

# LA SURVEILLANCE DES BARRAGES ET DES DIGUES

- . le contrôle et la mesure des fuites
- . le contrôle et la mesure des sous-pressions

ELECTRICITE de FRANCE  
Direction Production Transport  
Service Production Hydraulique

Division Génie Civil

Edition Septembre 1971

14936

ELECTRICITE DE FRANCE  
Direction Production-Transport  
Service Production Hydraulique

---

Publication N° 14  
Df 015

LA SURVEILLANCE DES BARRAGES ET DES DIGUES

---

- Le Contrôle et la Mesure des Fuites
  - Le Contrôle et la Mesure des Sous-Pressions
- 

Septembre 1971

---

# S O M M A I R E

## AVERTISSEMENT

Page

1

## INTRODUCTION A LA SURVEILLANCE DES FUITES ET DES SOUS-PRESSIONS

- 1 - Généralités sur les fuites et les sous-pressions - Réseau de drainage.
- 2 - Intérêt de la mesure des fuites et des sous-pressions

5

12

## PREMIERE PARTIE

### Le CONTROLE et la MESURE des FUITES.

- I - Le principe de la mesure des fuites
- II - Les emplacements des points de mesure
- III - A quels moments faire les mesures?
- IV - Les méthodes de mesure à employer
- V - La présentation et la diffusion des résultats

15

16

19

22

27

#### VI - documents annexes :

- Annexe n°1 - Les déversoirs de mesure en mince paroi
- Annexe n°2 - Courbe  $Q(Z)$  - Enveloppe
- Annexe n°3 - Courbe  $Q(t)$  - Représentation annuelle
- Annexe n°4 - Courbe  $Q(t)$  - Représentation pluriannuelle
- Annexe n°5 - Tableau des mesures de fuites - modèle standard
- n°5 bis - " " - modèle adapté au relevé des températures de l'eau des fuites
- Annexe n°6 - Croquis des emplacements de mesure des fuites
- Annexe n°7 - Feuille de relevé des fuites
- Annexe n°8 - Variation de la viscosité de l'eau avec la température
- Annexe n°9 - Circulaire n°48 du 20 juillet 1927 de MM. les Ministres de l'Agriculture et des Travaux Publics.

## DEUXIEME PARTIE

### Le CONTROLE et la MESURE des SOUS-PRESSIONS

- I - Le principe de la mesure des sous-pressions
- II - Les emplacements des points de mesure
- III - A quels moments faire les mesures ?
- IV - Les méthodes de mesure à employer
- V - La présentation et la diffusion des résultats

42

43

47

49

54

#### VI - Documents annexes :

- Annexe n°10 - Courbe  $N(Z)$
- Annexe n°11 - Courbe  $\Delta N(Z)$
- Annexe n°12 - Evolution particulière de la courbe  $\Delta N(Z)$
- Annexe n°13 - Courbe  $N(t)$  et variation des facteurs d'évolution (type pluriannuel)
- Annexe n°14 - Tableau des mesures de sous-pressions
- Annexe n°15 - Feuille de relevé des mesures de sous-pressions.

AVERTISSEMENT

" De tous les ouvrages, faits de main d'homme, les grands barrages comptent parmi les plus meurtriers lorsqu'ils se retournent contre lui "

( A. COYNE - Inspecteur Général des  
PONTES & CHAUSSEES )

Le Service de la Production Hydraulique gère et entretient un patrimoine dont la valeur de remplacement était estimée (début 1965), à 18 milliards de francs actuels, soit 47 % du patrimoine total d'ELECTRICITE DE FRANCE.

Sans prétendre proportionner les soins que justifient les divers ouvrages à leurs seules valeurs comptables, on peut évaluer à un quart de la valeur totale, les "machines et appareillage électrique", à un second quart les "batiments, accès et vannes", tandis que les "barrages et ouvrages d'amenée d'eau" représentent la moitié de ces dix huit milliards. Rappelons également que le domaine hydroélectrique voit son actif s'accroître chaque année d'une somme voisine de 700 millions de francs, correspondant aux aménagements nouveaux, en cours de réalisation. Les barrages et les ouvrages d'amenée d'eau constituent donc actuellement un patrimoine voisin de 10 milliards de francs.

Il faut surtout être convaincu que malgré leur statisme et leur apparente immobilité, les ouvrages de Génie Civil ont, comme les autres (turbines, alternateurs, par exemple) une vie active et continue. Sans doute, l'échelle du temps est-elle relativement importante pour ces ouvrages et leur évolution lente, dans la plupart des cas, mais, en ce qui concerne les barrages, il ne faut jamais perdre de vue la grandeur des forces mises en oeuvre, qui n'ont pas de commune mesure avec celles habituellement manipulées par l'Homme.

./.

Prenons un exemple : soit un barrage-voûte de 70 mètres de hauteur moyenne et de proportions classiques (15 000 m<sup>2</sup> de surface utile). Un tel barrage, outre son poids propre de 300 000 tonnes, reporte sur ses appuis des efforts de 2 000 000 de tonnes, dus à la poussée des arcs et nécessite, de plus, une butée vers l'aval capable de résister à un effort de 300 000 tonnes. Il faudrait encore ajouter à ces valeurs les efforts thermiques. Un barrage de 70 mètres de hauteur utile est un ouvrage assez courant et il n'est donc pas rare de rencontrer des fondations travaillant de 600 à 800 tonnes au mètre carré (l'équivalent de la Tour Eiffel, posée sur 10 m<sup>2</sup>).

Il ne faut pas davantage perdre de vue que, dans tout ouvrage de retenue, le barrage ne constitue que la partie visible de l'écran, destiné à arrêter l'eau ; en général, le volume de terrain, soit au droit de la fondation, soit sur les rives de l'ouvrage, qui est en contact avec l'eau de la retenue, est beaucoup plus important que le volume de l'ouvrage construit de mains d'homme - et c'est justement cette partie, la plus étendue de l'écran, qui est la moins bien connue et souvent la plus hétérogène. De toutes les catastrophes, provoquées par des barrages, pratiquement aucune n'a été causée par une défaillance originelle de la maçonnerie. C'est pratiquement toujours le terrain qui a cédé et qui a entraîné la ruine de l'ouvrage (mis à part les cas accidentels de submersion d'ouvrages en terre).

Citons quelques exemples :

La catastrophe du Barrage de PUENTES du 30 Avril 1802, qui fit 600 morts, est due à la formation d'un "renard" dans la partie centrale de la fondation du barrage (barrage-poids de 50 m de hauteur). Dans cette zone, la fondation n'avait pas été descendue au rocher et s'arrêtait dans les alluvions.

#### Rupture du Barrage de GLENO dans l'Alpe Bergamasque

Le barrage de GLENO était un barrage à contreforts et voûtes multiples. Il périt par suite du basculement de trois de ses contreforts, provoqué le 1er décembre 1923 par les sous-pressions au niveau du contact béton-rocher. L'eau, qui avait cheminé dans la fondation, a soulevé le radier général qui supportait ces trois contreforts, comme elle l'aurait fait d'un bateau. Une erreur technique avait, certes, été commise : on ne construit pas un ouvrage relativement léger sur radier général, mais cet exemple montre bien l'action sournoise de l'eau, qui peut cheminer dans le terrain de fondation. La catastrophe fit plus de 600 morts.

#### Rupture du barrage de BALDWIN HILLS (Californie) le 14 décembre 1963

Cette digue en terre compactée fermait un réservoir, destiné à l'alimentation en eau de la ville de Los Angeles. Une faille du terrain traverse l'emplacement du barrage à l'endroit où il a cédé. Il semble qu'un mouvement de la faille soit à l'origine de l'accident, ce mouvement ayant entraîné la rupture du revêtement d'étanchéité amont (constitué de 4 couches distinctes : membrane d'étanchéité en bitume, une couche poreuse de drainage, un tapis en terre argileuse compactée et une couche de béton bitumineux) et par suite l'ouverture d'une brèche dans la digue, par "renard".

Enfin, nous ne ferons que mentionner les catastrophes de MALPASSET et du VAJONT, présentes dans nos mémoires, et dues, elles-aussi, à des défaillances du terrain.

.  
.

