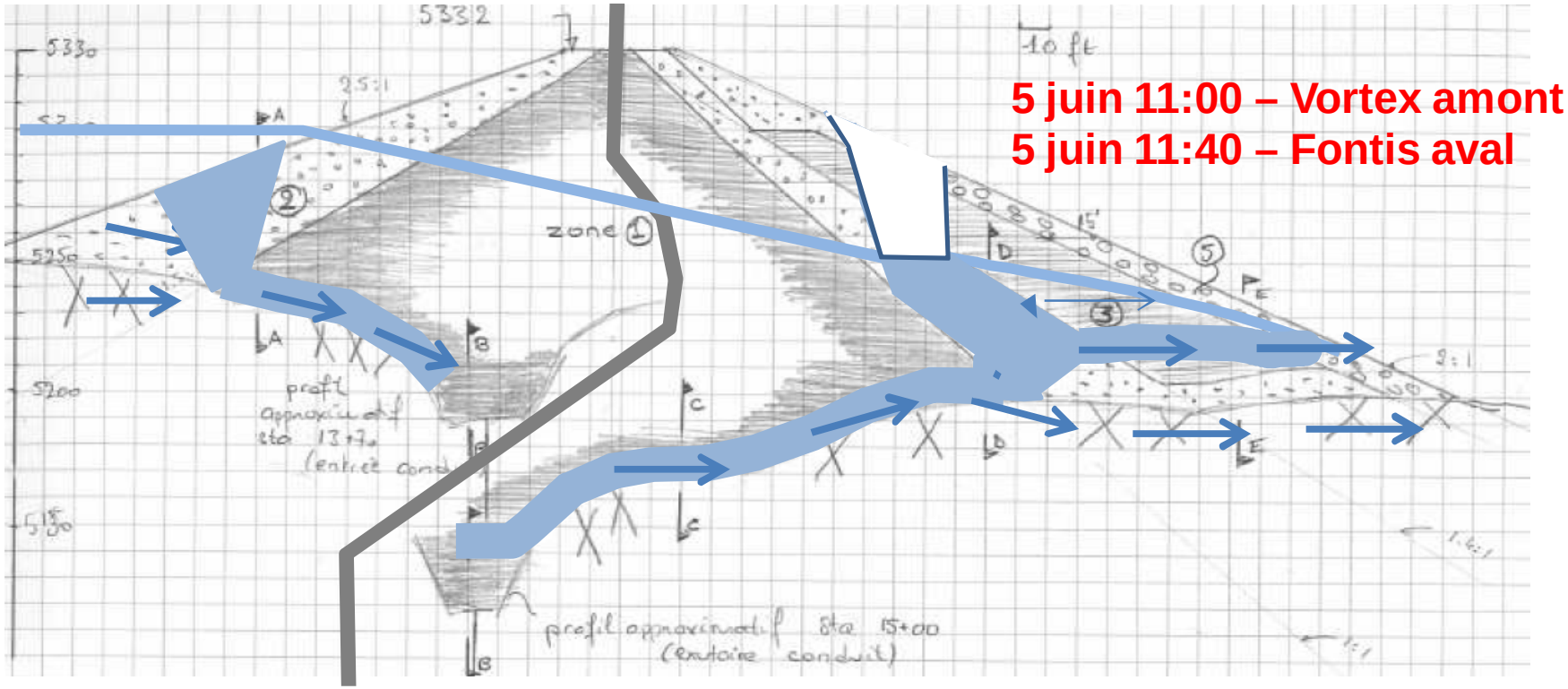
Etat final : un conduit à travers la zone 3



- Saturation de la capacité de drainage en fondation et zone 2
- Montée de la pression dans la zone 2
- Liquéfaction ou fracturation de la zone 2
- Fracturation de la zone 3.

Etape 5 Instabilité des recharges

Etat initial : conduit large à travers zone 1 **Etat final : effondrement zone 2**



Fontis aval zone 2 : le diamètre calculé est du même ordre que les observations

Vortex amont : ?

