

ADSTD

JOURNEE TECHNIQUE

Les ponts en maçonnerie

Du diagnostic à la réparation

DIAGNOSTIC DE COMPORTEMENT ET D'ETAT

Jean-Pierre LEVILLAIN Ingénieur conseil - JPLCONSEIL

L'OUVRAGE COMPORTE UNE STRUCTURE ET DES FONDATIONS

conduite de l'élaboration du diagnostic

1 - identifier le malade :

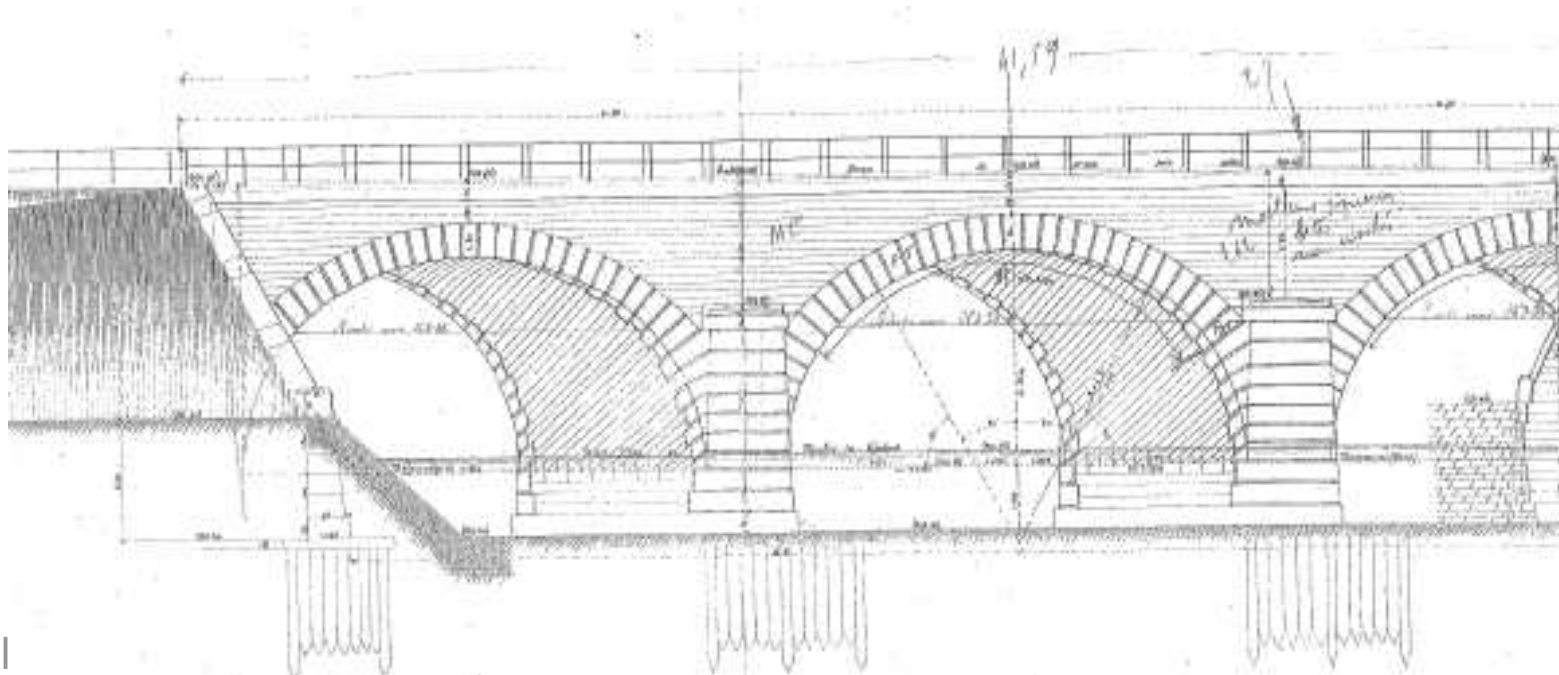
par sa géométrie (par sa forme et ses dimensions, ses voûtes et l'intrados ,

par ses fondations (plan descriptif, technique, niveau d'assise, nombre de pieux,.

par son âge et son histoire, par son implantation dans le site,

par l'établissement des plans, élévation, coupes, recherche du mode de construction et des matériaux,

par la surveillance effectuée et les travaux éventuels exécutés.



2 – relevé visuel, auscultations externes et internes

Relevé visuel ou visite détaillée,

Évolution de sa géométrie,

Recherche des fissures et fractures structurelles

Matériaux constitutifs de l'ouvrage,

Environnement et désordres des abords et du lit de la rivière

Auscultations externes :

- inspections subaquatiques par scaphandriers titulaires du CQP,
- levés bathymétriques,
- mise à sec des appuis,
- dégarnissage localisé pour recherche du type et du niveau de fondation

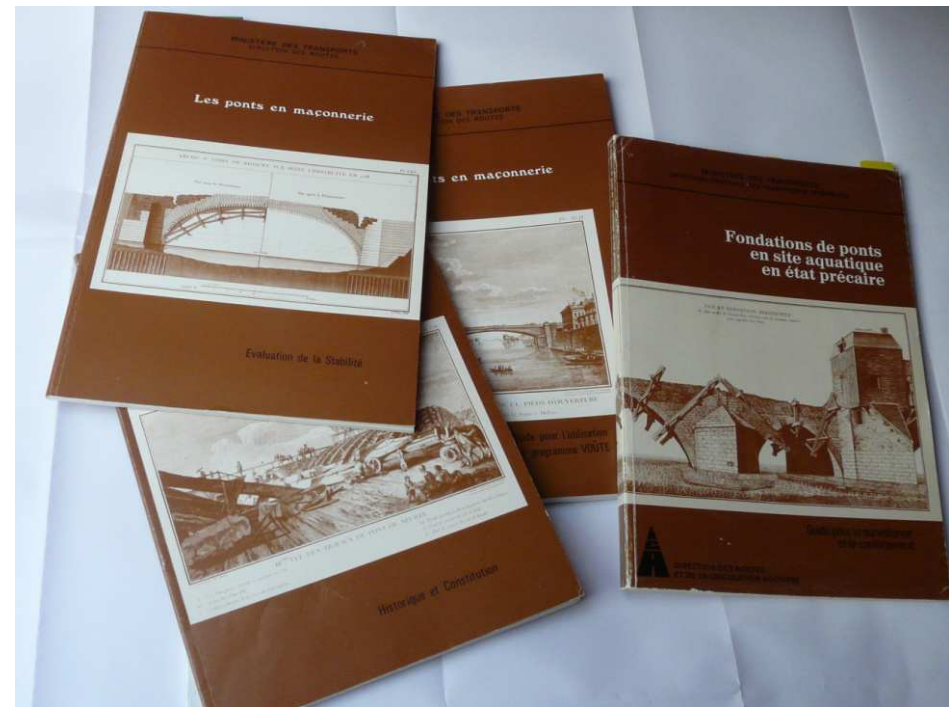
Auscultations internes :

- sondages carottés et essais dans les sols,
- essais d'eau dans les maçonneries,
- essais en laboratoire sur sols et maçonnerie

COMMENT ENTREtenir ET REPARER A BON ESCIENT UN OUVrage D'ART ANCIEN SANS BIEN CONNAÎTRE SA PATHOLOGIE ?

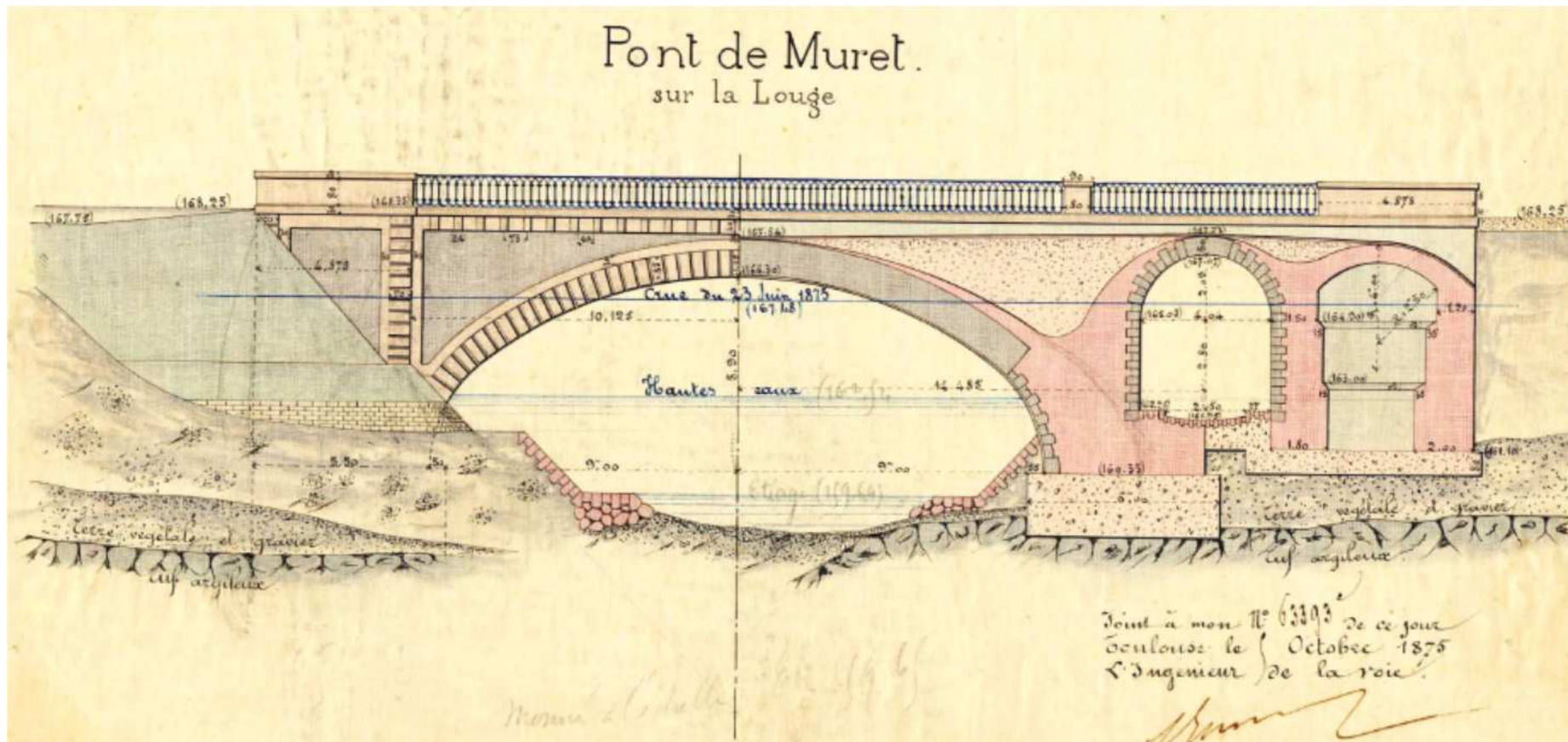
- de l'importance de la connaissance des techniques de fondation et de la construction des maçonneries anciennes,
- de l'importance de la connaissance de l'hydraulique et de la morphologie de la rivière et de ses affouillements,
- de l'importance de la connaissance des sols de fondation et de leur portance,
- de l'importance de la connaissance des conséquences des agressions sur les matériaux constitutifs et des désordres provoqués dans les fondations,
- de l'importance de la connaissance et de l'analyse du comportement des structures et des fondations,
 - de l'importance de la connaissance du rôle social de l'ouvrage.

Des documents d'aide à l'établissement de l'état et du comportement des ponts en maçonnerie



LES DONNEES DU DOSIER D'OUVRAGE

- la description de l'ouvrage (géométrie, matériau), sa date de naissance, son histoire, l'exploitation des inspections détaillées et subaquatiques et les évolutions...



Examen visuel pour la surveillance des fondations

- C'est la recherche des défauts et anomalies en structure hors eau et hors sol
- annonçant un désordre suite à une défaillance dans les fondations.
- Il faut **VOIR** l'ouvrage
- l'ouvrage doit être nettoyé et entretenu



Recherche des défauts d'ordre structurel

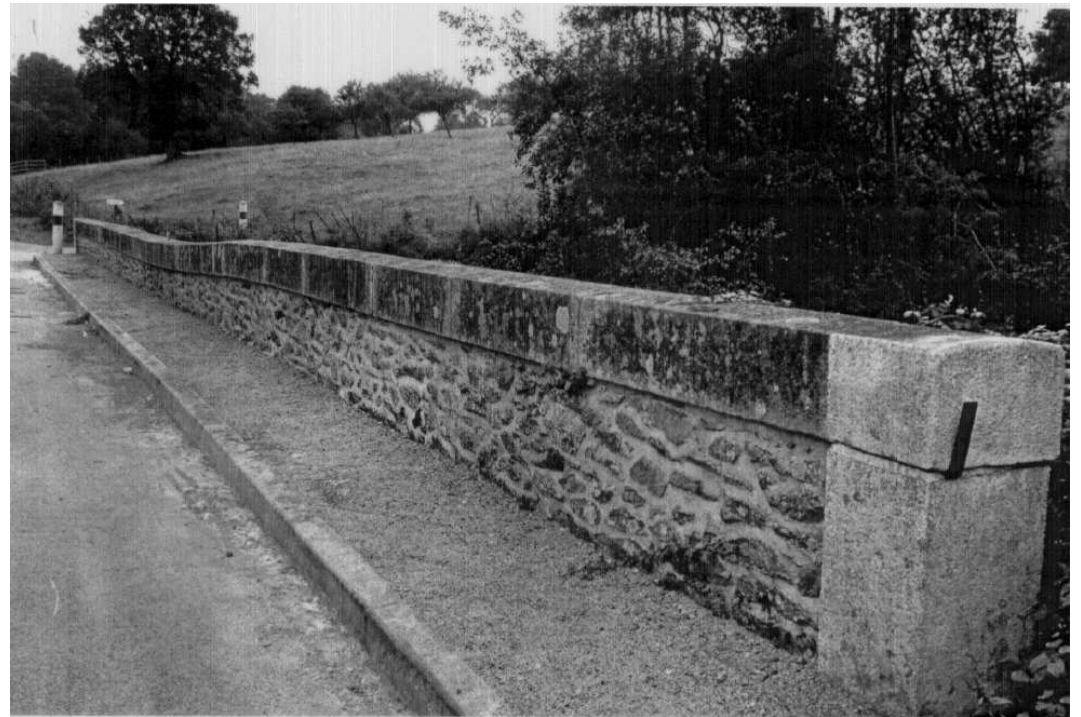
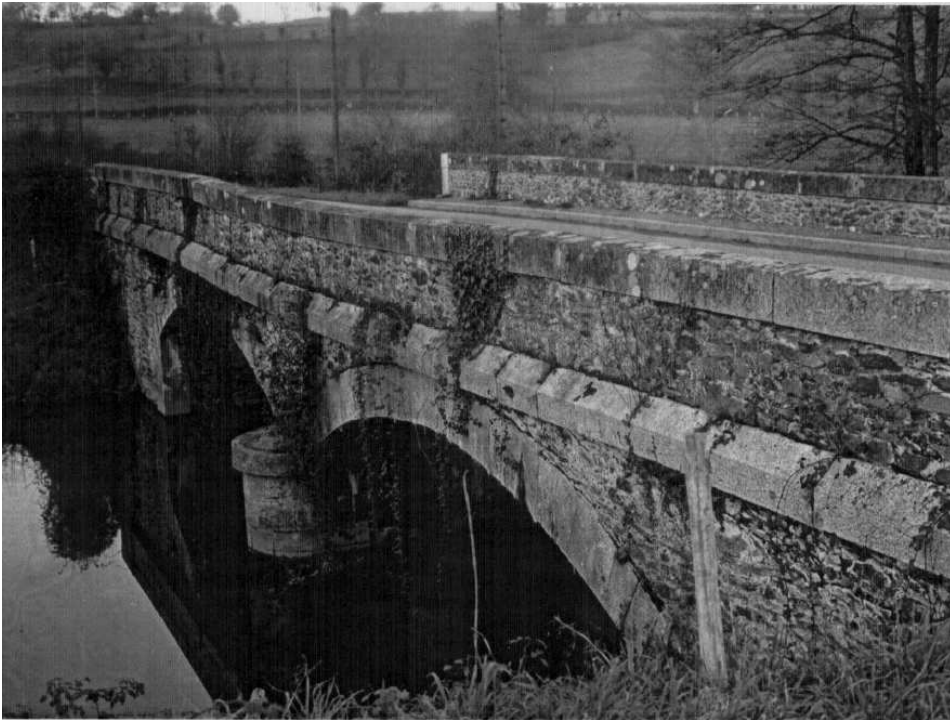
DESORDRES DANS LA GEOMETRIE DES STRUCTURES

recherche dans les alignements des couronnements et des plinthes,
recherche des défauts d'horizontalité, de verticalité, de planéité,
recherche sur les alignements des becs et des chaperons,....