Les barrages, gérés et entretenus par le Service de la Production Hydraulique, représentent un capital considérable (le dixième du Budget annuel de la France). Ce sont des ouvrages qui vivent et vieillissent. Etant de puissants accumulateurs, ils sont sollicités par des efforts très importants qu'ils doivent transmettre dans les meilleures conditions à leur fondation et aux appuis. En fait, l'écran qui retient l'eau est formé par le barrage et son environnement. Dans cet ensemble, seul le barrage est relativement connu et accessible.

Pour toutes ces raisons, il est de la plus haute importance qu'une surveillance continue et efficace soit exercée sur ces ouvrages.



Les fuites à travers le corps d'un ouvrage ou sa fondation, les sous-pressions qui peuvent agir sur lui, sont deux manifestations d'un seul et unique phénomène, à savoir la percolation de l'eau entre la retenue et l'aval de l'ouvrage.

Après avoir rappelé quelques GENERALITES essentielles, sur ce phénomène, et essayé de montrer tout l'intérêt de la mesure des fuites et des sous-pressions, nous parlerons, dans une première partie, du contrôle et de la mesure des FUITES. Nous aborderons, ensuite, dans une deuxième partie, le contrôle et la mesure des SOUS-PRESSIONS, tout en ne perdant pas de vue qu'il s'agit d'un seul et unique phénomène. Mais, comme les techniques de mesure et de contrôle sont différentes, nous avons préféré les traiter en deux parties distinctes pour se rapprocher davantage des conditions de surveillance, rencontrées par les Exploitants.



N.B. Nous parlerons essentiellement de "barrage" dans le texte ci-dessous. Il faut prendre ce terme, dans un sens très général, englobant à la fois les barrages de retenue et les digues des canaux. Ces dernières sont des barrages d'un type particulier.

INTRODUCTION A LA SURVEILLANCE

DES FUITES ET DES SOUS - PRESSIONS

- 1 - Généralités sur les fuites et les sous-pressions - Réseau de drainage.
- 2 - Intérêt de la mesure des fuites et des sous-pressions.

I - GENERALITES SUR LES FUITES ET LES SOUS - PRESSIONS -  
RESEAU DE DRAINAGE -

La fermeture d'une retenue est réalisée par un barrage, mais l'écran étanche, qui doit s'opposer aux infiltrations d'eau en provenance de la retenue, est constitué à la fois de la partie étanche du barrage, et du terrain, qui forme les rives de la cuvette et l'assise du barrage. Dans les zones, où l'étanchéité naturelle du terrain n'est pas suffisante, des injections sont habituellement réalisées pour constituer un voile d'étanchéité sous la fondation ou "au large", dans les rives du barrage.

Qu'il s'agisse du barrage lui-même ou de son environnement (fondation et rives), on s'oppose aux infiltrations d'eau par la conjugaison de deux organes :

- un "organe étanche" à l'amont
  - parement amont dans le cas d'un barrage béton
  - noyau étanche dans un barrage en terre
  - béton bitumeux dans un canal
  - etc...
  
- et un "organe porteur" drainé à l'aval
  - corps du barrage (barrage-poids)
  - appuis (voûtes)
  - recharge aval (digue mixte)
  - etc...

En effet, quel que soit le soin apporté à la confection de l'"organe étanche", il sera impossible de supprimer toute infiltration à travers lui. Il ne sera donc pas étonnant d'avoir des FUITES, à l'aval de l'ouvrage, au débouché des cheminements, suivis par les eaux d'infiltration, à travers l'organe porteur (corps de l'ouvrage ou fondation).

L'important - nous en rappellerons les raisons ci-dessous - est que ces infiltrations se fassent avec la pression la plus faible possible. Le contrôle des PRESSIONS permettra de savoir si les nappes d'infiltration transmettent une fraction négligeable ou importante de la pression de la retenue. Ces pressions, qui peuvent agir sur des surfaces situées dans l'ouvrage ou en-dessous de lui, sont désignées par le terme général de "SOUS-PRESSIONS". Pour éviter que les infiltrations se répandent avec pression dans l'ouvrage ou dans le sol, il est nécessaire de donner de la perméabilité à l'organe porteur (corps d'un barrage-poids, terrain à l'aval du voile d'étanchéité, etc...). On y parvient en le munissant d'exutoires importants pour que les infiltrations s'échappent librement et se détendent. Ces exutoires constituent le RESEAU DE DRAINAGE.



## 1-1 - Les DANGERS des FUITES

Les deux moyens essentiels d'attaque des eaux d'infiltration, en dehors de la pression, sont l'ÉROSION et l'ACTION DISSOLVANTE.

### 1-1-1 - L'ÉROSION

L'érosion sera toujours à craindre dans l'environnement du barrage, même s'il s'agit d'un rocher apparemment sain. Dans une masse de terrain, aussi importante que celle qui est habituellement en contact avec l'eau de la retenue, il peut très bien se trouver des cheminements préférentiels (failles ou zones de contact entre deux formations de nature géologique différente, par exemple), susceptibles de livrer passage à l'eau jusqu'à des matériaux de remplissage, ayant une faible cohésion, et qui risqueront de "débourrer". C'est un phénomène de ce genre, qui s'est produit dans le verrou de fondation du barrage de la Girotte. Une faille, située à 50 mètres environ en-dessous de l'assise du barrage a débourré en Août 1951. Par chance, l'alimentation de cette faille se faisait à partir de la galerie de prise, qui traverse le verrou rocheux, et la fermeture de la vanne de garde de cette galerie a permis de stopper rapidement l'érosion de la fondation.

Dans le cas de barrages en terre ou de digues, il est bien évident que toute amorce d'érosion en aval de l'organe étanche entraînerait rapidement une ruine partielle ou totale de l'ouvrage.

### 1-1-2 - L'ACTION DISSOLVANTE

Les eaux agressives ( $\text{pH} < 7$  ou titre hydrométrique  $\text{TH} < 6$ ) peuvent avoir une action dissolvante importante sur les liants, s'ils ne sont pas choisis en conséquence. Cette action peut intéresser soit le corps du barrage, soit le voile d'étanchéité ou même certaines roches de la fondation. Dans tous les cas, la dissolution affaiblit la résistance de l'ouvrage et peut être l'amorce d'une érosion, qui, elle, pourrait avoir beaucoup plus rapidement des conséquences catastrophiques.

Pour donner un ordre de grandeur, nous indiquerons que des eaux particulièrement agressives ( $\text{pH} = 4,9$  ;  $\text{TH} = 0,9$ ) ont appauvri le barrage de GMOURE de 25 tonnes de  $\text{CaO}$  durant la seule année 1953.

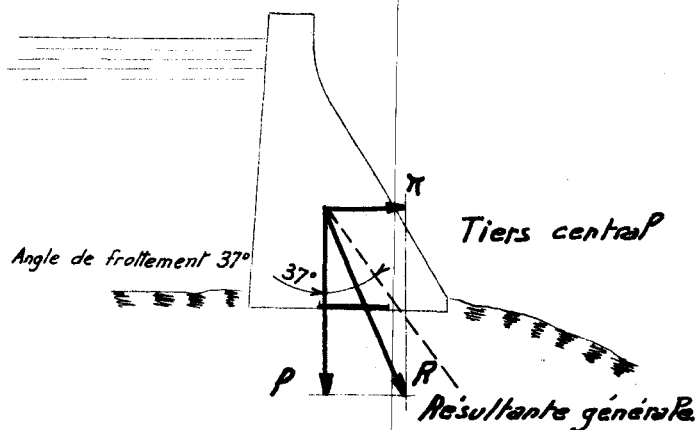
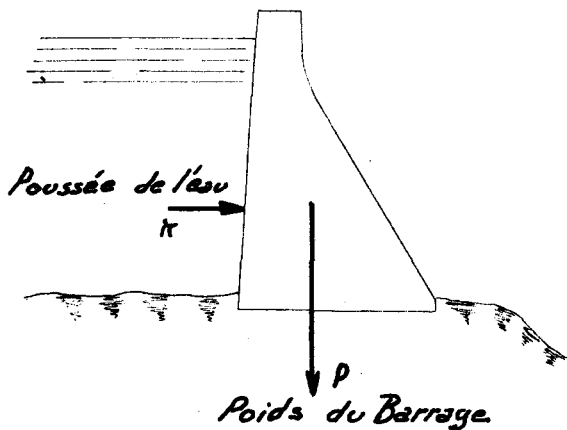
## 1-2 - Le DANGER des SOUS-PRESSIONS

Les sous-pressions intéressent directement la stabilité du barrage ou de son environnement. Leur apparition est donc particulièrement dangereuse.