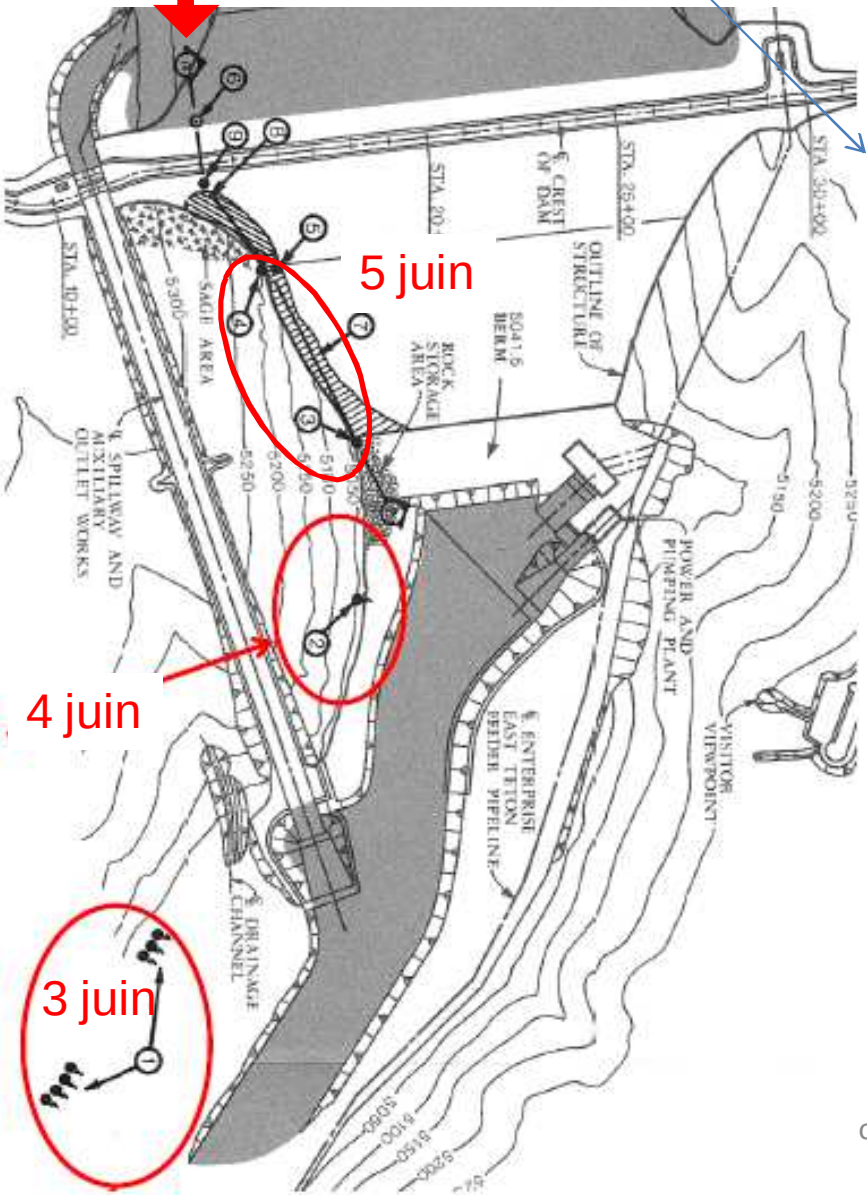
Bilan évaluation de la sécurité par ERINOH