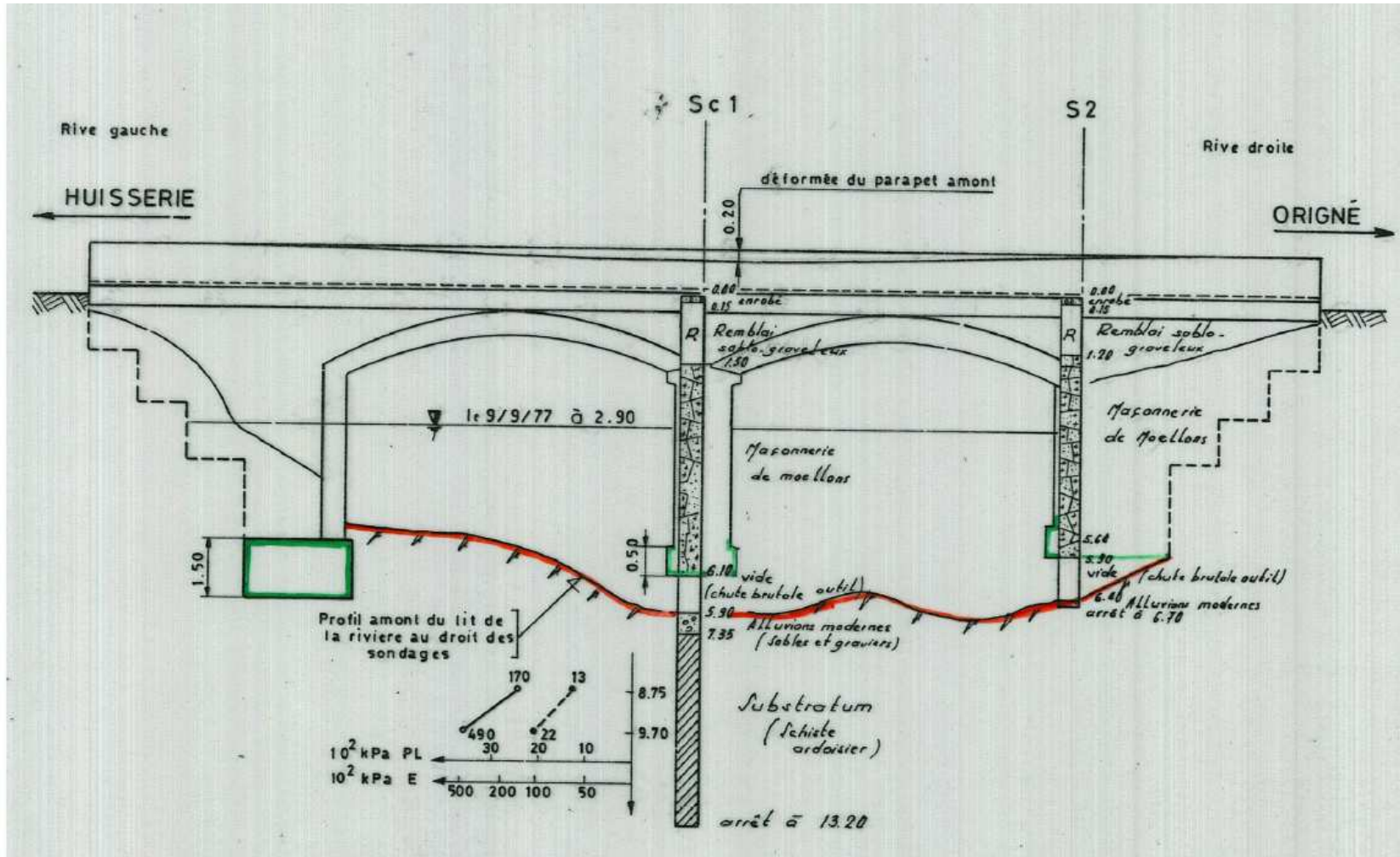
RECHERCHE DES FRACTURES

dans les piles et les culées, dans les douelles, sur les parements, ...

Déformée du parapet due au tassement de la pile en amont

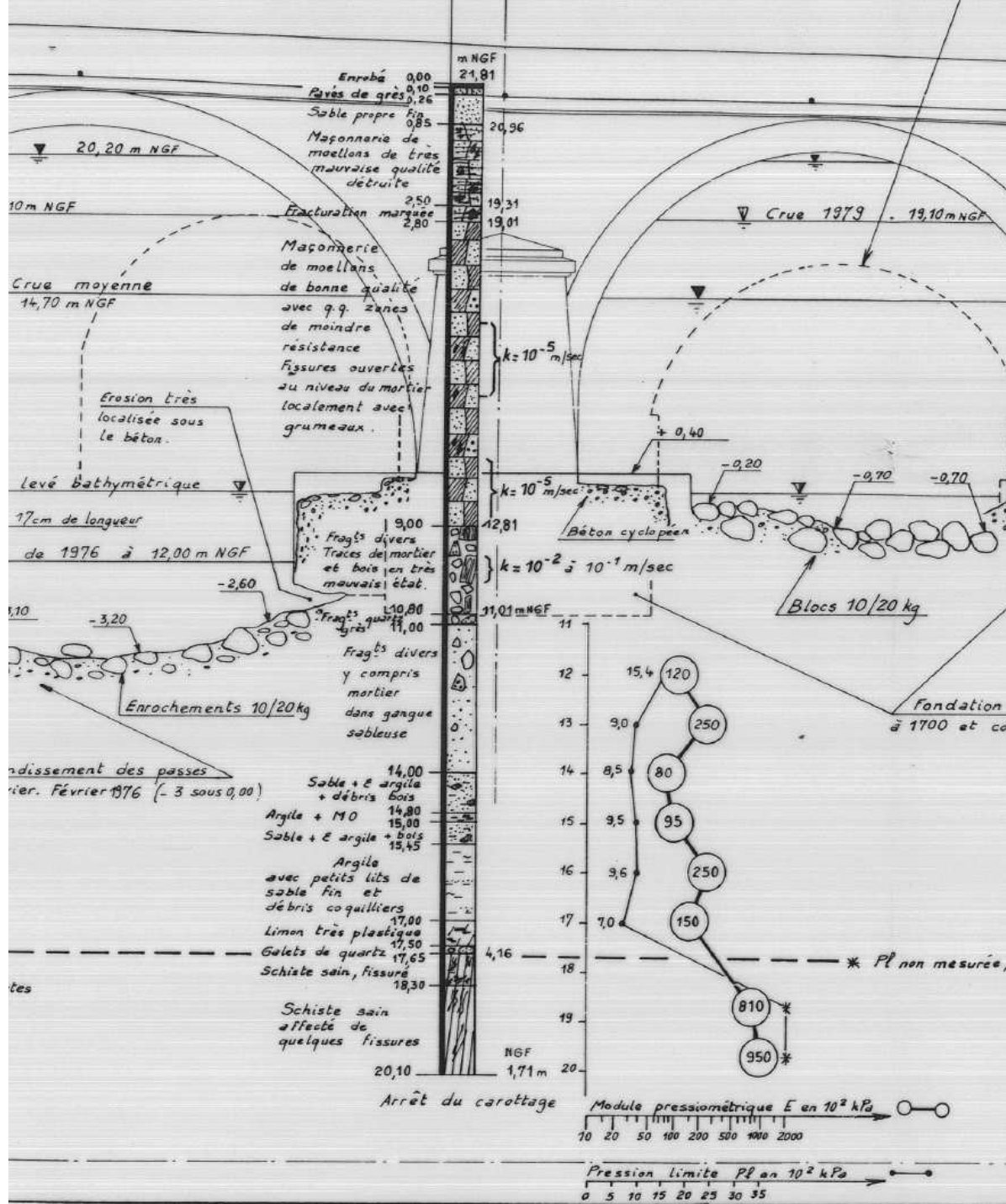


Les reconnaissances par sondages et essais mettent en évidence des cavités sous les fondations



Déformée du parapet aval et élévation aval du pont

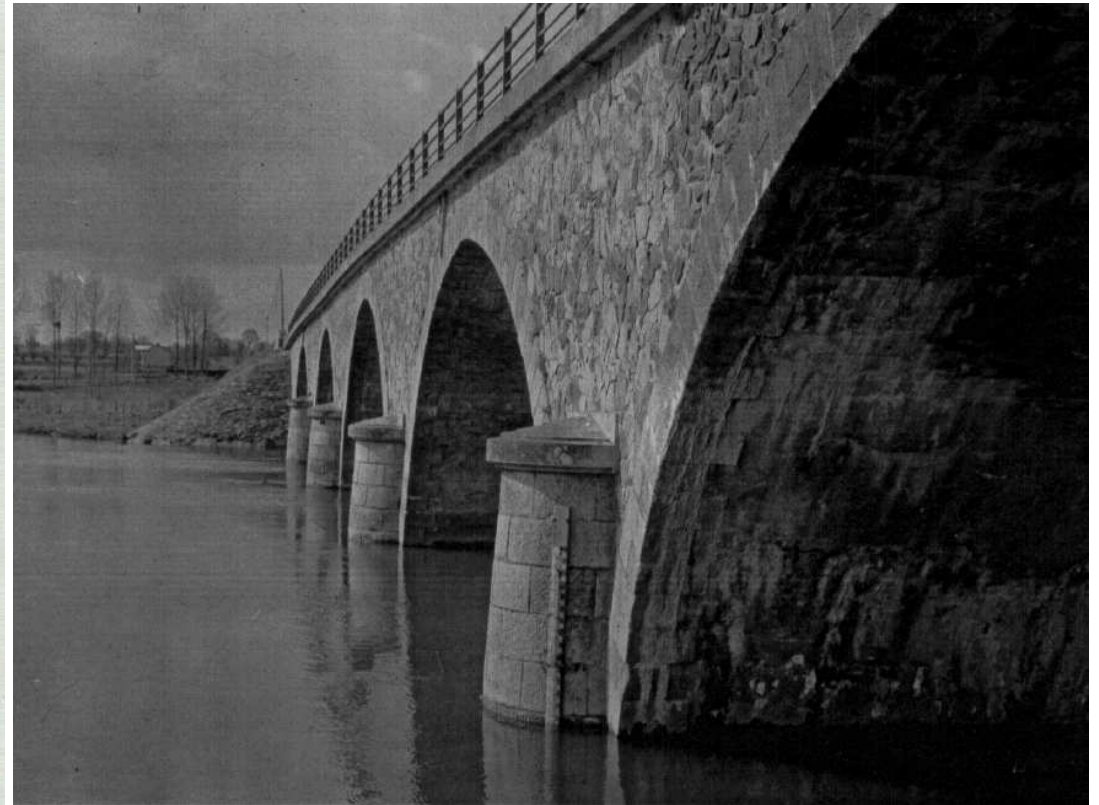
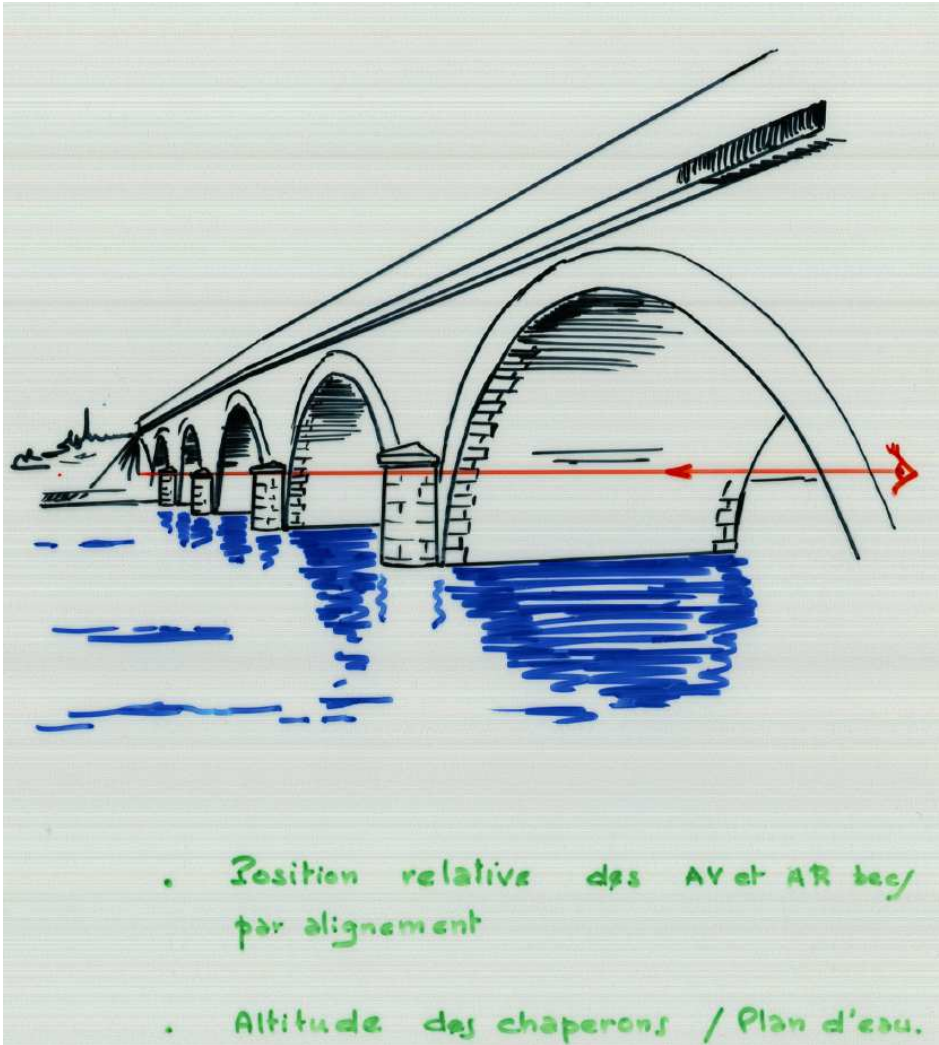