./.

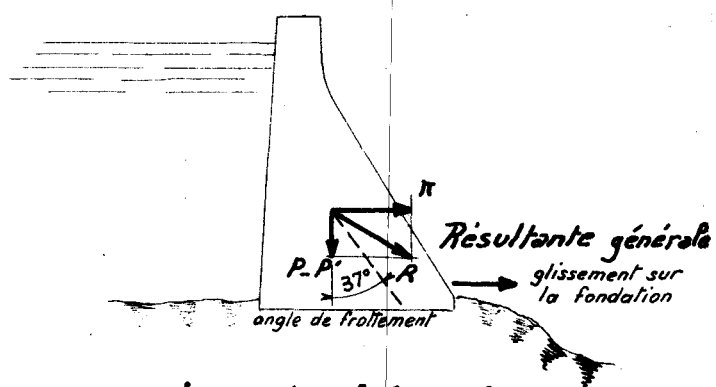
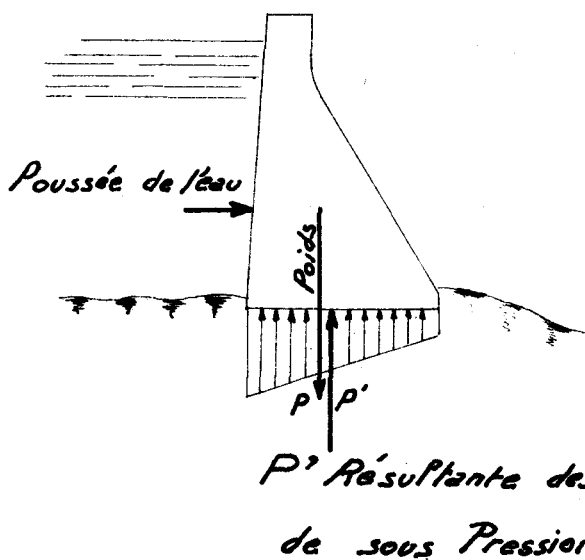
# EQUILIBRE DU BARRAGE FIG. 1

## EN L'ABSENCE DE SOUS PRESSIONS



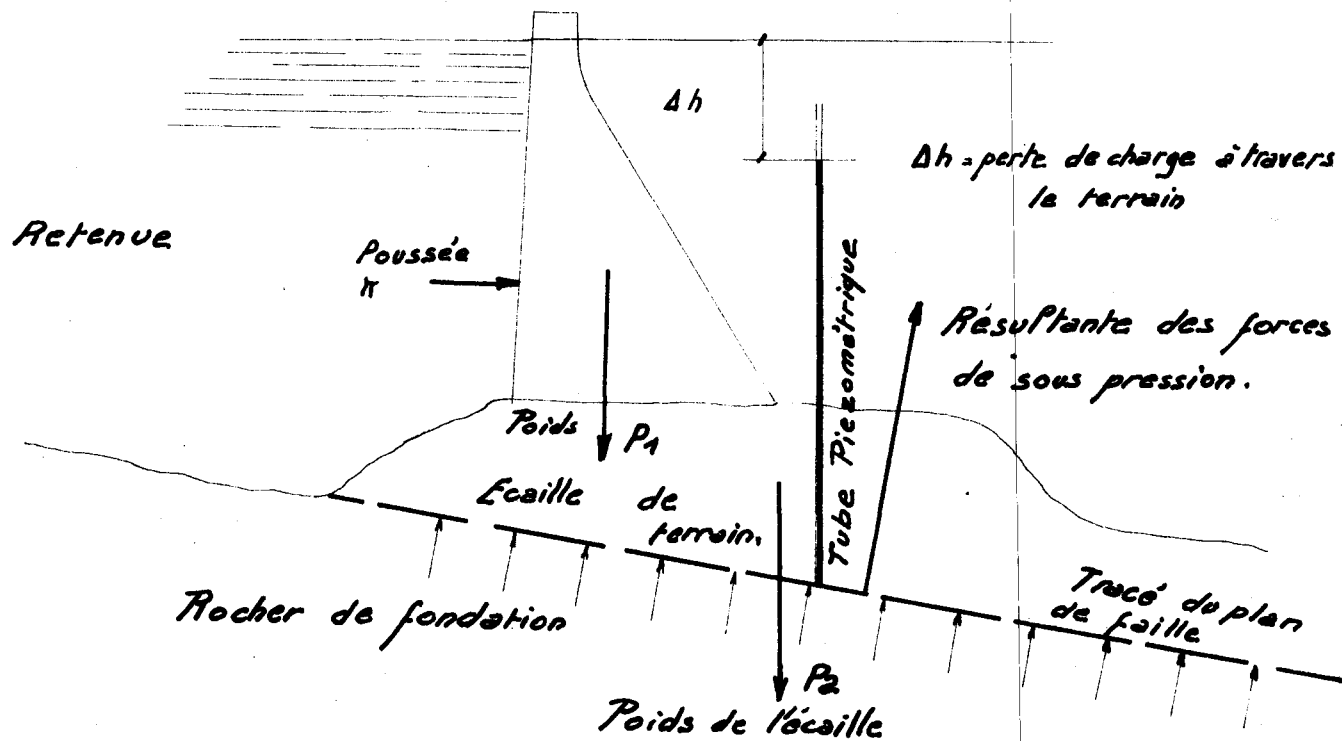
La Résultante générale fait avec la verticale un angle inférieur à l'angle de frottement.  
La stabilité au glissement est assurée

## AVEC DES SOUS PRESSIONS



Si la résultante générale fait avec la verticale un angle supérieur à l'angle de frottement, la stabilité au glissement n'est plus assurée.

FIG. 2. LE DANGER MORTEL DES SOUS PRESSIONS



Si la communication est facile avec la retenue, la perte de charge  $\Delta h$  est faible et la résultante des forces de sous pression est importante.

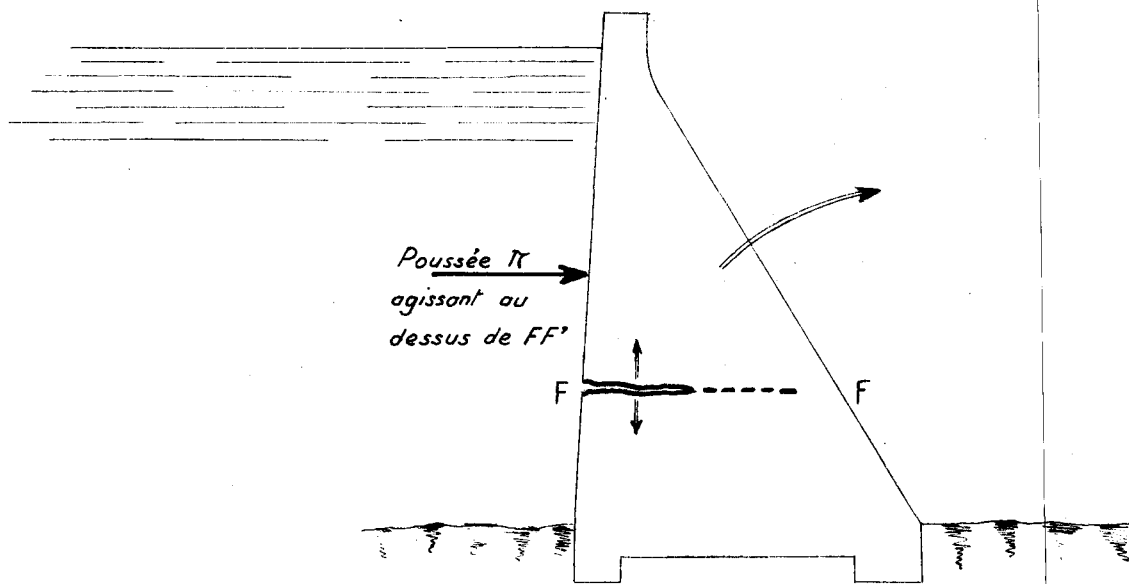


FIG 3 FISSURE DEBOUCHANT SUR LE PAREMENT AMONT

En l'absence de système de drainage à l'intérieur du barrage

- risque de propagation vers l'aval de la fissure,
- risque de déséquilibre de la partie supérieure de l'ouvrage.