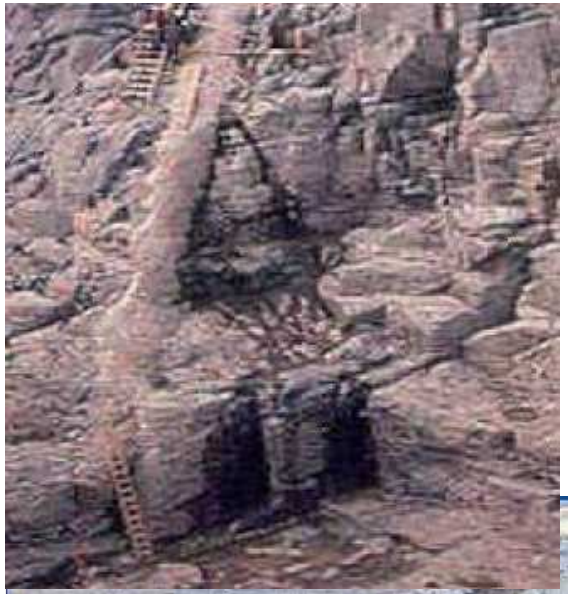
La rupture par érosion interne est provoquée par la superposition de plusieurs conditions :

- **La perte de l'étanchéité.**
  [Par fracturation hydraulique ou écoulement concentré: difficile à éviter]
- **L'élargissement de la fissure**
  [car silts éoliens très érodables et car pas de filtre à l'aval de la clé]
- **Une érosion à la base de la zone 1.**
  [Permis par l'absence de traitement systématique des fissures]
- **Une érosion concentrée en zone 1**
  [Permis par faible résistance silt éoliens & forte sollicitation, liée à ouverture importante des fissures en fondation]
- **Liquéfaction ou fracturation filtre**
  [Difficile à éviter, mais activé à Teton par un filtre imperméable et cohésif]
- **Fracturation hydraulique recharge aval**
  [Possible car noyau large => recharge peu épaisse]