Alignement des joints avec le plan d'eau

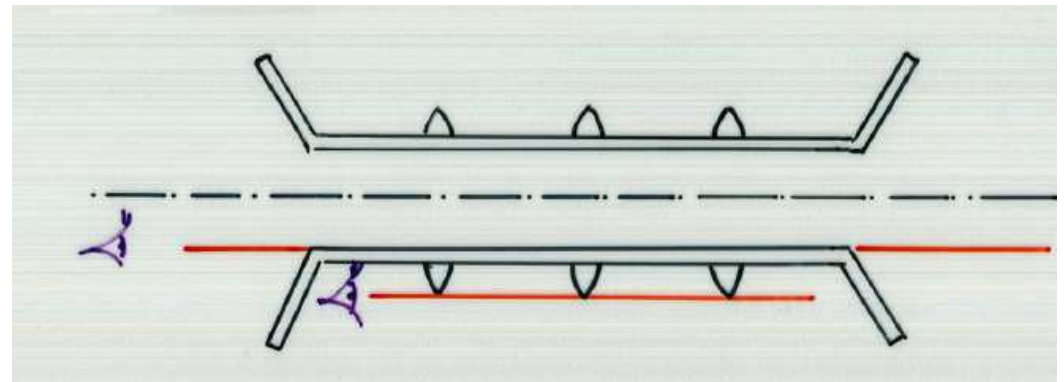
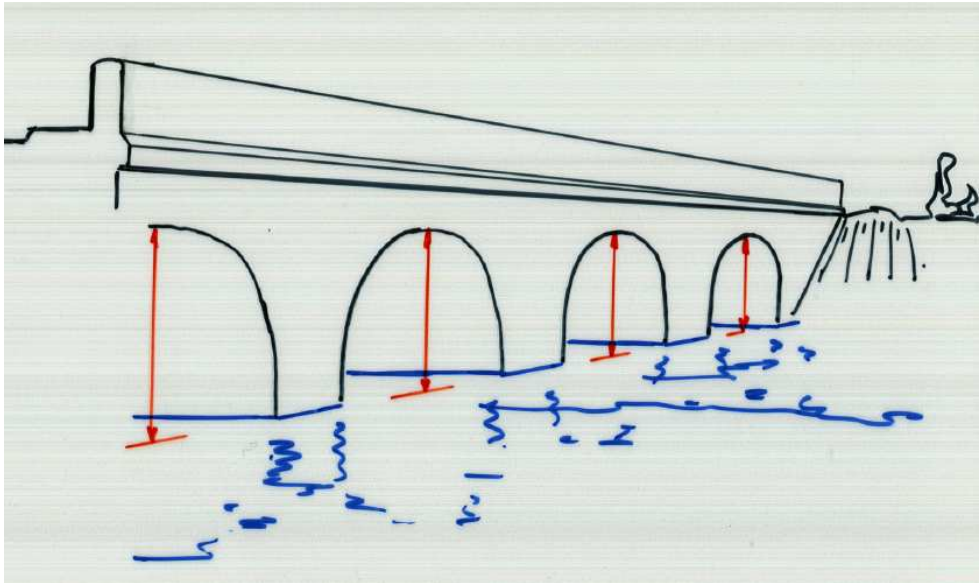


Altitude relative des chaperons et leur alignement

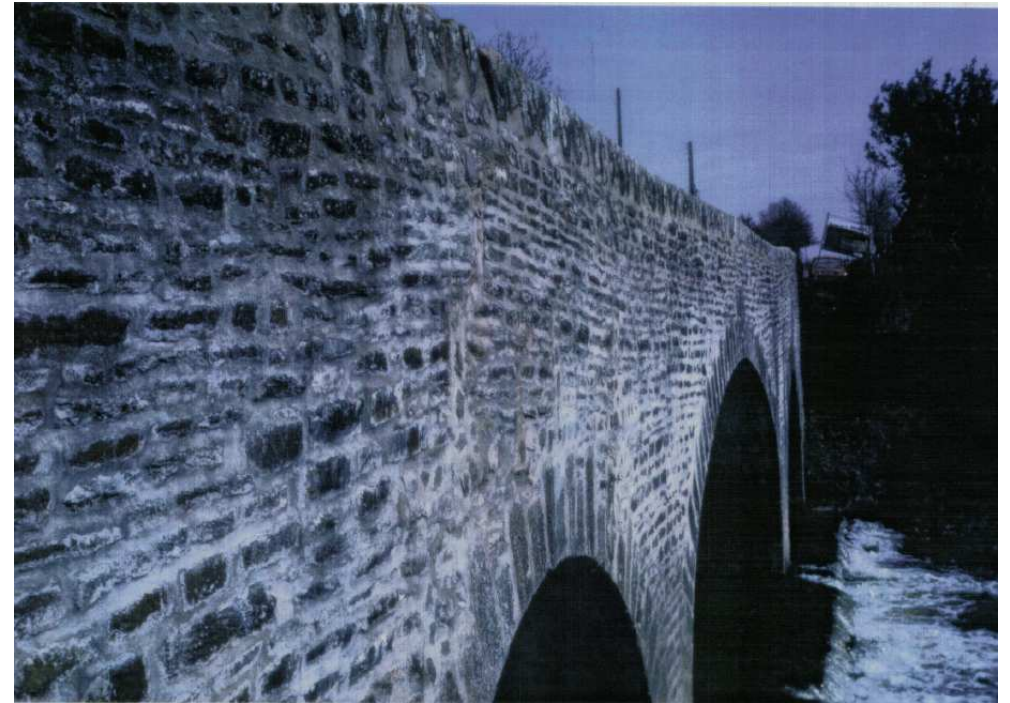
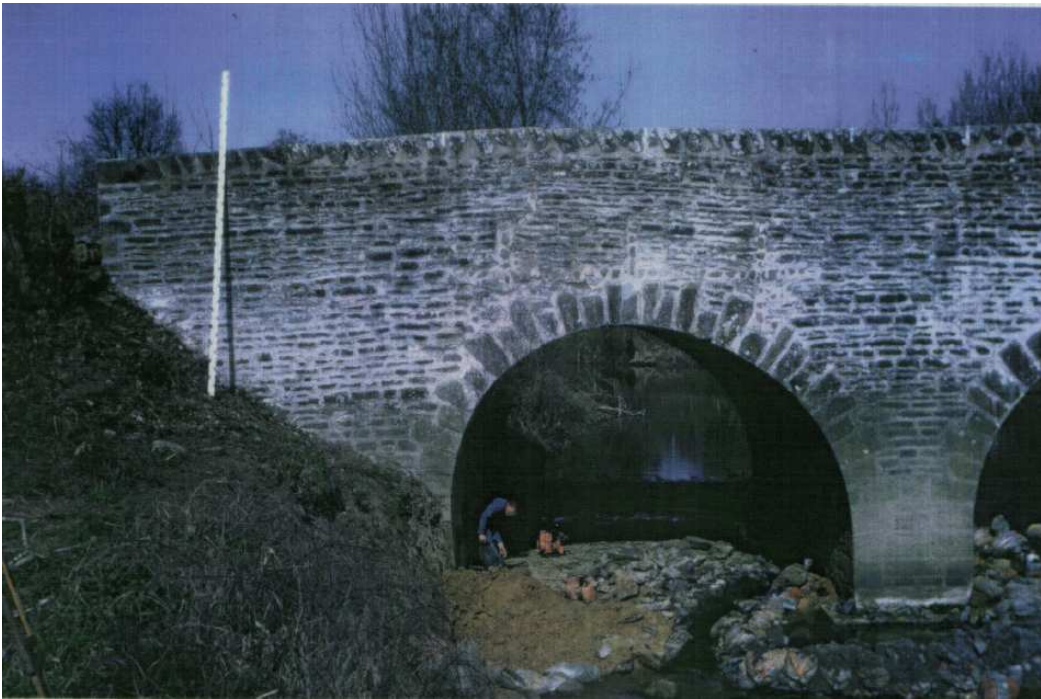


Hauteur des clés des voûtes

alignement des parapets et des becs

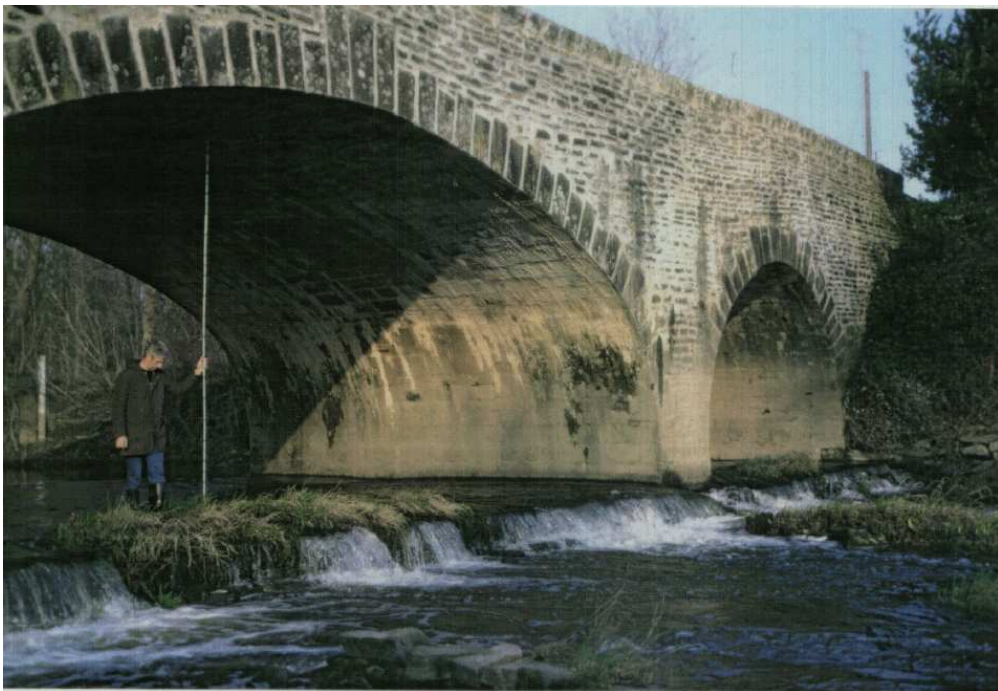


Alignement des joints des pierres

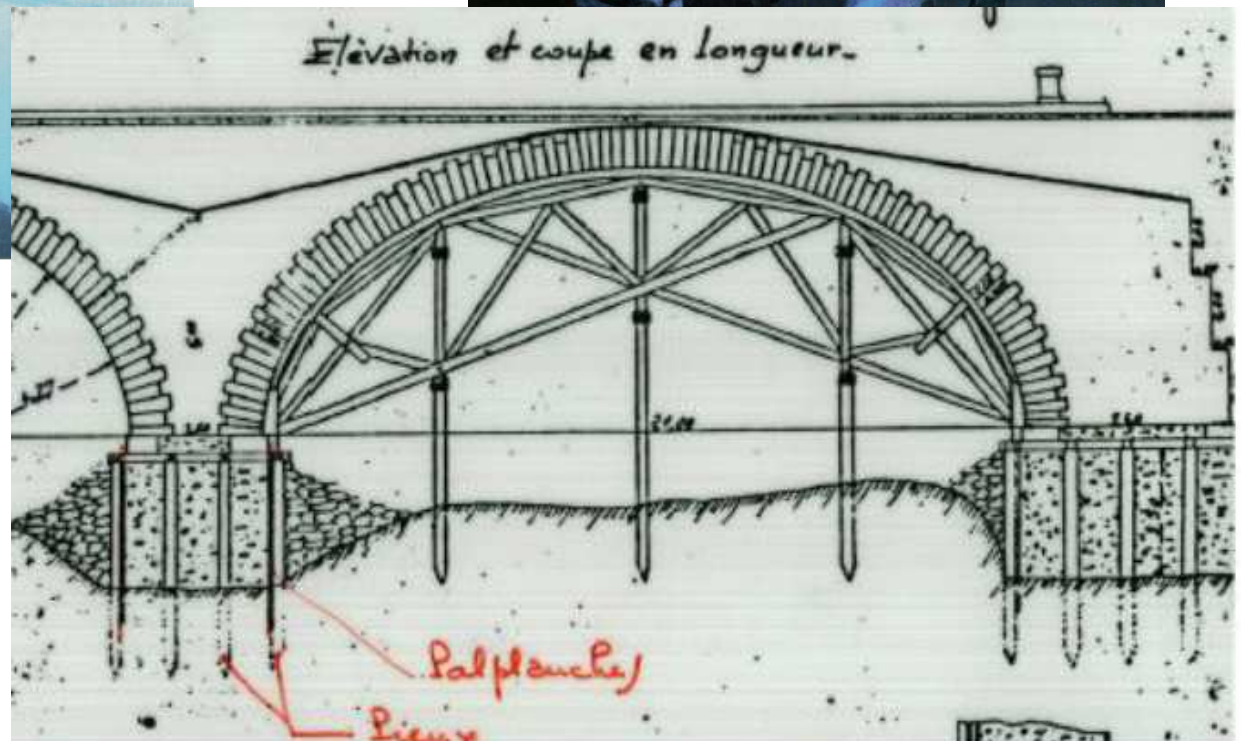
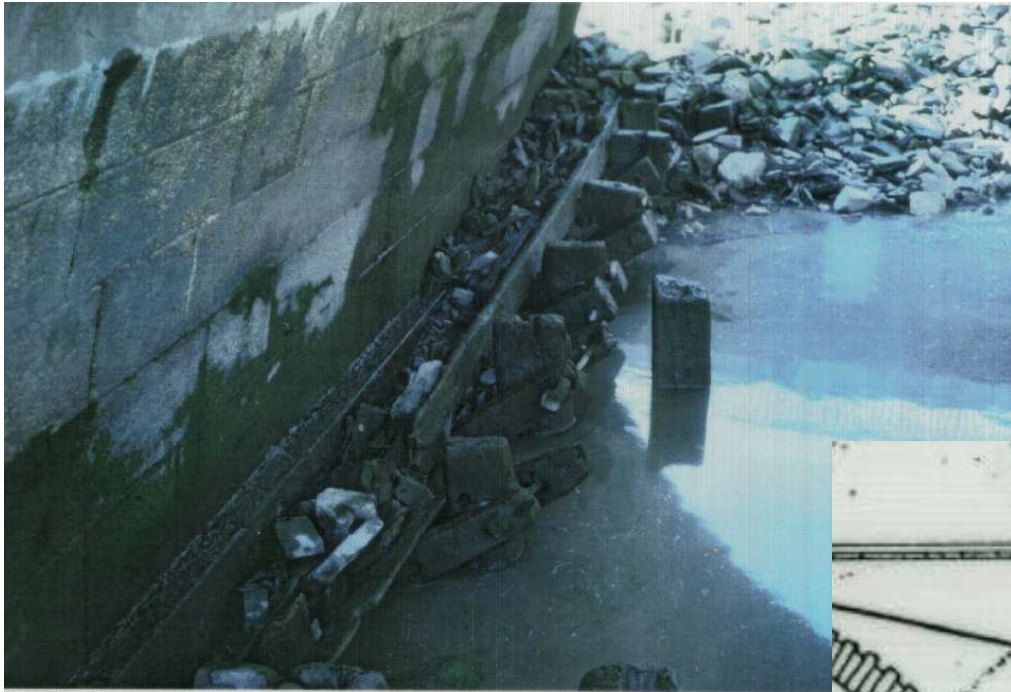