En effet, si en l'absence de sous-pressions, la stabilité au renversement et au glissement est largement assurée pour un profil correctement dimensionné, l'apparition de sous-pressions introduit dans l'équilibre des forces une composante agissant en sens contraire du poids, qui risque de mettre le profil en déséquilibre (Fig.1).

Si la sous-pression n'agit pas directement sur l'ouvrage, mais sur une certaine surface du terrain de fondation (miroir de faille, par exemple), l'équilibre peut être rompu localement et entraîner des désordres graves. (Fig.2).

Nous allons examiner successivement le cas des barrages en béton, et celui des barrages ou digues en terre.

#### 1-2-1 - BARRAGES en BETON

Jusqu'à ces dernières années, on a surtout tenu compte des sous-pressions éventuelles dans le cas des ouvrages épais (BARRAGES-POIDS) ; cette préoccupation se manifestait, au moment de l'étude, par le choix d'un profil en travers suffisant, au moment de la construction, par la réalisation de réseaux de drainage (Fig.4), et, en cours d'exploitation, par le contrôle des drains.

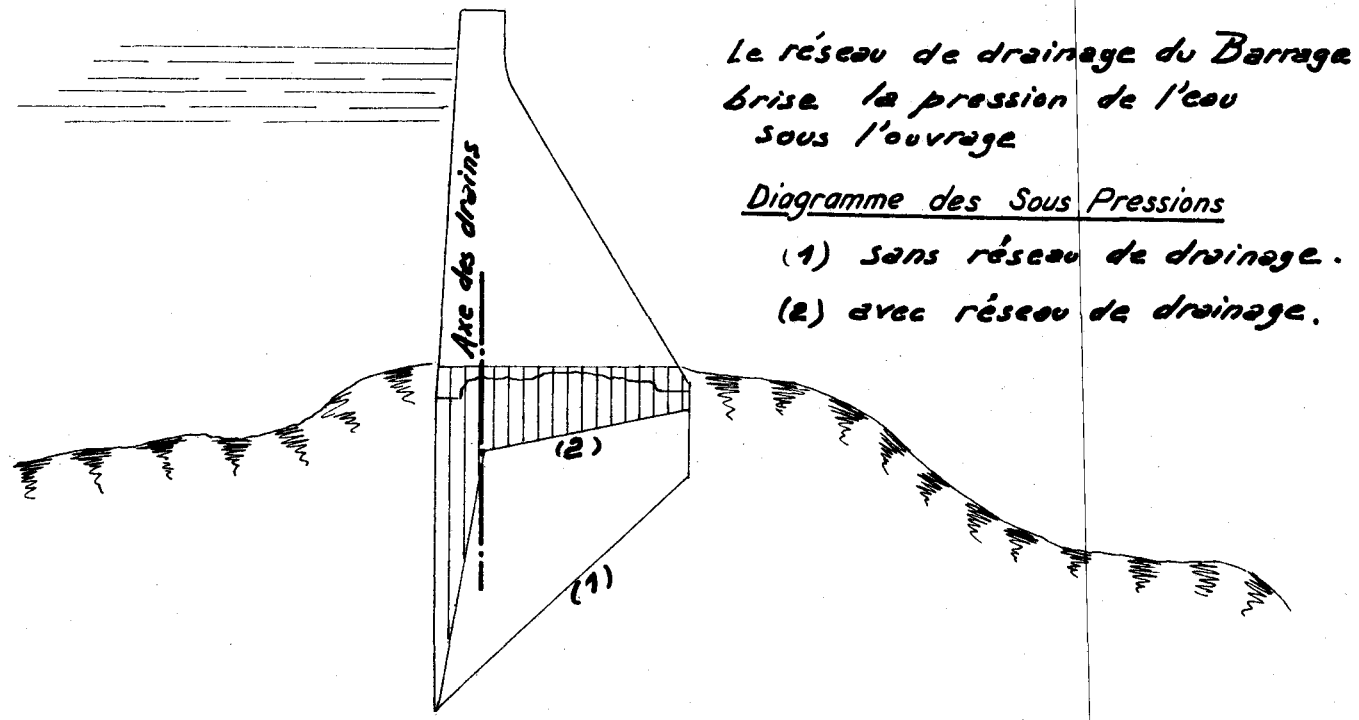
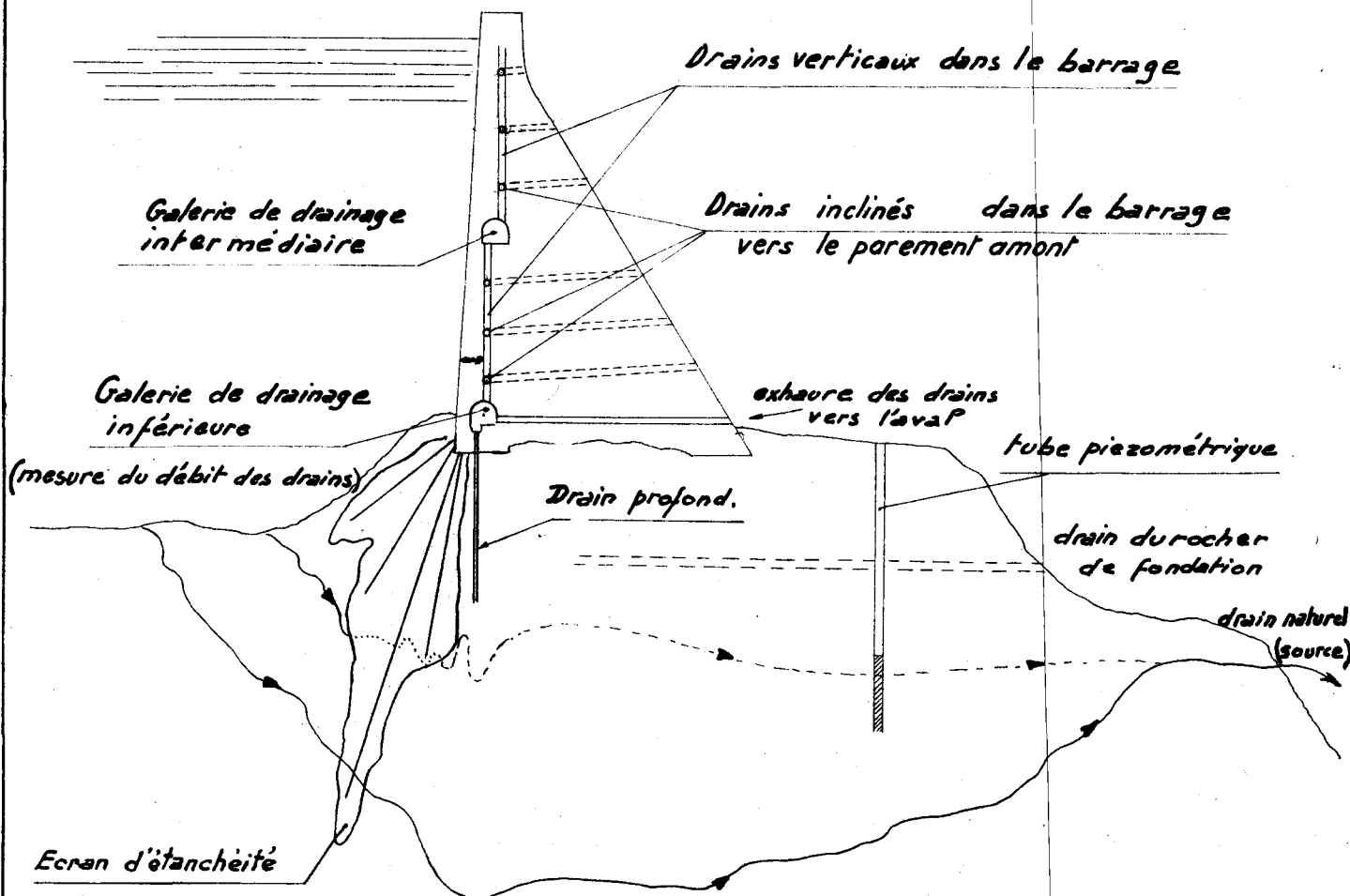
Depuis quelques années, on s'est rendu compte que les sous-pressions n'étaient pas à négliger dans le cas des ouvrages minces (BARRAGES-VOUTES, et VOUTES MULTIPLES), car elles pouvaient se manifester dans le terrain de fondation et compromettre indirectement la stabilité des ouvrages de cette catégorie. A ce propos, nous rappelons dans les lignes qui suivent, certains paragraphes du compte-rendu de la Réunion Exploitation-Equipement du 1er Avril 1960, relative au contrôle des sous-pressions dans le terrain à l'aval des barrages en service.