INITIATION DE LA BRECHE

STATION +14.00



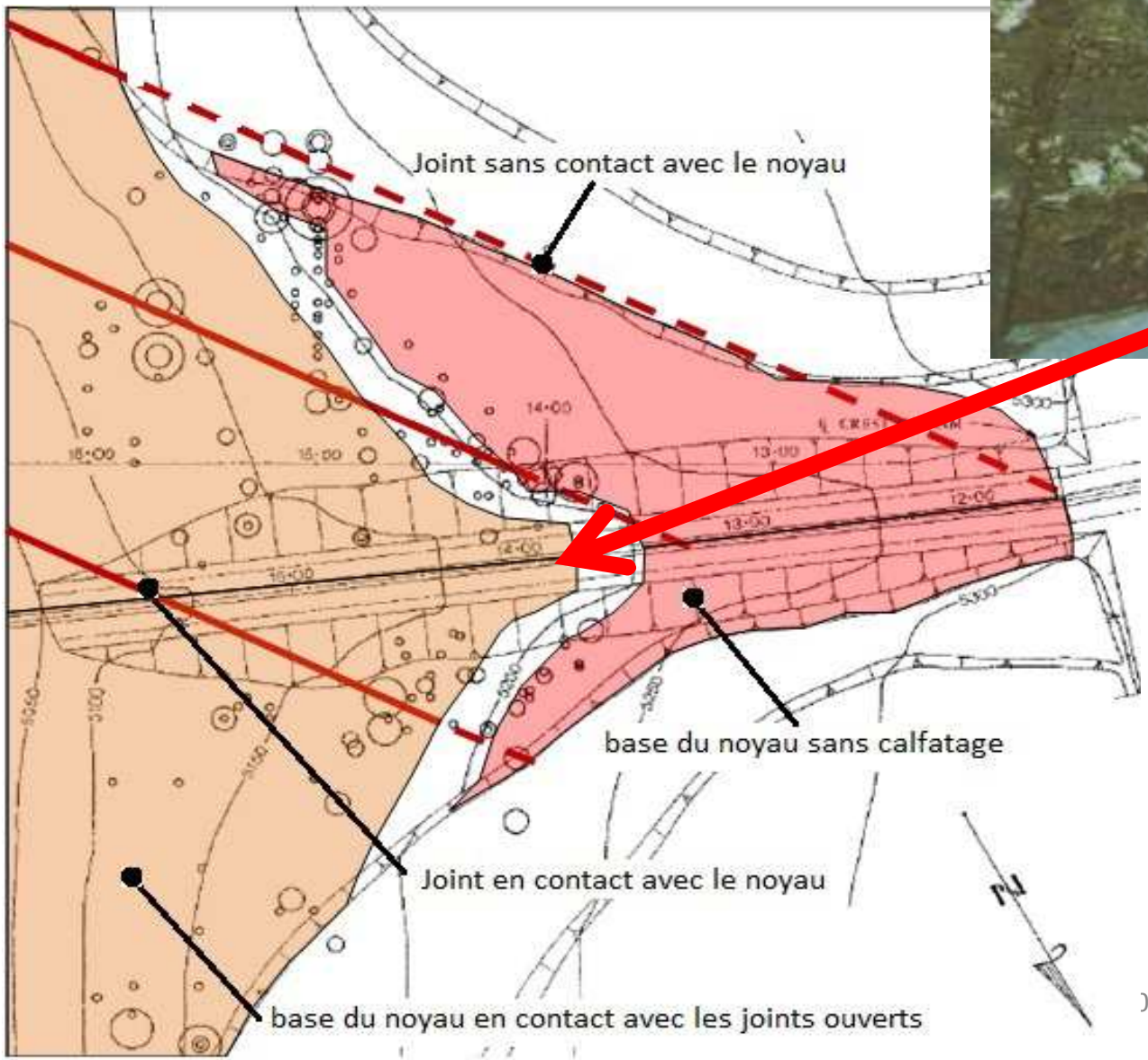


INITIATION DE L'EROSION

Entre les stations +13.96 et +14.26:

Le casque en béton a été emporté au dessus de 3 joints verticaux parallèles

REX: L'IMPORTANCE DES JOINTS



près de la station +14.00 appartiennent aux joints dangereux de l'unité 3 et sont à la limite du traitement de peau.

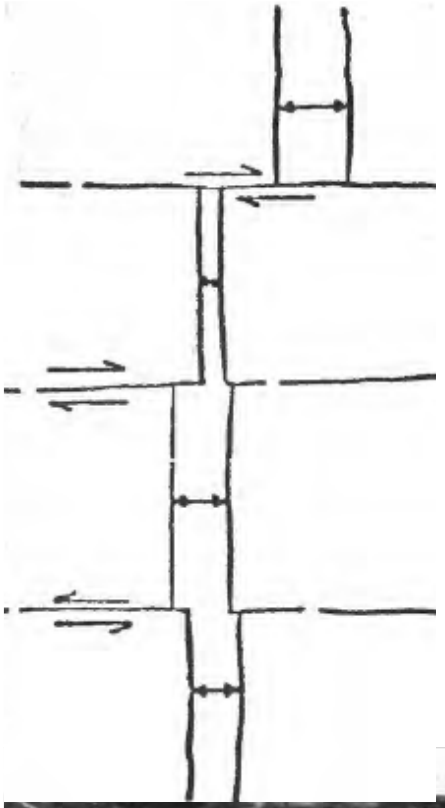
Ils sont prolongés par des joints fortement inclinés qui ramènent les écoulements sous le noyau

REX: RIVE GAUCHE DIFFERENTE

Pas de joint ouvert ni de cavité comme ceux découverts en rive droite

Photo de la tranchée parafouille RG le 11/08/2016

à gauche le casque en béton et à droite quelques cannes d'injection)