Vue aval de l'ouvrage

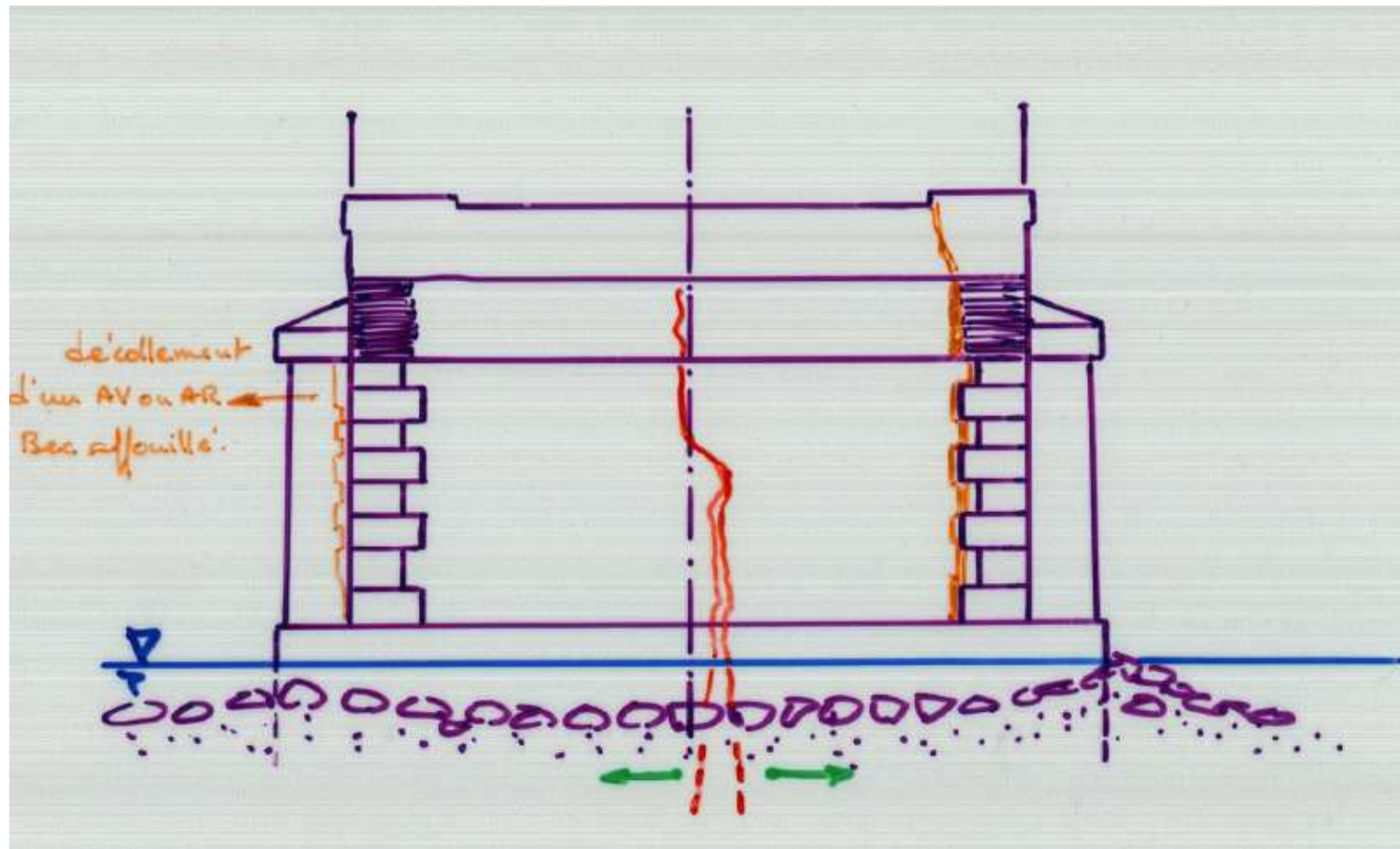
les fondations



Déformée des traversines significative d'un tassement des fondations



Fissures et fractures dans les piles et culées

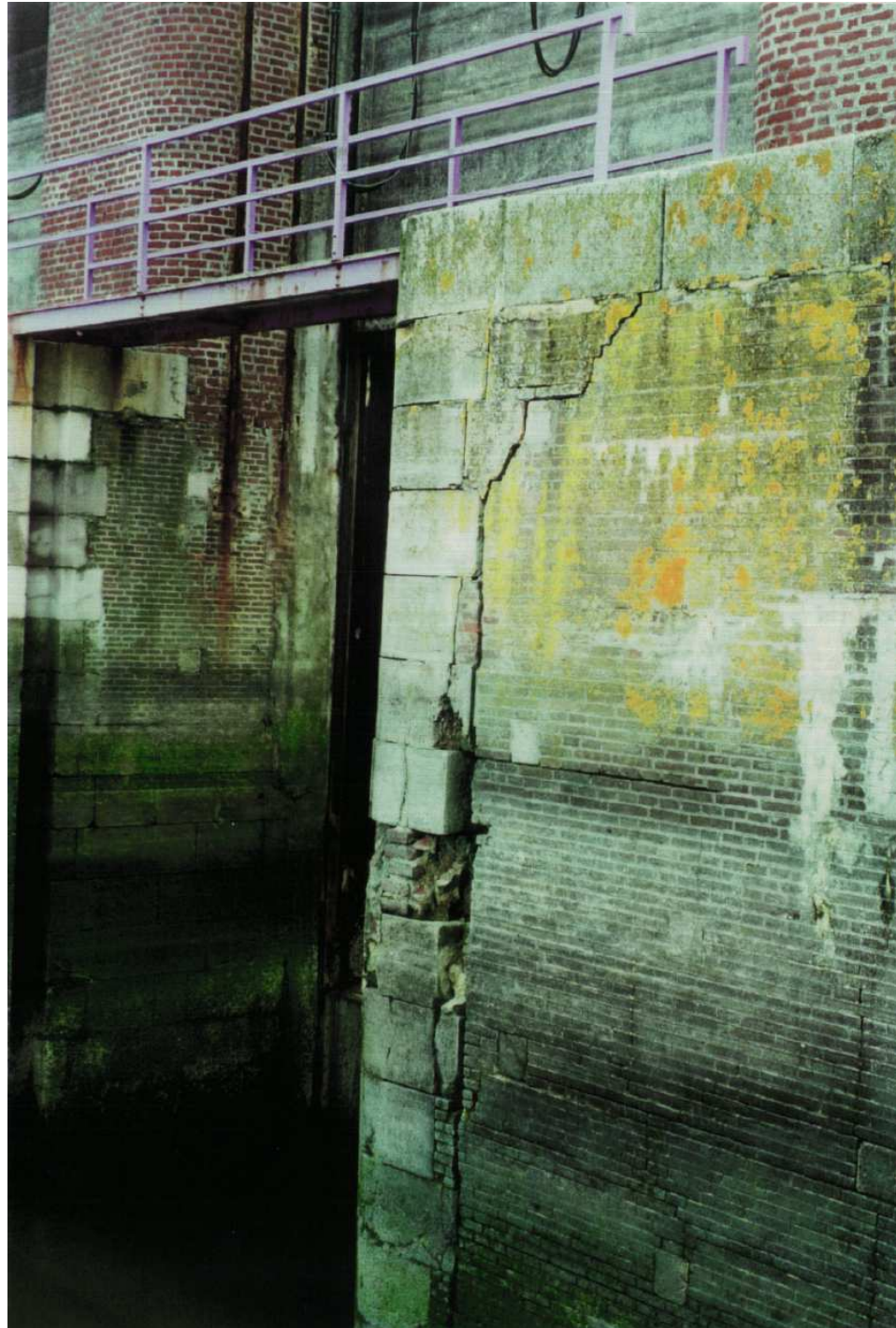


Recherche des grandes directions des fractures et des ouvertures et fermetures



Fracture par flambement du chaînage
d'angle

et noter les différents matériaux



Fracture dans la douelle par déplacement d'appuis





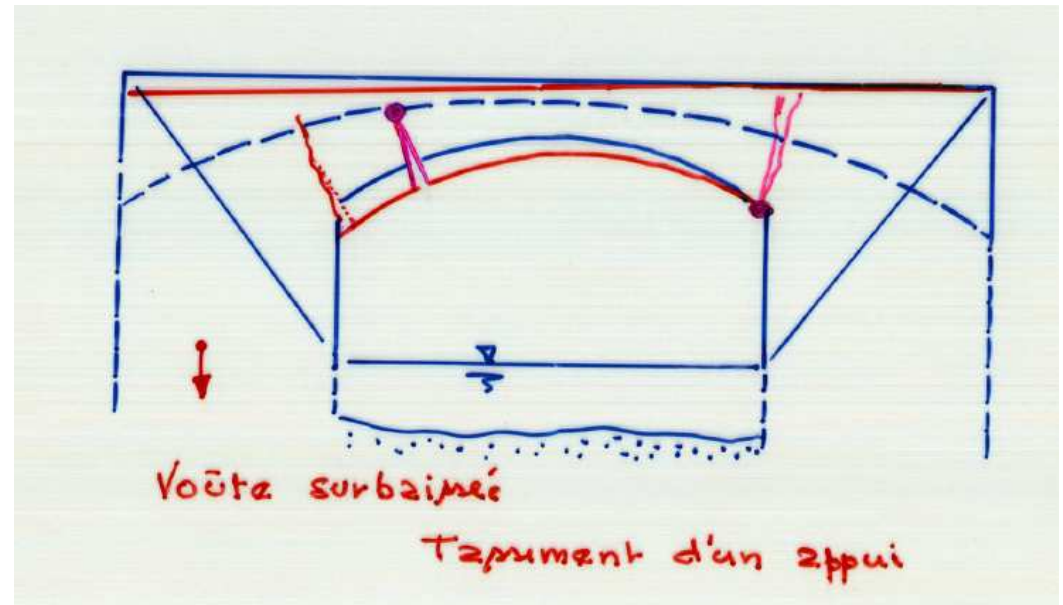
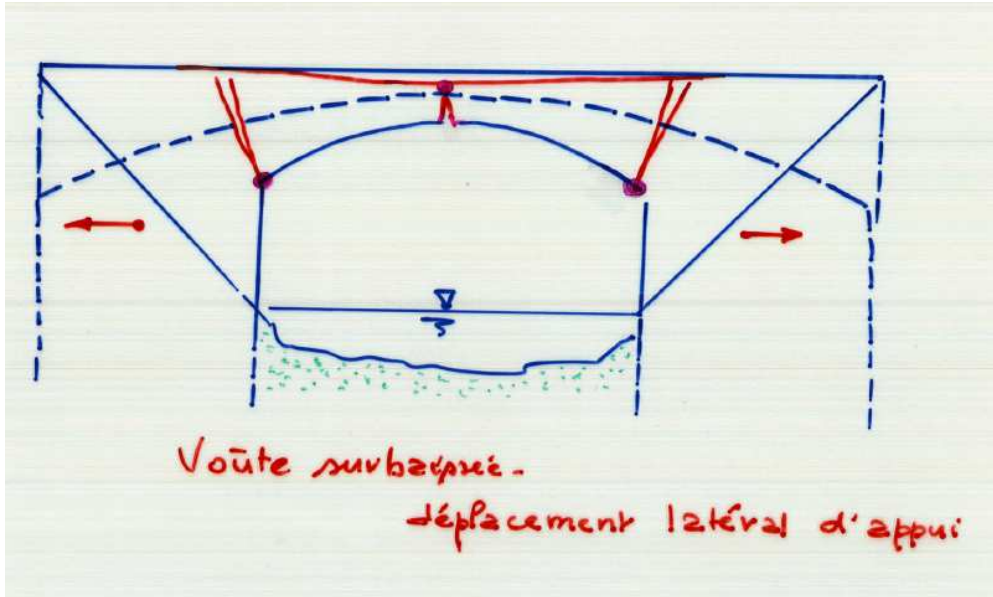
Angers (49), le 12 octobre 2015