" Si pour les barrages-poids, les dispositions sont généralement prises pour éviter les risques de sous-pressions, il n'en est pas de même pour les barrages des types "voûtes" et "voûtes multiples". "

" Or, ces derniers barrages sont aussi exposés au danger des sous-pressions, particulièrement dans le cas où elles agissent sur des diaclases du terrain de fondation qui peuvent être des plans privilégiés de glissement. "

" Alors que le barrage-poids peut opposer aux sous-pressions éventuelles une force résistance, relativement importante due au poids de la maçonnerie et du rocher, cette force est généralement très faible dans le cas des ouvrages-voûtes et voûtes multiples. "

# DRAINAGE D'UN BARRAGE ET DE SA FONDATION FIG.4.



" Il est donc nécessaire de contrôler les sous-pressions dans les terrains à l'aval des barrages-voûtes, principalement lorsque les terrains ne sont pas perméables en grand ...

" .... En ce qui concerne les barrages-poids, il y a lieu de maintenir en parfait état de fonctionnement les drains existants afin de bien suivre dans le temps l'évolution des fuites et par là même, celle des sous-pressions, toute diminution des fuites par suite d'un colmatage des fissures pouvant se traduire par une augmentation de la sous-pression".

1-2-2 - BARRAGES et DIGUES en TERRE

Il est évident que le danger des sous-pressions dans le rocher de fondation, évoqué pour les ouvrages en béton, reste le même pour un ouvrage en terre, dans le cas où il est fondé en totalité ou partiellement sur le rocher. Mais, habituellement, ces types d'ouvrage se rencontrent dans le cas de fondations alluvionnaires.

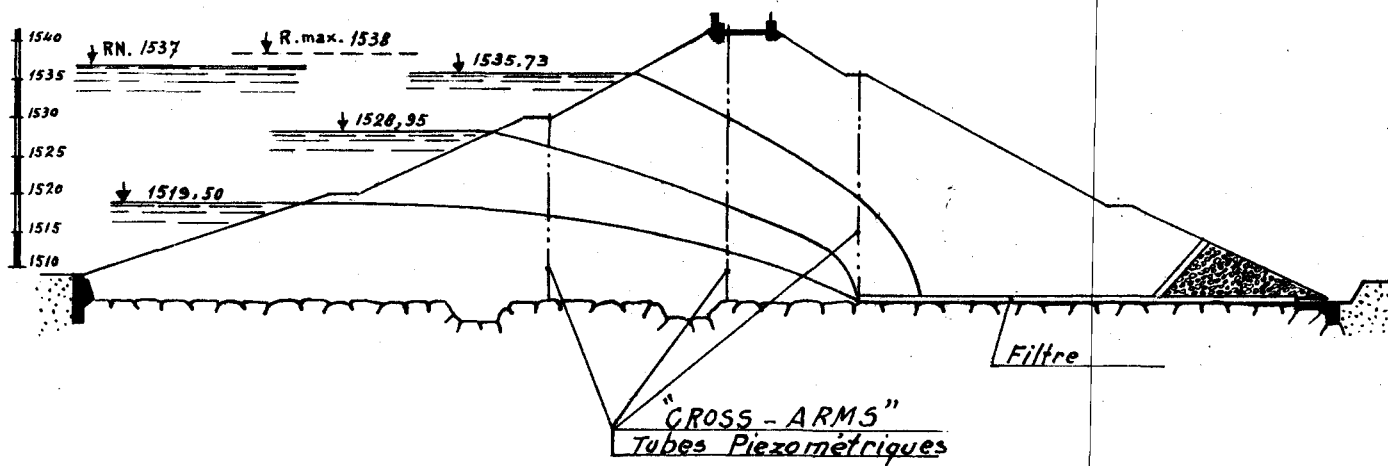
Pour le corps de l'ouvrage lui-même, étant donné la nature de ses matériaux constitutifs, il est important que nul part ne règne des pressions intersticielles supérieures à celles prises en compte dans les calculs.

La détermination des profils piézométriques à travers la digue permettra de surveiller l'efficacité de l'organe étanche, par la connaissance de la pression régnant à l'aval, le rôle réellement joué par les diverses couches drainantes et les filtres, etc ... A titre d'exemple, nous indiquons ci-dessous la position des lignes phréatiques pour 3 niveaux différents de retenue au cours du remplissage, dans le cas d'une digue en terre homogène (Barrage de MATEALE). Le repérage de ces lignes, grâce à des tubes piézométriques, permet de contrôler l'efficacité du tapis filtrant aval et de vérifier qu'une garde convenable existe par rapport au parement aval de l'ouvrage.

./.

Figure 5

BARRAGE de MATEMALE



*Position des lignes de saturation  
lors du remplissage de la retenue*

./.

### 1-3 - LE RESEAU de DRAINAGE

Le réseau de drainage est destiné à offrir les exutoires nécessaires à l'évacuation des eaux d'infiltration pour qu'elles ne puissent pas conserver une pression appréciable, au cours de leur cheminement dans le barrage ou son environnement.

- Pour les BARRAGES-POIDS, par exemple, on dispose habituellement immédiatement en aval de l'organe étanche, un premier réseau de DRAINS VERTICAUX, prolongés le plus souvent jusque dans la fondation (drains dans le barrage et drains profonds). Ces drains, simplement constitués de trous traversant le béton, sont distants, en moyenne, de 3 mètres. Au droit des joints de contraction, ménagés à la limite des plots, des puits verticaux de contrôle, d'un diamètre plus important que les drains courants, drainent les infiltrations éventuelles à travers les joints. Un deuxième réseau de DRAINS, ayant une pente voisine de l'horizontale, complète le premier réseau pour pallier à tout contournement des drains verticaux (Fig.4).