REX: ORIGINE DES JOINTS

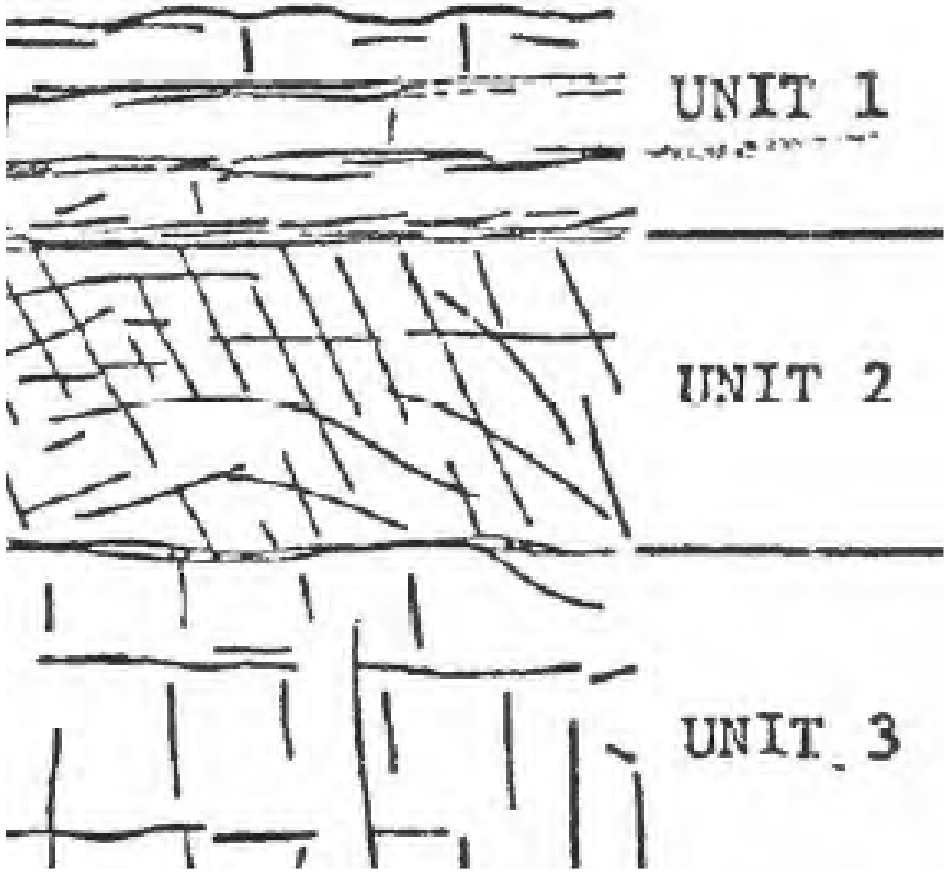
1.MOUVEMENT TECTONIQUE D'EXTENSION

2. FLUAGE ET REPTATION

3.FAUCHAGE ET JOINTS D'APPEL AU VIDE

4.EROSION INTERNE DES SEDIMENTS LACUSTRES SOUS-JACENTS

5.EROSION ET CHUTE

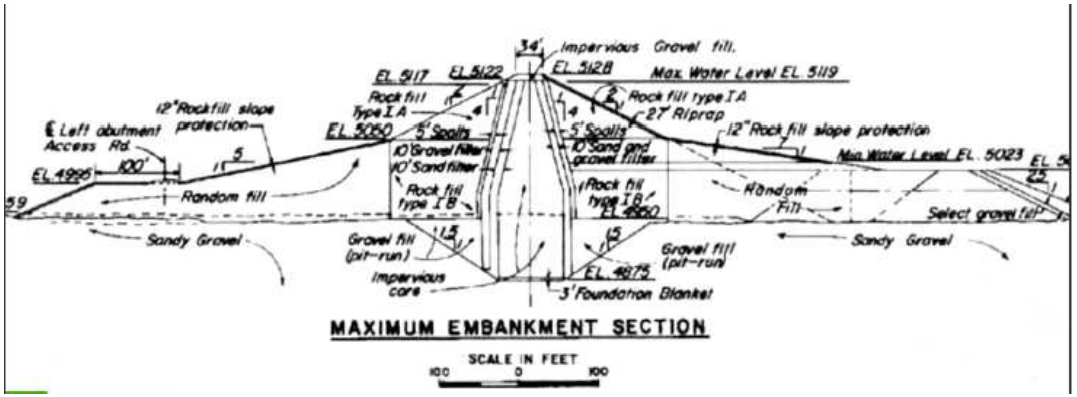


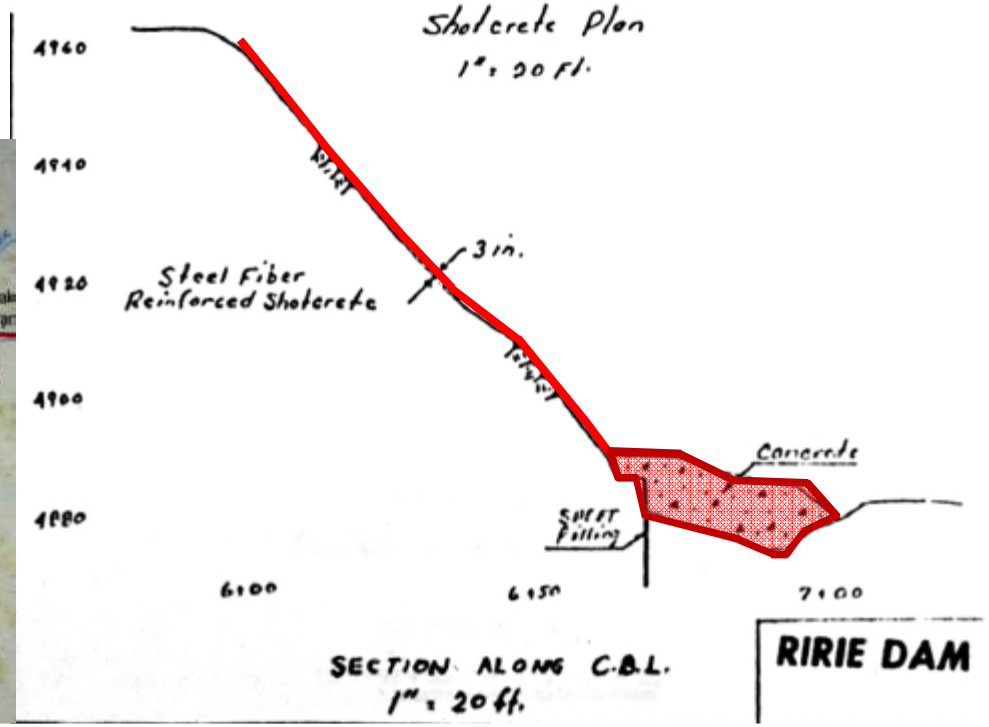
REX SITES VOISINS: ASHTON

- **Barrage de ASHTON (1916)**
- **13 km du barrage de Teton**
- **H=20m « High hazard dam »**
- **Silt/tuff semblables à Teton**
- **1945-2009: 11 incidents ! Fontis, boulance, tassement**
- **Evacuateur BCR/ remblai**
- **Réhabilité en 2012 : bétonnage rocher + injections**

REX SITES VOISINS: RIRIE

- Barrage de RIRIE (1975)
- 25 km du barrage de Teton
- H=76m « High hazard dam »
- Silt/tuff semblables à Teton
- Tranchées parafouille
- Béton projeté fibré sur les pentes et béton de blocage
- Filtre et non pas transition
- 1975-2009: pas d'incidents !





REX REEMPLOI DU SILT EN NOYAU

- **Très bien compacté : 98% OPN**
- **Très sensible à l'érosion interne (USBR-EDF : Thèse de Reggazoni 2009)**
- **HET fixe l'ouverture max admissible des joints**
- **Calfatage du rocher par béton de blocage**

MERCI PETE & JOHN