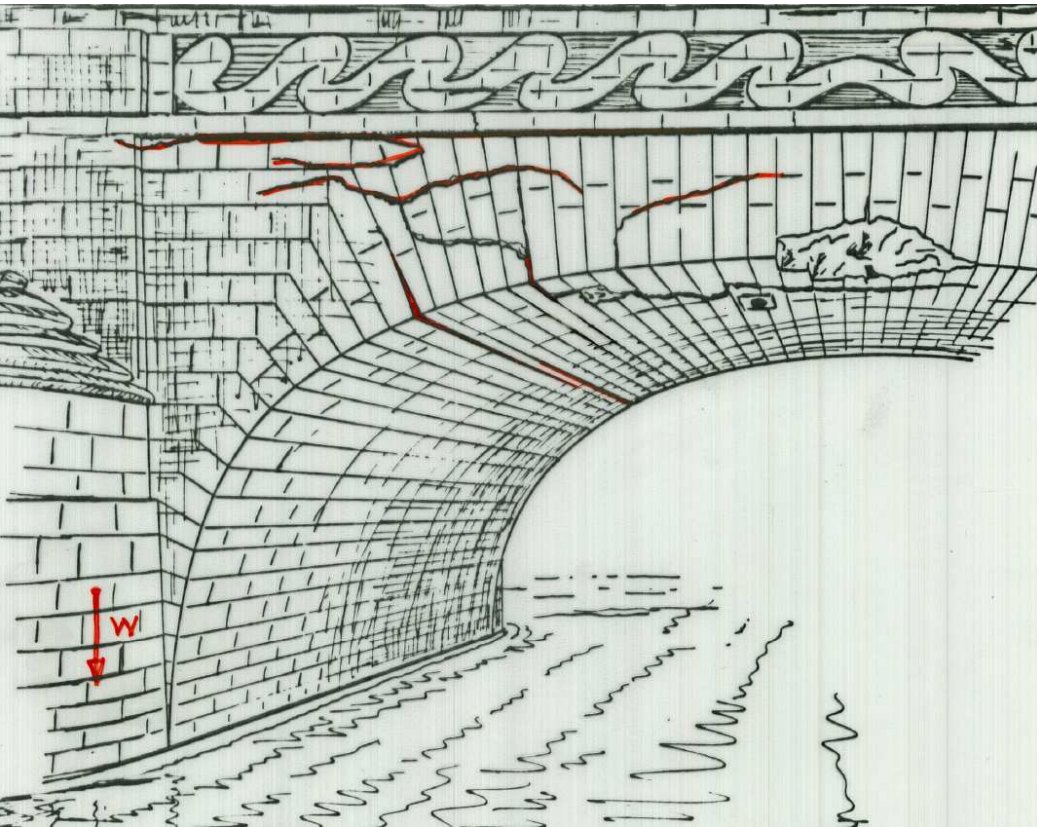
Bandeau et douelle



Deux cas de fracturation des voûtes



Tassement de la pile de 35 cm pour une ouverture de 19,50 m





Recherche des défauts non
structurels

fissures verticales sur tympan
dans l'axe de la pile



Recherche des défauts sur les matériaux, fissures et altérations



Altération de maçonnerie et des tôles d'un caisson havé à l'air comprimé

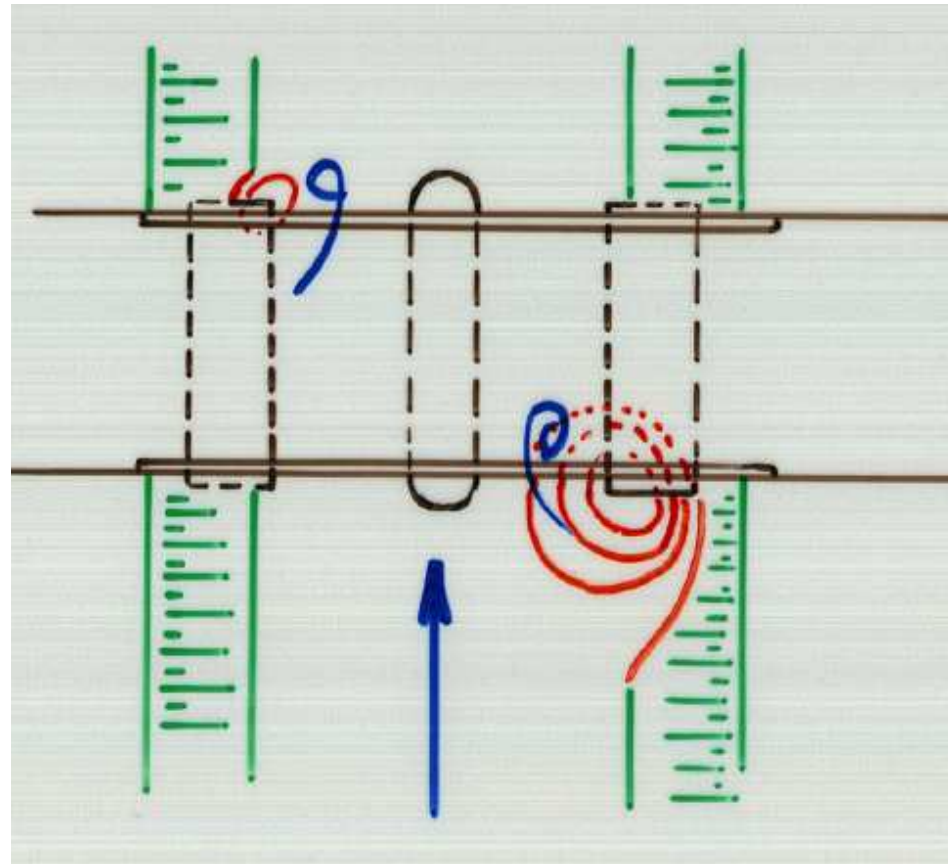
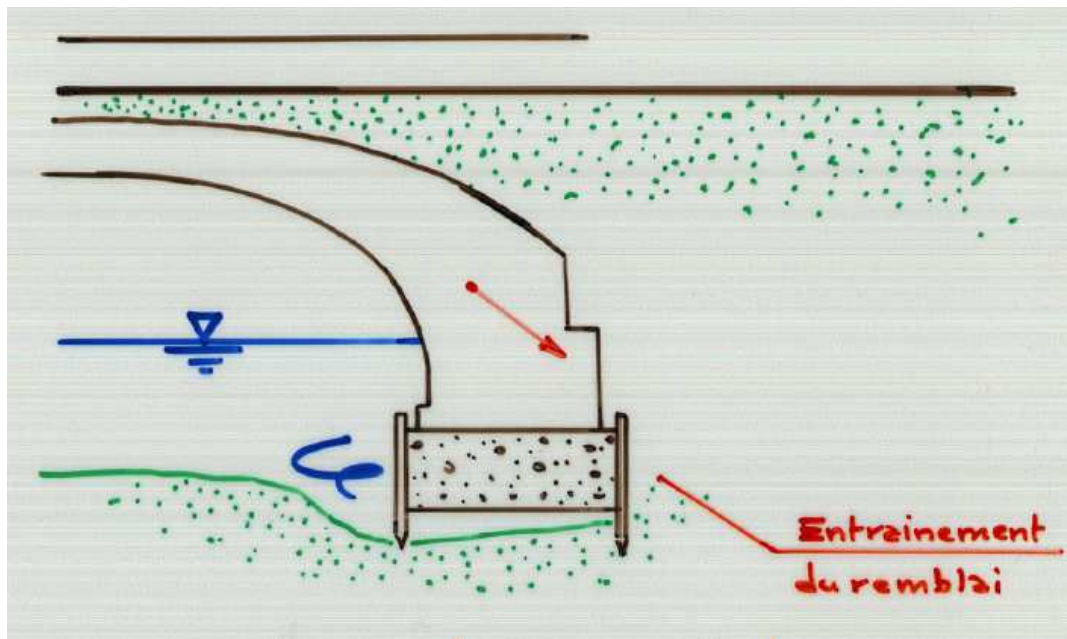


Altération et dégradation des vannages, des mortiers et des joints

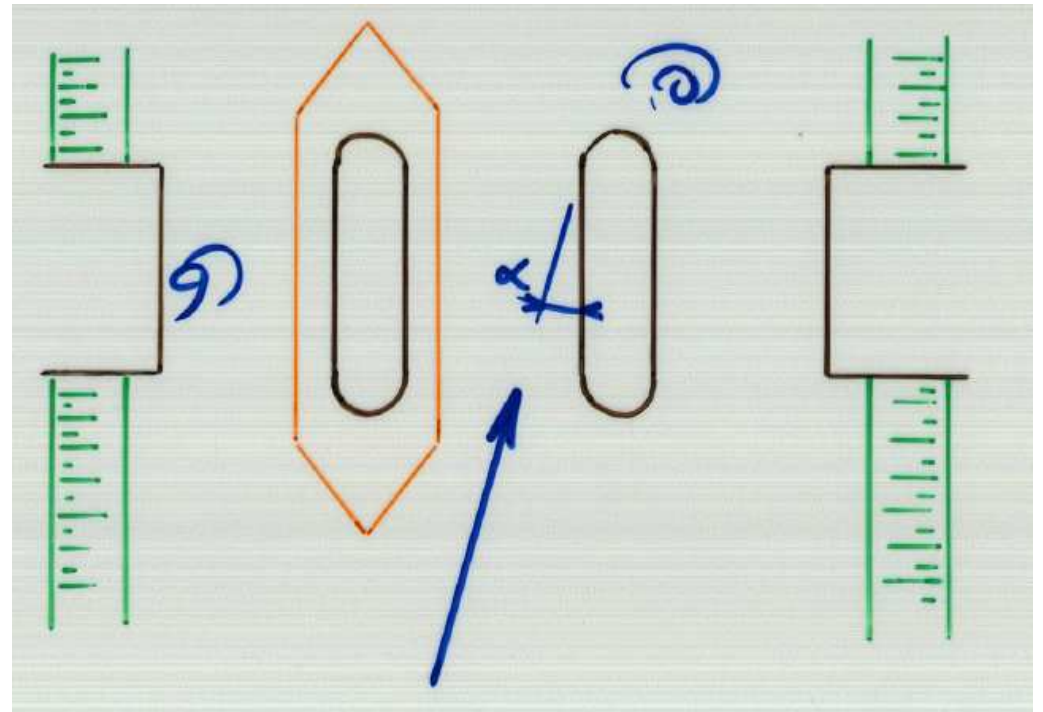
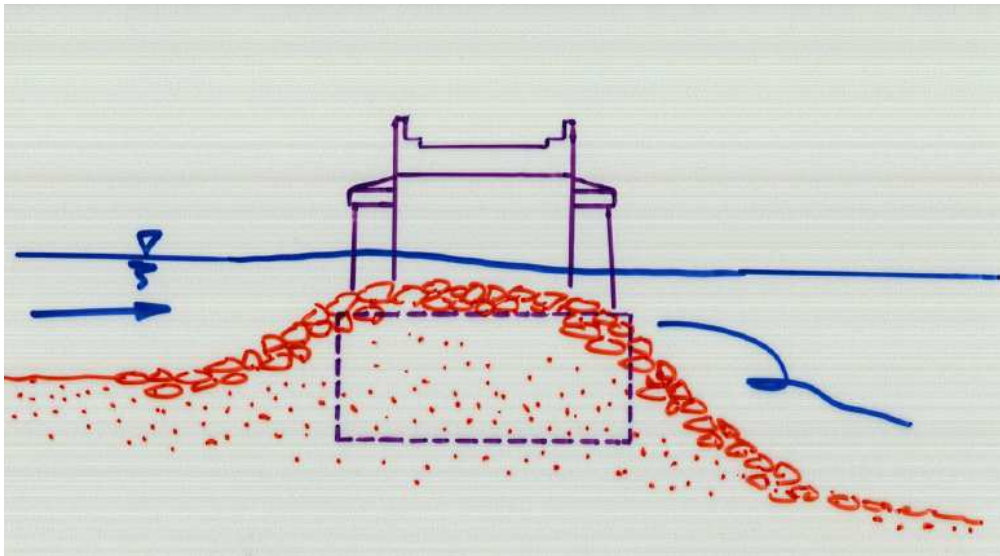


Désordres dans l'environnement de l'ouvrage

dans les sols au pourtour, sur l'ouvrage, dans les berges, ...



Relevé sur les protections des appuis

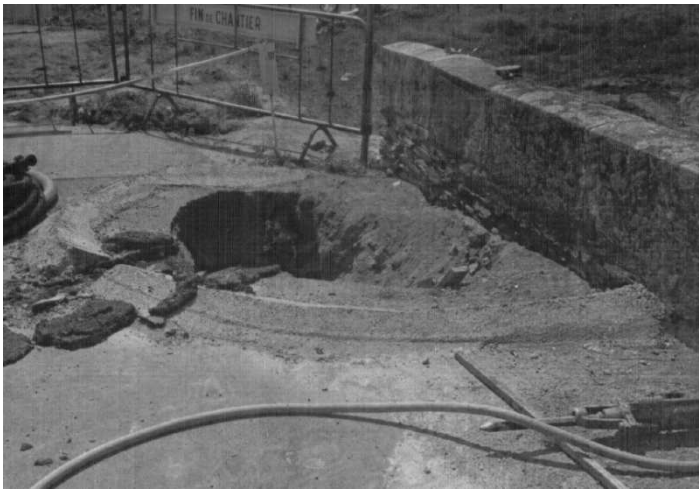


Erosion des berges en amont
et cavités
sous les fondations des
culées

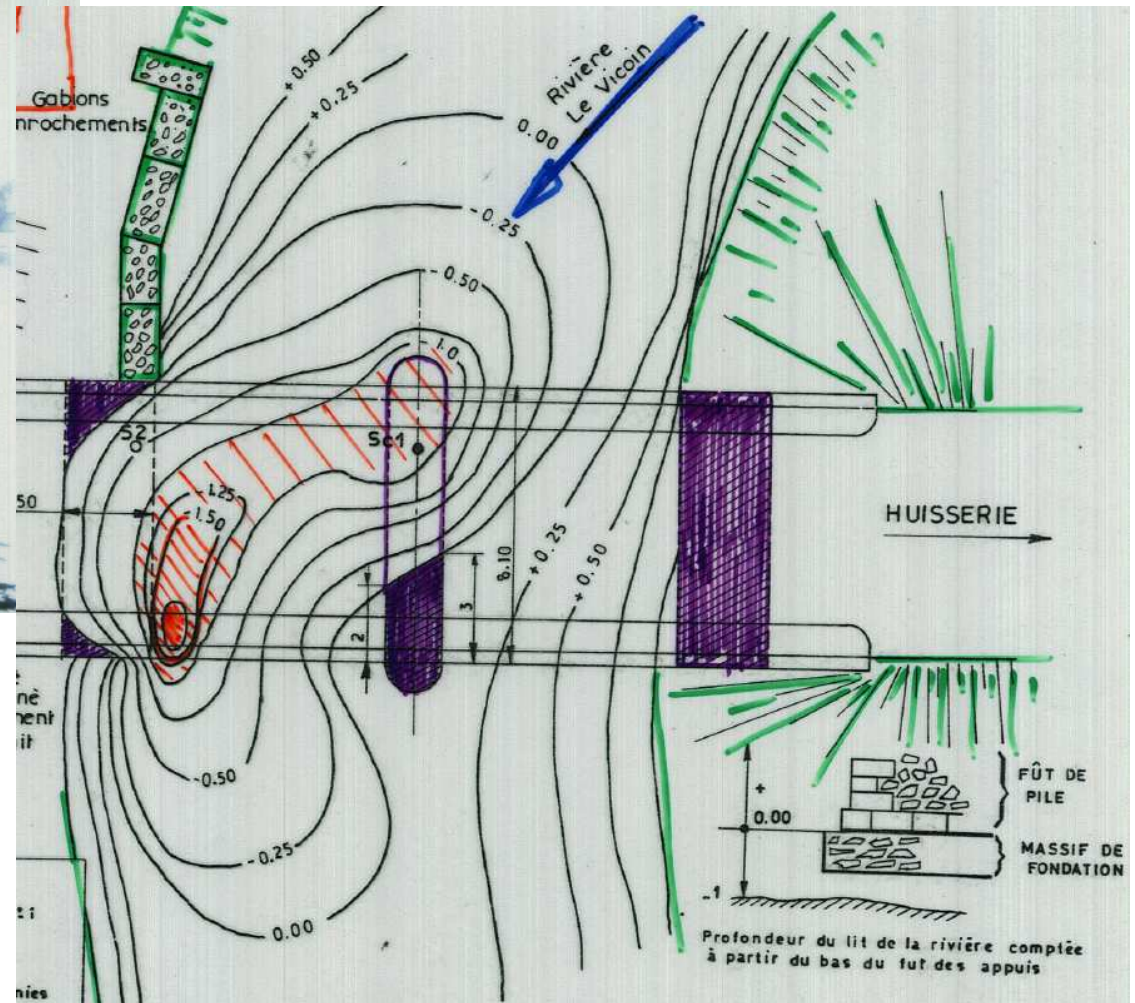
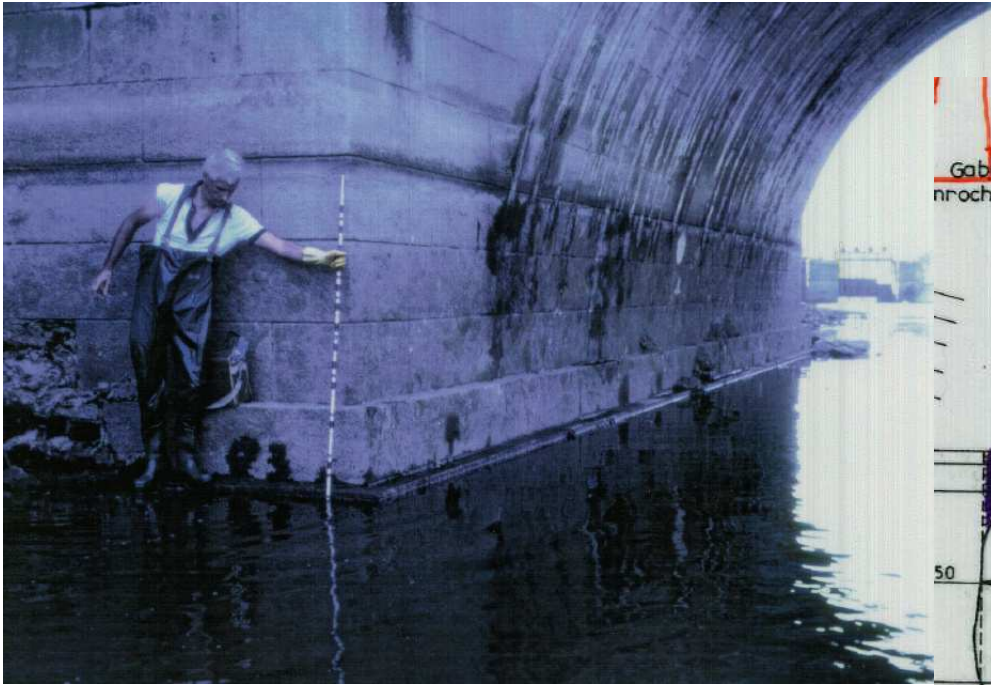