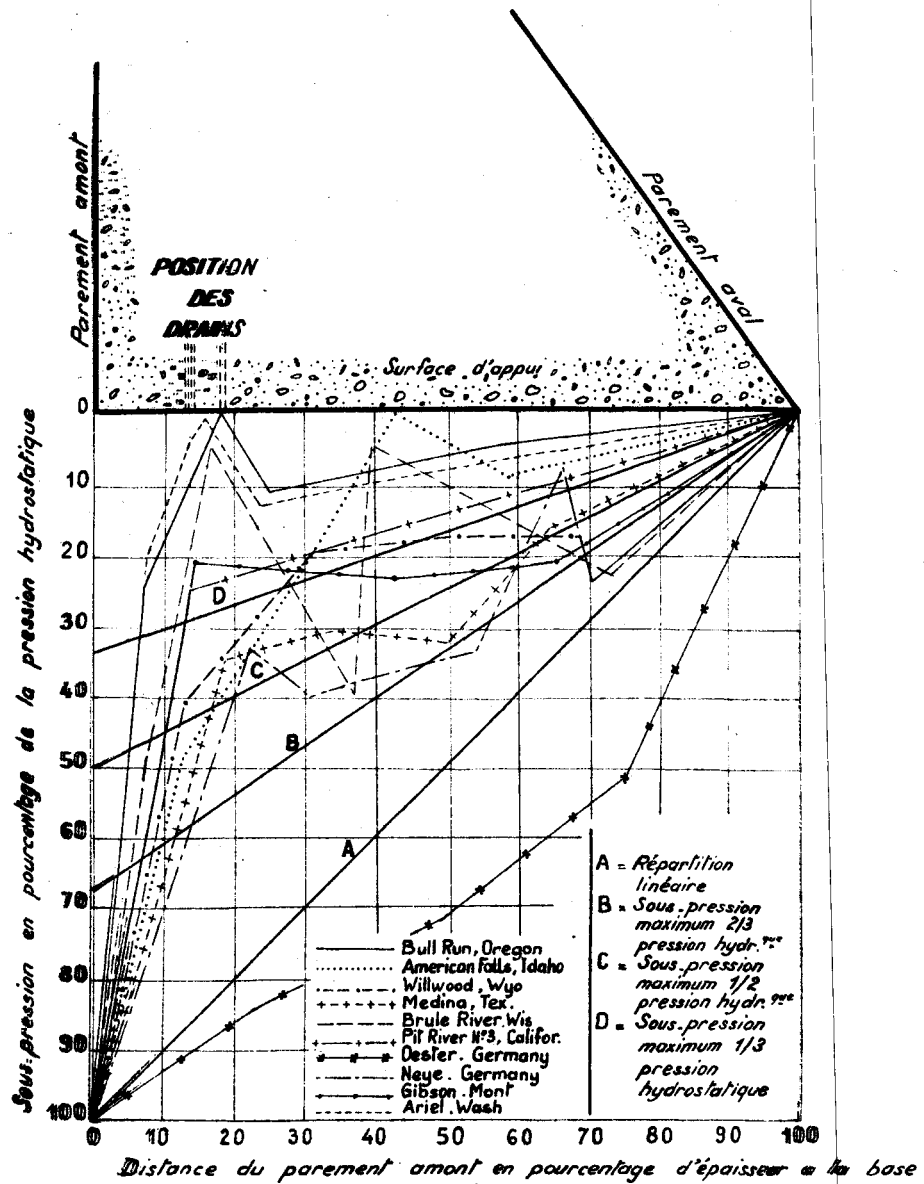
L'efficacité d'un tel réseau de drainage est en général suffisante, à condition que les drains soient toujours maintenus en état de service et qu'ils ne soient pas colmatés par les matériaux entraînés par les infiltrations. Dans la fondation elle-même, un réseau de drains profonds permet également de réduire notablement les sous-pressions. Des observations faites par CREAGER sous un certain nombre de barrages-poids le confirment (Fig.6).

- Pour les BARRAGES-VOUTES ou à VOUTES MULTIPLES, il ne s'agit pas de drainer le corps des voûtes, mais le terrain de fondation à l'aval du voile d'étanchéité. Nous citerons, à titre d'exemple, les dispositions prises à la suite d'un accord unanime des responsables de la Commission hydroélectrique du Québec (HYDRO-QUEBEC) et des ingénieurs conseils de MANICOUAGAN 5 pour éviter toute sous-pression dangereuse :

Il a été décidé de réaliser un drainage complet de la fondation et d'ajouter en même temps un sérieux voile d'injection pour reculer le risque de voir saturer les drains par de grosses venues d'eau. À cause du climat rigoureux, les drains auront leurs "gueules" chauffées pendant la mauvaise saison. Dans la mesure du possible, les drains seront recoupés par des galeries profondes servant d'exutoire général. Pour la grande falaise, située au pied de la rive droite, on ne se contentera pas d'un autodrainage du rocher par son réseau de fissures (appréciation subjective et aléa des rives où le rocher peut geler sur 2 à 4 mètres de profondeur), mais on réalisera également un important réseau de drainage.

./.





**Figure 6**

Sous-pressions observées sous un certain nombre de barrages-poids d'après CREAGER

- Pour les BARRAGES ou DIGUES en TERRE et les OUVRAGES MIXTES, il existe des dispositifs de drainage, destinés à capter toute infiltration dangereuse le plus près possible de l'organe d'étanchéité et à l'évacuer au-delà de l'organe porteur.

Le maintien en parfait état de Service de ces dispositifs de drainage est fondamental pour la perennité de ces ouvrages.

---

Il est sans doute utile de bien faire la distinction entre les rôles respectifs du réseau de drainage et du réseau de tubes piézométriques destinés à des mesures de sous-pression.

Le réseau de drainage sert d'exutoire. Les infiltrations s'écoulent par son intermédiaire selon un régime qui s'établit compte tenu de la charge à l'amont et des pertes de charge créées par les obstacles rencontrés par l'eau au cours de sa percolation jusqu'au débouché du drain. Une mesure effectuée sur un drain ne peut pas nous donner la valeur de la sous-pression en un point déterminé. Ce n'est pas son rôle, et vouloir le lui faire remplir peut être dangereux car sa fonction est d'offrir en permanence un exutoire aux infiltrations. Le réseau de drainage permet seulement de contrôler la permanence dans l'évacuation des infiltrations.

Le réseau de mesure des sous-pressions constitué de tubes piézométriques scellés (ou de forages tubés) recherche une mesure ponctuelle de la pression, dans les conditions réelles d'écoulement de l'eau entre la retenue et l'aval du barrage. Elle sera effectuée de manière à ne pas perturber l'écoulement, c'est-à-dire en captant la pression sur une faible hauteur (1m, par exemple), et en empêchant toute communication entre les nappes par l'intermédiaire du tube piézométrique. Le matériel utilisé pour les mesures de sous-pression ne pourra donc, en aucun cas, jouer un rôle de drainage ou de décompression. Des tubes piézométriques seuls sont incapables d'assurer la décompression de la zone où ils sont implantés.

---

Il est très important de se souvenir de ces rôles respectifs et de ne pas ~~les~~ intervertir dans la pratique.

## 2 - INTERET DE LA MESURE DES FUITES ET DES SOUS - PRESSIONS

Les mesures de déplacements et de déformation, habituellement pratiqués sur les barrages, sont surtout faciles à mettre en oeuvre sur le barrage lui-même. L'"auscultation" de l'environnement du barrage est beaucoup plus difficile à réaliser et on est obligé de se limiter à un certain nombre de mesures ponctuelles dans la fondation (fils de fondation scellés dans des forages, témoins sonores ancrés dans des forages, pendules inversés...)

La mesure des fuites et des sous-pressions présente un certain nombre d'avantages par rapport aux mesures de déplacements et de déformation, et vient les compléter heureusement. Nous allons citer les principaux avantages.

### 2-1 - Possibilité d'investigation simultanée du barrage et du terrain de fondation

Le dispositif de mesure des fuites est normalement conçu de manière à séparer les infiltrations en provenance du corps du barrage et celles en provenance du terrain. Il sera donc facile de connaître, à l'occasion de chacune des mesures, l'évolution comparée du barrage et de la fondation, vue sous l'angle des fuites.

Les mesures de sous-pression complémentaires des mesures de fuites, permettront d'apporter un éclairage supplémentaire aux phénomènes détectés dans le barrage ou dans son environnement.

### 2-2 - Facilité des mesures

Les mesures de fuites ou de sous-pressions utilisent généralement un matériel facile à mettre en oeuvre. Les agents de l'Exploitation peuvent effectuer eux-mêmes les mesures et surtout assurer leur dépouillement.

Cette facilité présente un double avantage :

- Le Chef d'Usine responsable du barrage peut connaître les résultats après chaque mesure et les exploiter lui-même en les reportant sur des graphiques de surveillance.

- La fréquence des mesures est adaptable aux besoins. Il est possible d'effectuer des mesures régulières relativement fréquentes (tous les quinze jours par exemple), et de les multiplier en cas de toute anomalie d'évolution.

On pourra donc savoir rapidement si l'évolution est convergente ou divergente. Dans le cas d'une évolution rapide du phénomène, la souplesse de ces mesures sera donc très précieuse, car il est primordial de connaître vite l'allure de l'évolution.

#### 2-3- Image du comportement d'ensemble

Les fuites sont un bon "intégrateur" des phénomènes qui peuvent affecter la vie d'un ouvrage. Leur évolution permettra, en général, d'avoir une bonne image du comportement d'ensemble du barrage et de sa fondation. Cette indication est précieuse car il est souvent difficile de "valoriser" le vieillissement d'un ouvrage et de savoir comment il se situe par rapport à ce qu'il était 10 ou 20 ans auparavant.