Désordres sur chaussée par fontis

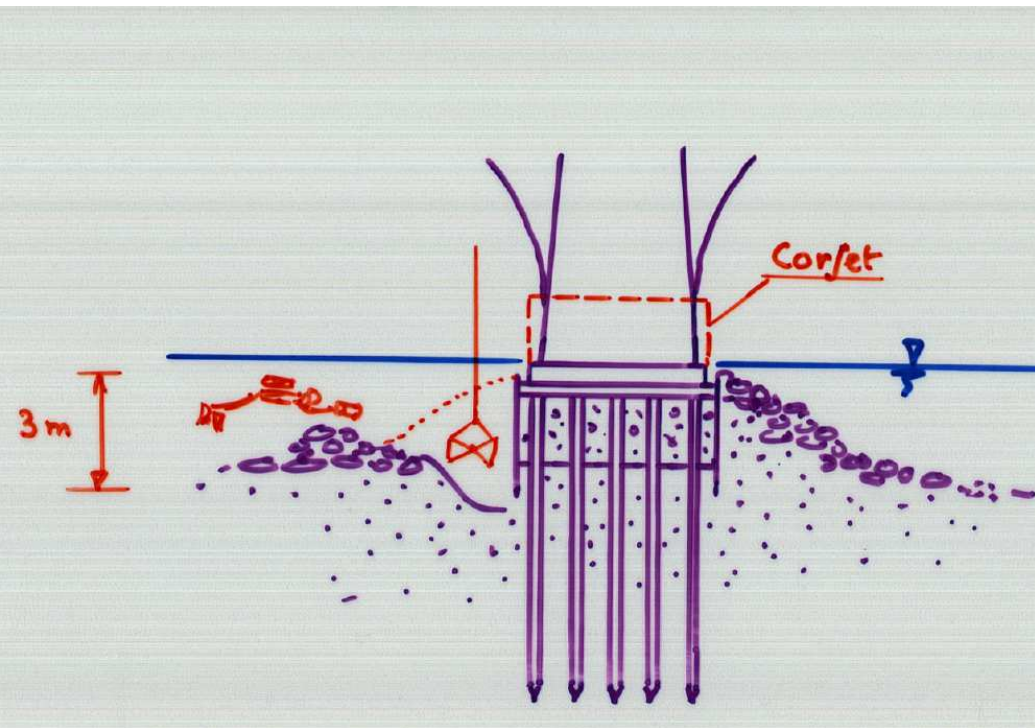
basculement du massif de fondation
dans le lit



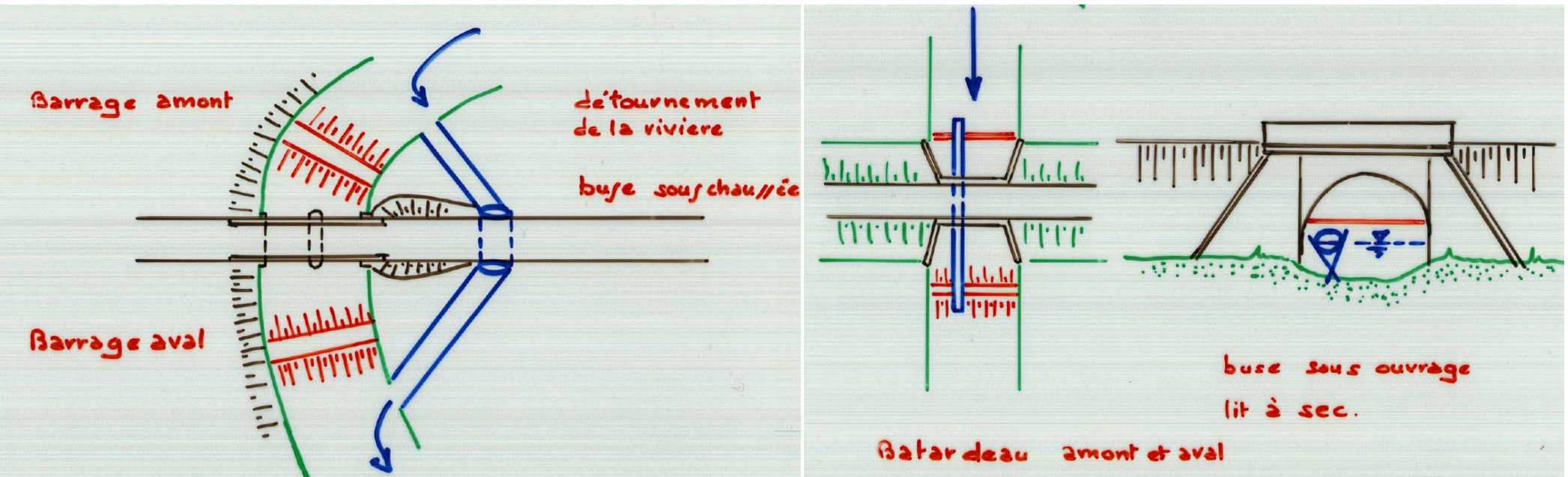
Auscultations externes levés topographiques et bathymétriques



Dégarnissage local d'une fondation

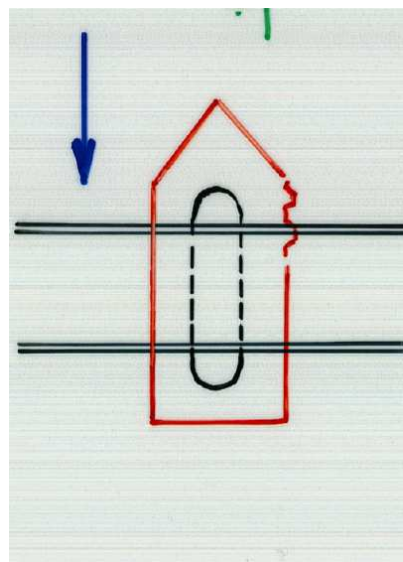
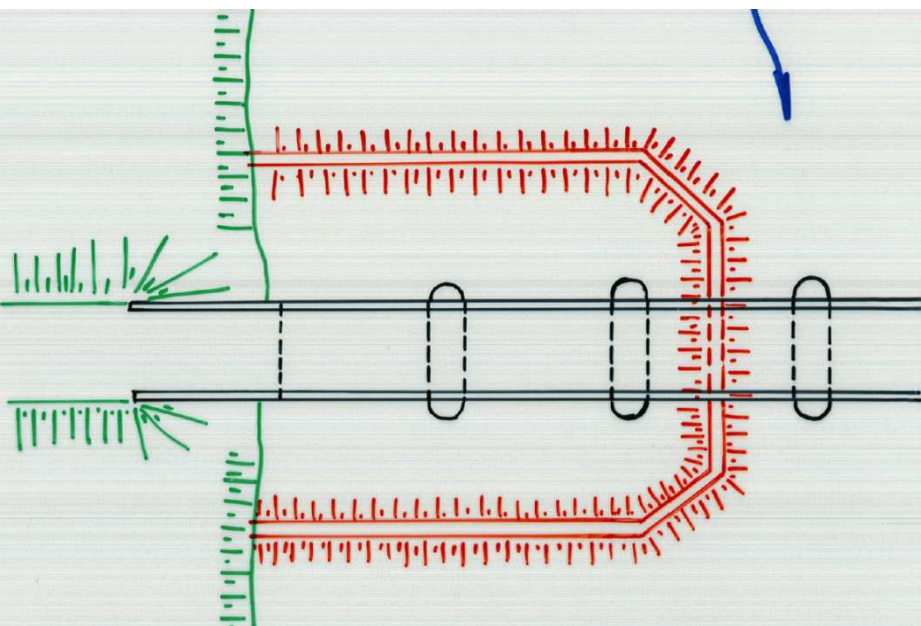


Mise à sec des appuis



Mise à sec des plusieurs appuis

batardeau pour relevé sur la fondation



Mise à sec d'un ou plusieurs appuis (batardeau enterré ou palplancière)

Observation - Visite détaillée

Effectuer les travaux

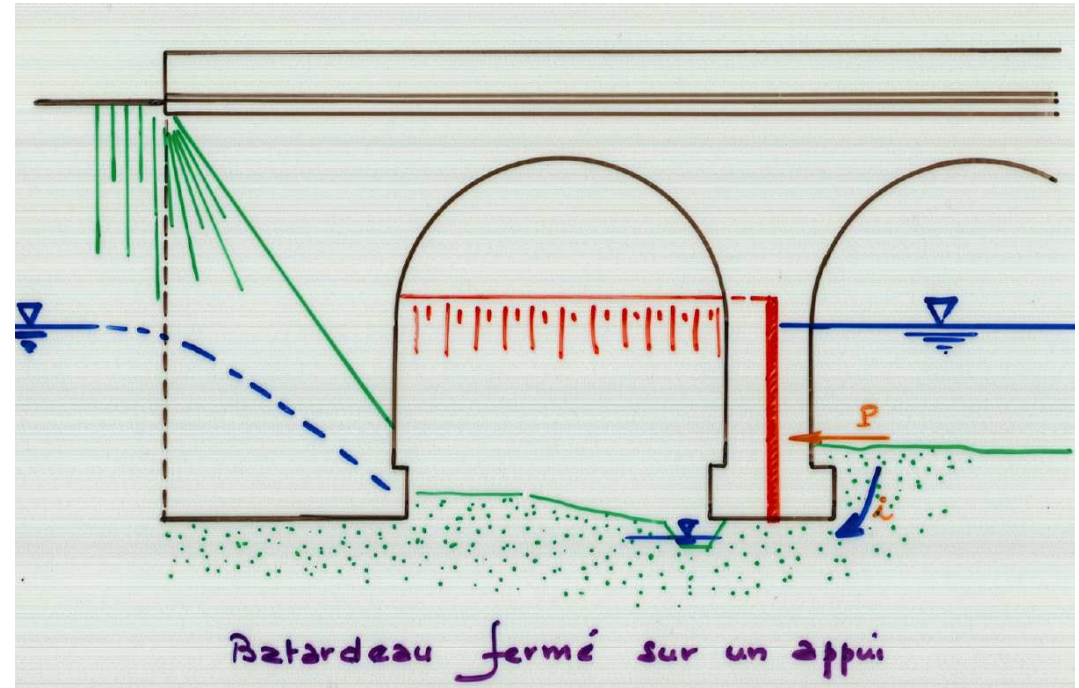
- . d'entretien

- . de réparation

dans de bonnes conditions.

Petite digue en matériaux locaux

réflexion sur les travaux de mise à sec



Auscultations internes par sondages carottés et essais sur les matériaux sols et maçonneries

OBJECTIFS DES RECONNAISSANCES

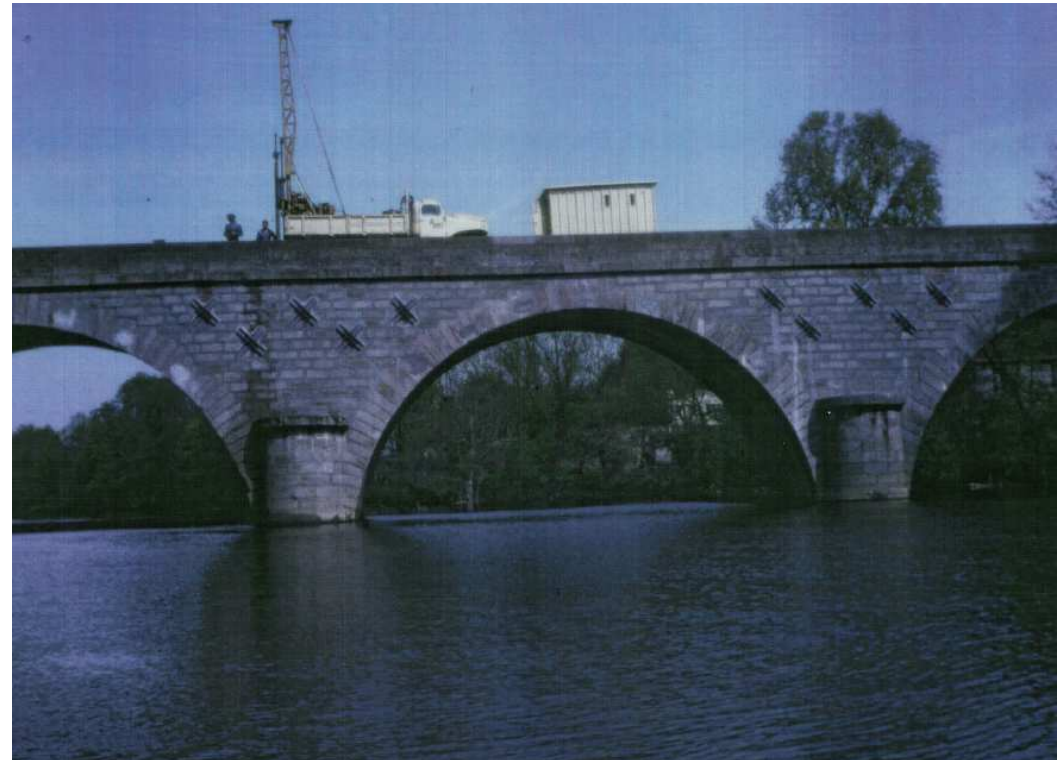
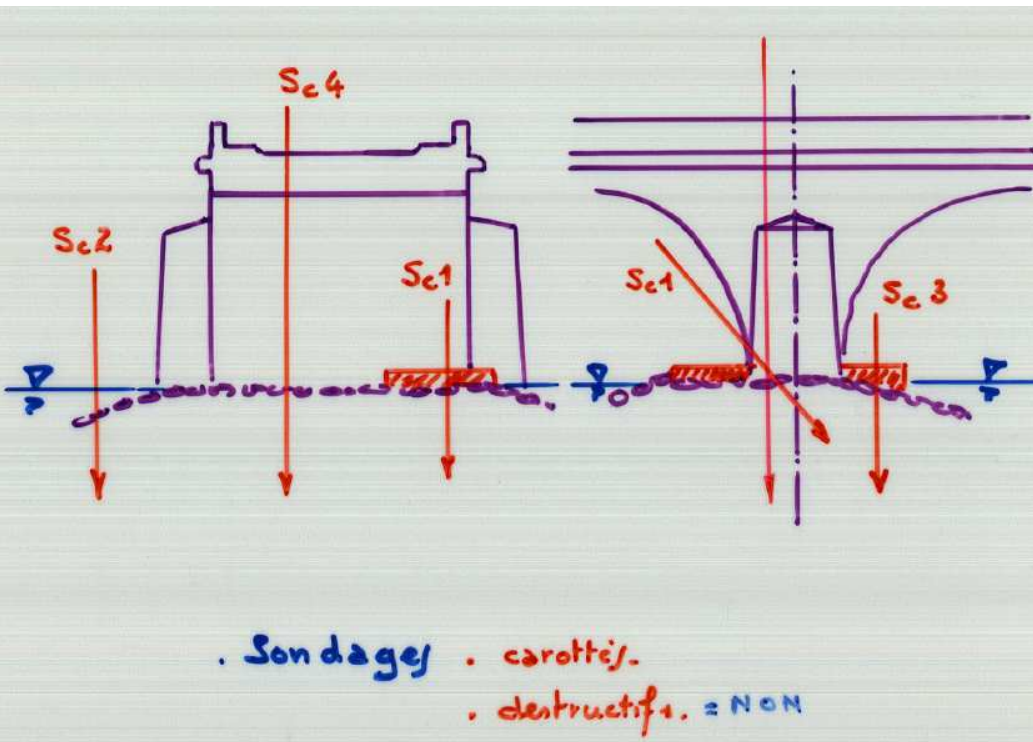
- connaissance des remblais (identification), de l'extrados, des matériaux constitutifs (nature, état,...),
- connaissance du type et du niveau des fondations (identification, état,..),
- connaissance des sols de fondation (identification, état de compacité,..)

ESSAIS

- prélèvement d'échantillons intacts pour essais de compression simple,
- essais d'eau dans les maçonneries et les sols,
- essais géotechniques d'identification et de compacité au pressiomètre,
- endoscope et différentes diagraphies

Implantation des sondages carottés

et des forages pour essais pressiométriques



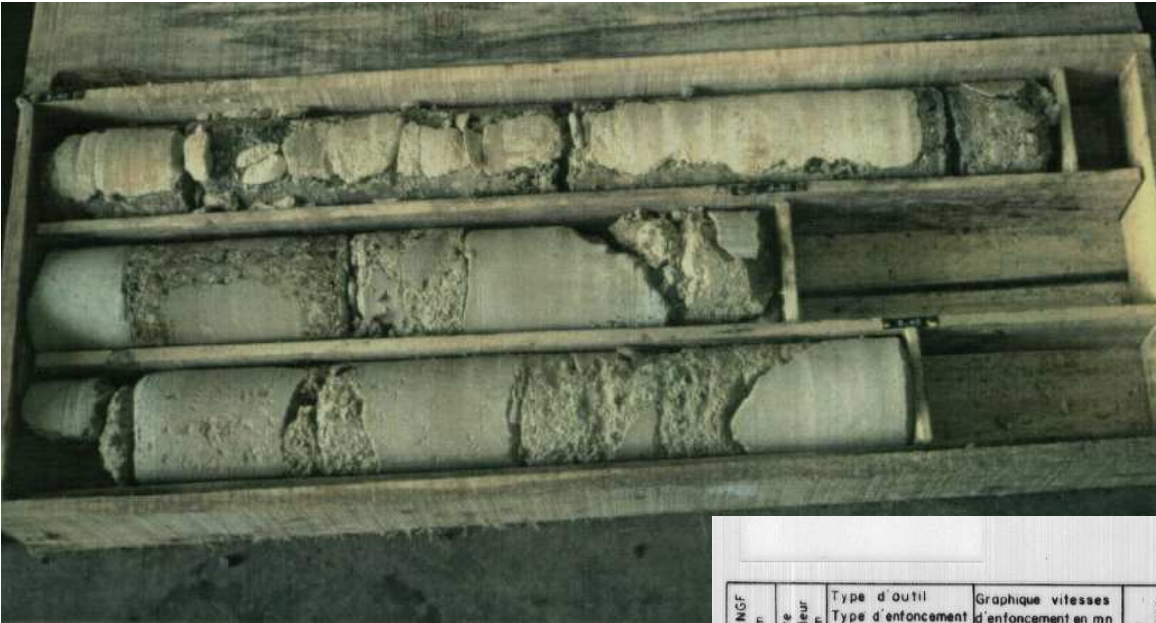
Implantation des sondages

- en reconnaissance des massifs de fondation par sondage incliné,

- en forage vertical latéralement au massif pour identifier les sols et déterminer leurs propriétés mécaniques



Sondage carotté de 131 mm



FEUILLE DE SONDAGE

Sondage : SC 1

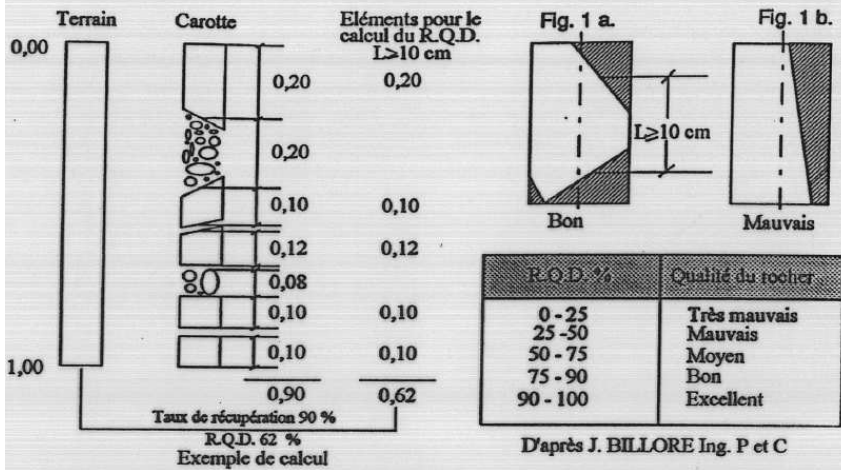
Cote NGF en m	Cote sondeur en m	Type d'outil Type d'enfoncement Diamètre carotte Niveau échantillon	Graphique vitesses d'enfoncement en mm par passe de carottage 10 20 30 40 50	% de carottage	Observations Vitesse d'enfonc Boue - Tubage Eau - Vibrations	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Légende géotechnique	RQD		
								% au RQD	0 50 100	
25,20	0	Sondeuse carotreuse hydraulique CRAELIUS type KCH80 Révolution : Pression Carottier simple type 2 #46. Couronne : diamants		80	Fluide d'injection : Eau RPM = 120 P = 1,5T	4 cm d'arrêté GRAVE SABLEUSE : Fragments sub-anguleux, rousés, noirs (Phtanites) toutes dimensions de 10 à 60.70mm, avec SABLE moyen à grossier beige-foncé. Aucuns passes de mortier.	Chaussée			
2,15	0,40	Rotation		50	RPM = 120 P = 2,5 à 2T	MAÇONNERIE DE MOELLONS	FÛT DE LA PILE			
3,80	0,70	Pression			RPM = 120 P = 0,5T	Blocs à très forte prédominance de SPILITE et très localement de Granite à biotite et à gros cristaux (5,40 à 5,75); Moellons de 10cm d'épaisseur, très localement légèrement supérieurs. Les Moellons sont liés par un mortier de chaux et de sable. Passées intactes de 10.15 voire parfois de 30cm. La qualité de cette maçonnerie et son état de conservation sont généralement bons. On note cependant quelques niveaux de moindre résistance.				
4,30	1,30	Carottier double type K2		100	RPM = 120 P = 1T	4,00 à 4,30 m : Intense fracturation 4,60 à 4,70m : Fracturation 6,10 à 6,20m : Fracturation affectant surtout le mortier				
5,50	1,70	Couronne : Diamants			RPM = 120 P = 0,8T	6,50 à 6,60m : Même type de fracturation 8,25 à 8,32m : Intense fracturation du lient 8,50 à 8,75m : Mortier.				
8,50	2,15				RPM = 120 P = 0,5 à 1T	MASSIF DE FONDATIONS		MASSIF de FONDATIONS		
9,90	2,55				RPM = 120 P = 1T	10,45 conservation. Rares niveaux de moindre résistance				
14,70	10,50	Enfoncement simultané du couple et du tubage après réalisation Essai pressiométrique	Essai pressiométrique		RPM = 80 à 120 P = 1T à 1,5T	SABLE très grossier, graveleux 0/15 à 0/80 (quartz et spilite); localement petits niveaux argileux.	ALLUVIUMS de MORTIER			
12,15	11,80	Bicône # 60 Essai pressiométrique		85	RPM = 120 P = 1T à 1,5T	Grosses GRAVE sableuses : galets et éléments sub-arrondés, toutes dimensions jusqu'à 80 mm (quartz et spilite) avec sable grossier.				
13,50	12,15	Aux rotation Pression			RPM = 120 P = 1T	Phtanite décomposée + quartz	SUBSTRATUM : Phtanites (Ph) + Quartz (Q)			
14,20	12,80	Carottier double type K2 # 116 Couronne : Diamants		100	RPM = 120 P = 1T	Niveau essentiellement quartzeux très résistant				
15,30	14,20	Arrêt 14,20 m			RPM = 120 P = 1T	Phtanites très diversément altérées, avec quartz Kionien très abondant. Compacité hétérogène.				
9,90	15,30	Arrêt 14,20 m				Arrêt du carottage à 14,20 m Non carotté de 14,20m à 15,30 m Substratum (suite) non carotté				
	15,30					Arrêt du sondage à 15,30 m				

Essais sur maçonnerie

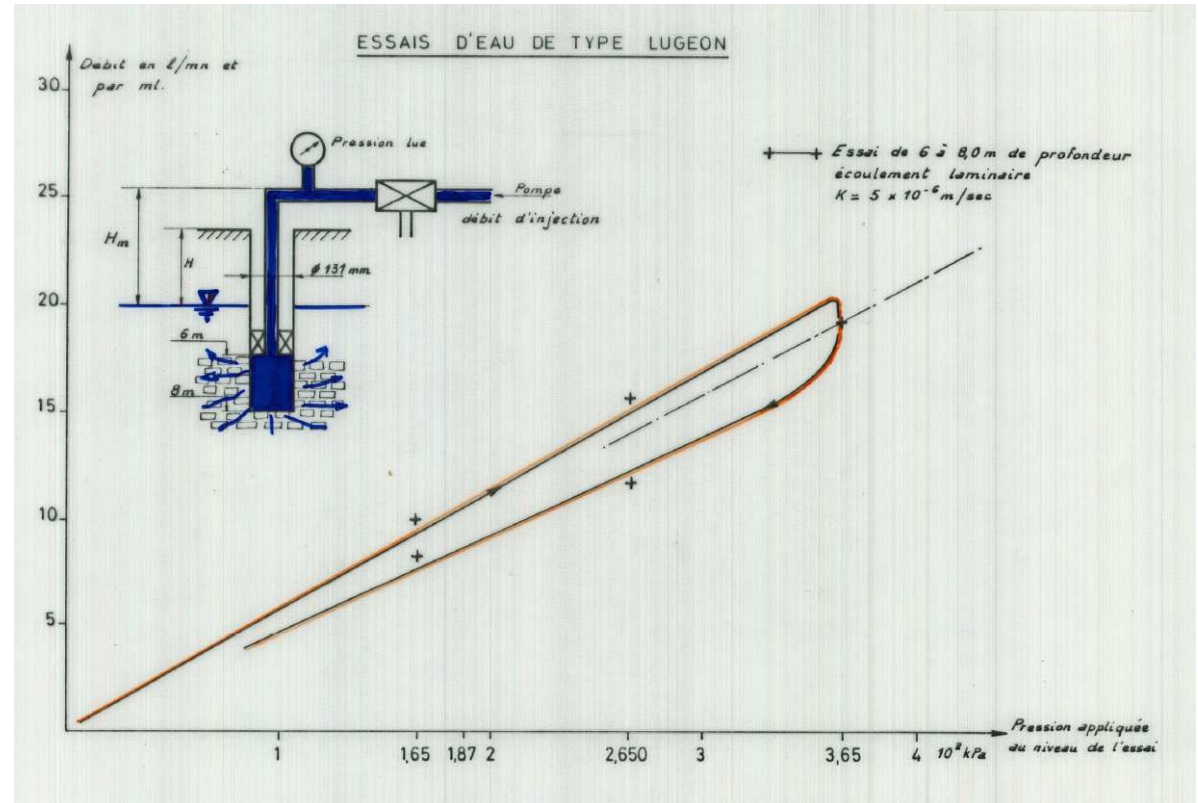
Rock Quality Designation et essai d'eau à pression limitée

Mesure du R.Q.D.

R.Q.D. = pourcentage de carottage des éléments dont la longueur est supérieure ou égale à 10 cm

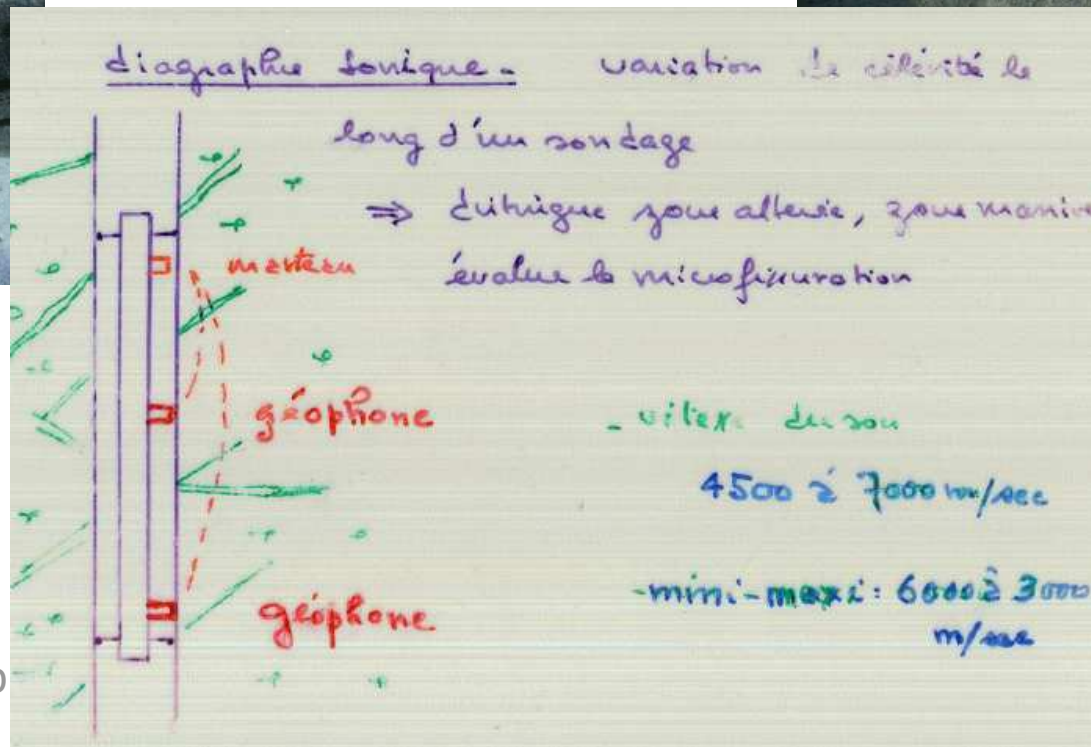
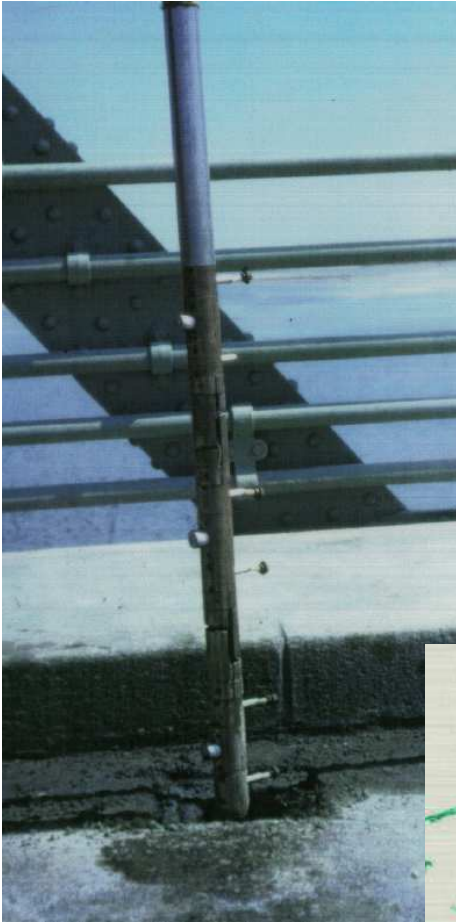


Niveau de carottage (m)	Taux de carottage (%)	R.Q.D (%)	Densité de fracturation
0,00 à 0,30	90	40	Forte.
0,30 à 1,80	100	73	Faible.
1,80 à 3,40	100	74	Faible.
3,40 à 4,50	100	82	Faible.
4,50 à 6,00	100	81	Faible.
6,00 à 7,50	100	93	Très faible.
7,50 à 9,10	100	81	Faible.
9,10 à 9,35	100	00	Très forte.