#### 2-4 - Contrôle de la résistance et de la stabilité

La mesure combinée des fuites et des sous-pressions permet d'obtenir un paramètre caractéristique de chacun des deux objectifs essentiels de la surveillance des barrages, à savoir le contrôle de la RESISTANCE et le contrôle de la STABILITE.

Comme nous l'avons rappelé dans le § 1.1 concernant les généralités, les fuites conditionnent la résistance et les sous-pressions conditionnent la stabilité.

#### 2-5 - Complémentarité des mesures de fuites et de sous-pressions

Les deux mesures sont complémentaires et permettent, dans de nombreux cas, de connaître l'origine d'une évolution constatée. La connaissance seule de l'augmentation ou de la diminution du débit de certaines fuites ne permet pas d'expliquer le phénomène, mais si on connaît, en parallèle, l'évolution des sous-pressions, l'interprétation sera, en général, possible.

./.

Prenons un exemple : Si on détecte une diminution sur le débit des drains, comment savoir si cette réduction des infiltrations provient d'un colmatage au niveau des drains eux-mêmes ou au niveau de l'organe étanche ? Les sous-pressions nous donneront la réponse. Dans le premier cas, si ce sont les drains, qui se sont colmatés, on aura une augmentation corrélative des sous-pressions et par conséquent, cette évolution sera dangereuse pour la Sécurité. Dans le deuxième cas, si c'est l'organe étanche qui s'est colmaté, on aura une baisse corrélative des sous-pressions mesurées et on saura que l'évolution va dans le sens de la Sécurité.

Inversement, si on détecte une augmentation du débit des drains, et si ce phénomène s'accompagne d'une baisse des sous-pressions, on pourra en déduire que l'efficacité du drainage s'accroît, mais qu'on risque peut-être un "débouillage". Par contre, si elle s'accompagne d'une augmentation des sous-pressions, il faudra y voir une baisse de l'efficacité de l'organe étanche.

La double connaissance des fuites et des sous-pressions permettra le plus souvent de connaître le sens de l'évolution constatée, et d'avoir ~~une~~ une indication précieuse sur le comportement du barrage.

LA SURVEILLANCE DES BARRAGES ET DES DIGUES

PREMIERE PARTIE

LE CONTROLE ET LA MESURE DES FUITES

Septembre 1971

## PREMIERE PARTIE

### LE CONTROLE ET LA MESURE DES FUITES

#### SOMMAIRE

- I - Le principe de la mesure des fuites
  - II - Les emplacements des points de mesure
  - III - A quels moments faire les mesures ?
  - IV - Les méthodes de mesure à employer
  - V - La présentation et la diffusion des résultats
  - VI - Documents annexes
- 

N.B. - Dans le texte ci-dessous, les mots "barrage" et "ouvrage" sont souvent pris dans un sens très général. Ils englobent à la fois les barrages de retenue et les digues des canaux.

## I - LE PRINCIPE DE LA MESURE DES FUITES

### - PRINCIPE

"Les fuites d'un barrage, au cours des cycles successifs de charge et de température, doivent rester semblables".

Tant que l'on ne décèle pas d'anomalies, on admet :

- 1) qu'il n'y a pas eu d'évolution dans le comportement du barrage,
- 2) que l'expérience est une excellente présomption de la sécurité de l'ouvrage.

---

Il s'agit donc, après la mise en service d'un ouvrage, de connaître, dans un premier temps, le comportement "normal" de l'ouvrage, vu sous l'angle des fuites (au cours des premiers mois ou des premières années d'exploitation et notamment en cas de cycles périodiques de remplissage et de vidange, on peut assister à une adaptation de l'ouvrage à sa fondation et à une évolution de son comportement, en ce qui concerne les fuites. Mais, cette évolution, de faible importance, habituellement, doit aboutir assez vite à un comportement stable que nous appellerons le "comportement normal").

Puis, dans un deuxième temps, c'est-à-dire tout au long de la vie de l'ouvrage, il s'agit de suivre, par l'intermédiaire des mesures de fuites, le comportement du barrage et de vérifier que ce comportement, à conditions égales d'une année sur les années antérieures, reste voisin du comportement normal.

Ce contrôle de conformité, qui vise à détecter toute anomalie, suppose, bien entendu, que les conditions locales de mesure des fuites restent les mêmes. Chaque fois que les conditions d'écoulement de l'eau à travers le barrage ou le terrain de fondation auront changé par suite de travaux d'entretien ou de consolidation (percement de nouveaux drains, voile complémentaire d'étanchéité, modification du réseau de drainage ou du système de collecte des fuites, etc...) les nouvelles mesures de fuites permettront, tout d'abord, de juger de l'efficacité du traitement réalisé (injections complémentaires par exemple) mais viseront, dans les mois qui suivront, à définir le nouveau comportement "normal", pour la zone de l'ouvrage, dont le comportement aurait été modifié par des travaux.

Les mesures ultérieures des fuites permettront à nouveau de détecter toute anomalie survenant par rapport au nouveau comportement normal.



## II - LES EMPLACEMENTS DES POINTS DE MESURE

### 2-1 - LES EMPLACEMENTS POSSIBLES

Les emplacements des fuites peuvent être fort variés et très différents d'un ouvrage à un autre. Voyons quelques exemples :

#### 2-1-1-Les emplacements peuvent être liés à la conception de l'ouvrage :

- réseau de drainage dans un barrage poids par exemple ( drains profonds, drains **verticaux**, drains **horizontaux**)
- joints entre plots ( fuites par suite d'un défaut d'étanchéité des lames dites d'étanchéité )
- réseau de drainage au pied aval de voûtes.

#### 2-1-2-Les emplacements des fuites peuvent être liés à la présence de certaines galeries traversant l'écran barrage + fondation

- Dérivations provisoires ( fuites aux bouchons obturant les D.P. ou drainage naturel du terrain )
- Bouchon dynamitable ( fuites )
- Galerie abritant les conduites forcées ( drainage du terrain ou du barrage ) .

#### 2-1-3-Les emplacements des fuites correspondent souvent à des zones de contact

- Contact béton-rocher - le long des appuis - au niveau de la fondation,
- Joints piles-voûtes dans le cas d'un barrage à voûtes multiples, par exemple.

#### 2-1-4-Les emplacements des fuites correspondent également à des défauts de la maçonnerie ou du rocher de fondation

- Fissures,
- Béton appauvri ( nids de cailloux, gal, eaux agressives),
- Etanchéité du parement amont défectueuse,
- Dans le rocher, failles, zone de contact entre deux formations géologiques différentes - Sources - Résurgences -

./.

Ces exemples nous montrent que le contrôle des fuites nécessite un examen minutieux de l'ensemble de l'ouvrage. Pour que cet examen puisse se faire dans de bonnes conditions, il est important, toutes les fois que l'ouvrage est aisément accessible par l'aval, que sa fondation soit dégagée le mieux possible des arbustes ou des matériaux placés en remblais qui masquent le terrain de fondation et parfois l'ouvrage lui-même. Il faut que les emplacements des fuites soient bien visibles pour pouvoir être surveillés facilement.

Dans les cas où il n'est pas possible d'accéder à l'aval de l'ouvrage (en totalité ou partiellement), un examen minutieux avec une jumelle de précision depuis le point le plus rapproché d'où l'ouvrage est visible, est, de toute manière, nécessaire.

## 2-2 - COMMENT CHOISIR LES EMBLEMENTS DE MESURE ?

### 2-2-1 - Principe général

La surveillance des fuites nécessite :

- la mesure individuelle de toutes les venues d'eau au point où elles deviennent visibles
- des mesures globales de contrôle de l'ensemble et des sous-ensembles caractéristiques (par exemple, rive droite, rive gauche, barrage et rocher de fondation).

### 2-2-2 - Méthodes et préoccupations

Il faut, dans un premier temps, répertorier tous les emplacements connus de fuites ou de résurgences.

Puis, dans un deuxième temps, prévoir le dispositif de mesure des fuites en recherchant :

- l'efficacité, c'est-à-dire avoir des mesures qui soient bien significatives du comportement de l'ouvrage,
- la simplicité, pour faciliter les opérations de mesure sur place et le contrôle des résultats.