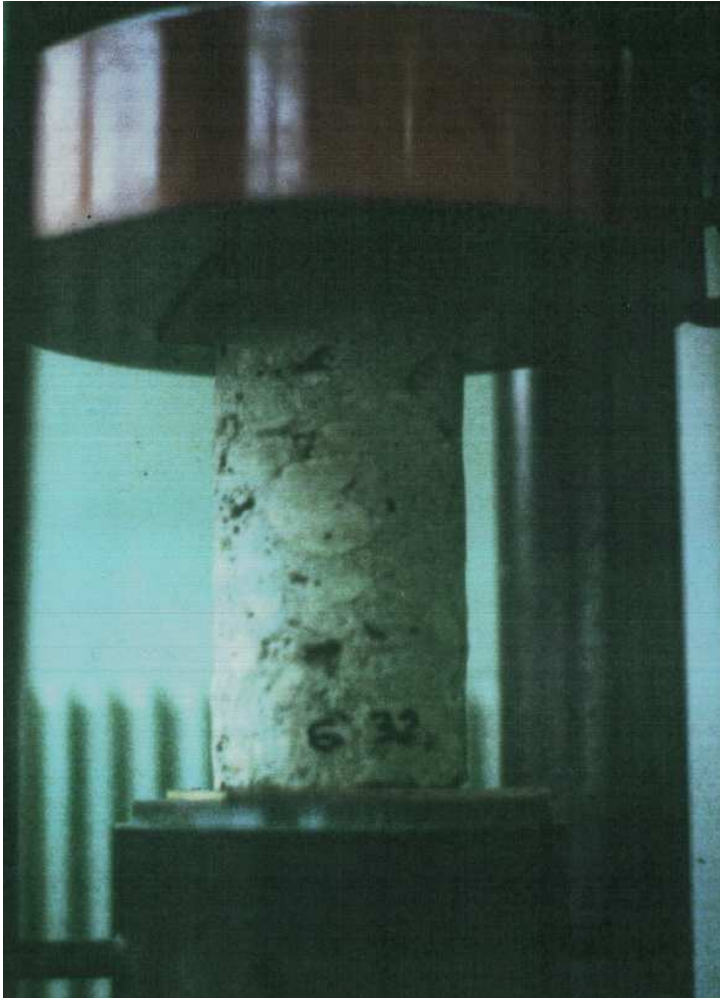


Mesure des vitesses soniques des maçonneries

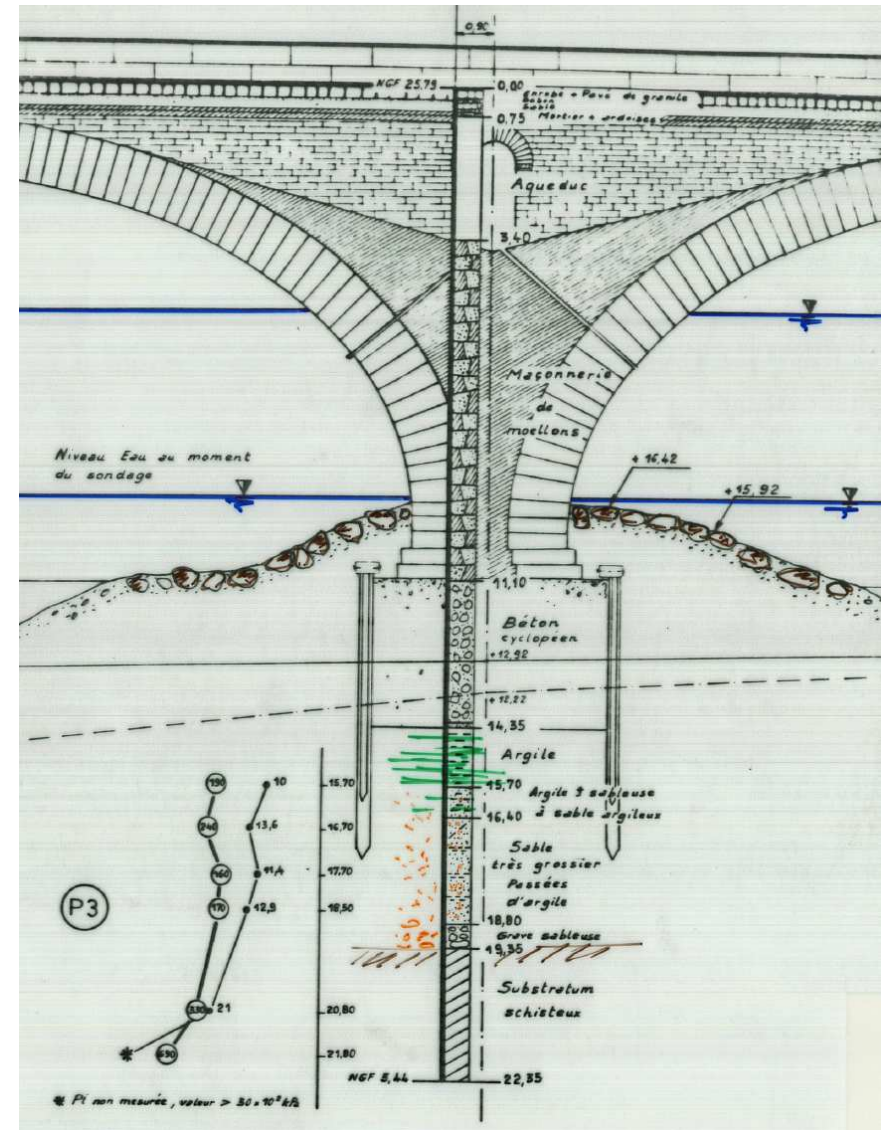
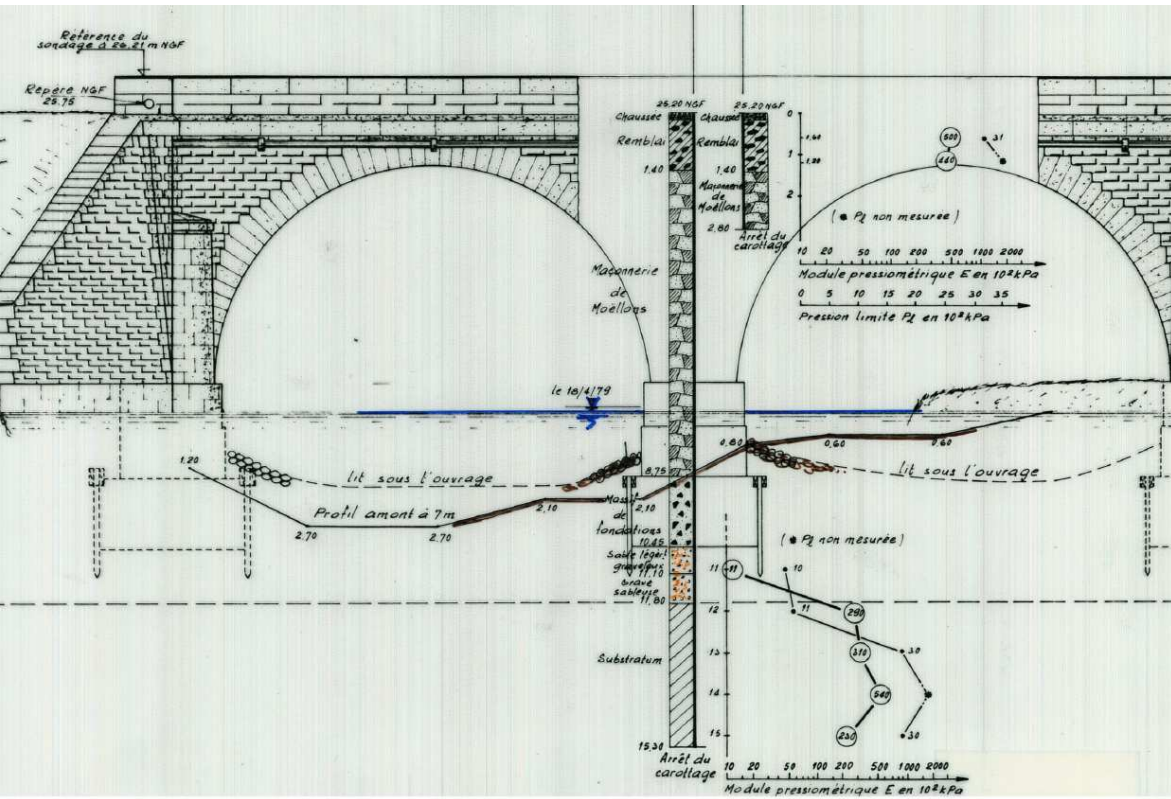
observations à la caméra



Propriétés et état des matériaux constitutifs



Report des observations et des auscultations sur plans précis



Etude des grands équilibres

Equilibre des forces et études des stabilités

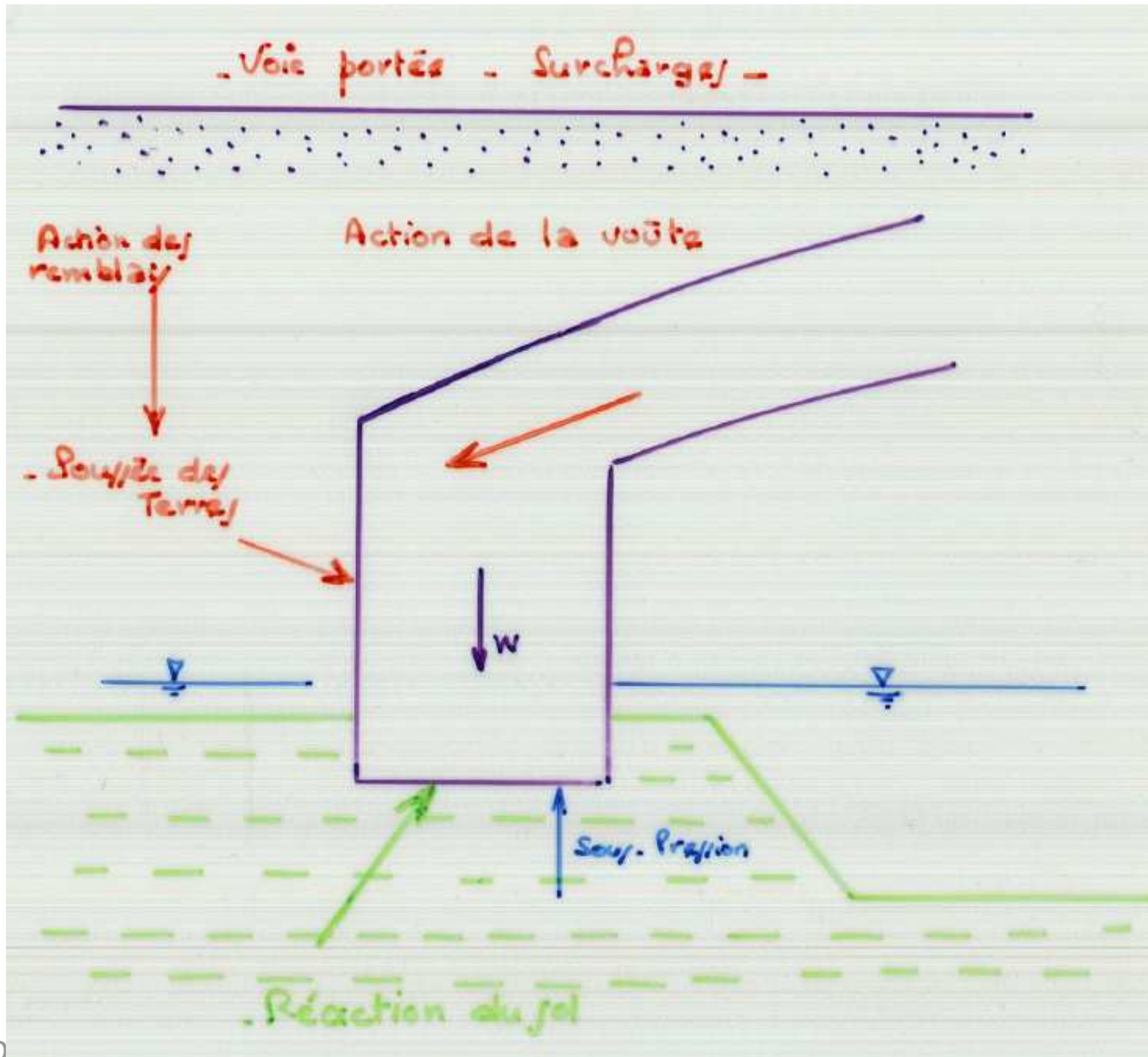
- poids propre et charges,
- contraintes hydrauliques et sous pressions,
- Evolution de l'environnement et de l'encastrement des fondations,
- **Forces résistantes** : la réaction du sol (selon le modèle adapté).

Schémas de calcul

- critère de poinçonnement sur le sol ,
- critère de glissement horizontal des appuis dont la résultante des actions est inclinée,
- critère de déplacement horizontal des fondations sur pieux ,
- critère de tassements absolus et différentiels,
- renversement des piles et culées sur lesquels la résultante des actions est inclinée
- critère de résistance des matériaux suite à l'évolution des caractéristiques mécaniques

- Evolution des forces en présence ?**de la réflexion**

Actions sur les fondations



DIAGNOSTIC DE COMPORTEMENT ET D'ETAT DE L'OUVRAGE

- c'est répondre aux études et recherches suivantes :
 - la connaissances de l'ouvrage par sa géométrie, son histoire et son environnement, sa fonction dans le site,
 - la connaissance des actions d'usage ,
 - la connaissance des actions hydrauliques et des affouillements,
 - la connaissance de son comportement structurel,
 - La connaissance de comportement des sols de fondation et des capacités à reprendre les actions,
 - La connaissance des protections des sols au pourtour et des matériaux de fondation,
 - La connaissance de l'état des matériaux constitutifs et de leur évolution

De la réflexion

Le poinçonnement et le glissement entraînent des grandes déformations,

Les déplacements horizontaux des appuis sous charges et les tassements absolus et différentiels provoquent des petites déformations dans les structures,

Attention aux déformations thermiques des maçonneries qui conduisent à des fissures non structurelles et situées hors zones de compression,

Les modèles de justification des fondations anciennes par les méthodes actuelles conduisent à des sécurités faibles à très faibles, (en cause, la qualité des reconnaissances et des essais pour partie,...)

LE DIAGNOSTIC DE COMPORTEMENT ET D'ETAT

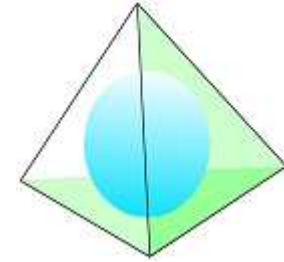
Disposant de toutes les connaissances et synthèses il faut :

- un jugement correct, une approche rationnelle et des calculs simples voire très complets à partir d'une modélisation aux éléments finis...
- une recherche des paramètres lourds qui ont une signification,
- une approche expérimentale et parfois une instrumentation d'étude de l'évolution en tenant compte des phénomènes naturels des sols et de l'eau,
- l'expérience des autres à travers succès et échecs n'apporte que des lueurs partielles mais pas la réponse à vos questions.

- DANS QUEL ETAT EST L'OUVRAGE ?

- LA SECURITE EST 'ELLE ASSUREE ?

- QUELS SONT LES RISQUES ENCOURUS?



ADSTD

Merci de votre attention