Même lorsqu'un ouvrage est déjà équipé pour la surveillance des fuites, ces trois préoccupations doivent rester présentes à l'esprit et guider la surveillance.

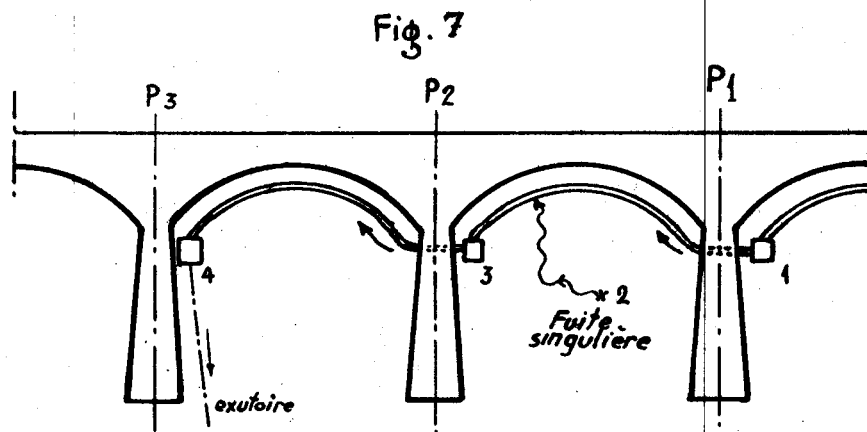
### 2-2-3 - Le dispositif de mesure

2-2-3-1 - Le dispositif de mesure doit permettre de connaître :

- le débit global des fuites de l'ouvrage considéré,
- le débit propre à chacune de ses parties caractéristiques (entre tel et tel plot - tel interpiles - tel appui - entre tel et tel niveau de galeries de drainage, etc...)
- le débit des résurgences isolées (dans le terrain de fondation) ou de fuites singulières nécessitant une surveillance attentive.

A partir de l'inventaire des points de résurgence, on peut tronçonner l'ensemble ouvrage + terrain de fondation en un certain nombre de secteurs, faisant chacun l'objet d'une mesure, l'ensemble de ces mesures permettant, par addition ou par soustraction, de connaître les valeurs relatives à chacune des parties caractéristiques de l'ouvrage.

Par exemple, dans le cas d'un barrage à voûtes multiples, avec réseau de drainage par l'aval, en faisant une mesure du débit global du réseau à l'aval de chacun des inter-piles, on peut connaître les apports propres à chacune des voûtes (Fig.7).



*Fuites en provenance de la voûte P2-P3 = mesure 4 - mesure 3*  
*Fuites en provenance de la voûte P1-P2 = mesure 3 - (mesure 1 + fuite singulière)*

Il en est de même dans le cas d'un réseau de drainage interne au barrage, ce réseau divisant, dès la construction, l'ouvrage en un certain nombre de secteurs.

Les emplacements choisis comme points de mesure doivent être :

- d'un accès commode, dans toute la mesure du possible,
- d'une utilisation facile pour une mesure par capacité ou par déversoir (voir § 4-2).

#### 2-2-3-2 - Plan du dispositif

Le dispositif de mesure retenu doit faire l'objet d'un plan répertoriant et identifiant tous les points de mesure des fuites. Les liaisons existant entre points de mesure (cunettes, regards, buses, etc...) seront indiquées dans la mesure du possible. (Voir Annexe 6).

Ce plan sera joint au rapport annuel (Voir § 5-4).

2-2-4 - Barrages en construction

Il est très important de pouvoir débiter la surveillance des fuites avant même la mise en service de l'ouvrage.

Dès qu'un projet de barrage est définitivement arrêté, il serait très utile de faire l'inventaire de toutes les venues d'eau et écoulements qui existent, à l'état "naturel", à l'aval de l'emplacement du barrage et de les mesurer sur une assez longue période (plusieurs années). Durant les travaux de construction, il est souvent possible de resserrer l'intervalle entre les mesures et de bénéficier du concours du personnel de l'Équipement, à demeure sur le chantier.

Il est utile de renvoyer dans la retenue tous les écoulements naturels de l'aval, situés à une cote supérieure à la retenue normale envisagée.

### III - A QUELS MOMENTS FAIRE LES MESURES ?

Les principaux facteurs, qui influencent le débit des fuites à travers un barrage et sa fondation, sont :

- le niveau de la retenue,
- la température ambiante,
- la pluviométrie,
- la température de l'eau de la fuite.

Ces quatre facteurs ont chacun leur influence propre sur la variation des fuites et si l'on veut connaître le comportement du barrage sous telle action particulière, il est nécessaire de rechercher les influences respectives de chacun de ces facteurs, d'où l'intérêt de séries de mesures plus spécifiques. Aussi, nous devons faire une distinction entre les mesures qualifiées de "régulières" et les mesures que nous appellerons "particulières".

#### 3-1 - LES DEUX TYPES DE MESURES

##### 3-1-1 - Mesures régulières (obligatoires)

Ce sont celles qui ont lieu à intervalle de temps régulier, fixé à l'avance, indépendamment de toute autre condition.

Si on mesure les fuites d'une manière régulière, on décidera par exemple de faire la mesure des fuites le premier lundi de chaque mois, tous les quinze jours, à l'occasion de chaque déplacement au barrage ...

./.

### 3-1-2 - Mesures particulières (éventuelles)

Ce sont celles qui visent plus spécialement à améliorer nos connaissances sur le processus des fuites. Etant donné que plusieurs facteurs agissent sur le même phénomène, il faut choisir des périodes de mesure permettant d'éliminer l'influence de l'un des facteurs pour aider à trouver les corrélations liant le débit des fuites et les autres facteurs.

Par exemple, si nous faisons des mesures à intervalles rapprochés pendant une période où le plan d'eau rest constant, on peut admettre, après quelques jours de stabilisation du plan d'eau, que les variations que nous pourrions enregistrer dans les mesures de fuites, au cours de cette période stable du plan d'eau, ont toute chance d'être liées à la température ou à des précipitations augmentant les résurgences du terrain. S'il n'y a pas eu, par chance, de précipitations pendant la même période, on découvrira peut-être une ébauche de corrélation liant la température ambiante et les fuites du barrage. Nous aurons fait, dans ce cas, des mesures spécifiques, davantage significatives en ce qui concerne l'influence de la température.

Par rapport aux mesures régulières, qui assurent un contrôle permanent (consigne à long terme), ces mesures ne sont pas fixées à l'avance dans le temps ; elles sont décidées au moment opportun (consigne à court terme). Elles ont la durée du phénomène particulier observé.

### 3-2 - PERIODICITE DES MESURES

Dans la pratique, il est nécessaire de lier ces deux types de mesures.

#### 3-2-1 - Périodicité des mesures régulières

On fera des mesures régulières à l'intervalle de temps constant. Cet intervalle sera fonction des conditions d'exploitation, des facilités d'accès, de la durée nécessaire pour faire l'ensemble des mesures. Il pourra varier entre la semaine et le mois. Le mois représente la limite longue. En règle générale, une mesure aura lieu au moins tous les quinze jours. Ces mesures, une fois la périodicité établie, seront provoquées directement par le Chef d'Usine, qui reportera les résultats sur son graphique des fuites aussitôt après les mesures (voir par. 5-2-3).

### 3-2-2 - Périodicité des mesures particulières

Des mesures particulières pourront avoir lieu pour toutes les circonstances spécifiquement intéressantes :

- vidange totale rapide,
- remplissage rapide,
- niveau de la retenue maintenu constant,
- température stationnaire,
- absence de précipitations, etc...

La fréquence des mesures sera fixée, pour chacune de ces circonstances, en fonction du phénomène particulier étudié.

Dans le cas d'une vidange rapide, par exemple, la fréquence pourra être journalière si la variation du niveau est importante en 24 heures.

Il existe également des périodes de fonctionnement normal de l'ouvrage au cours desquelles on peut être amené à accroître le nombre habituel des observations. C'est le cas, par exemple, des fins de remplissage de retenue, où l'on observe fréquemment, pour les derniers mètres, un accroissement sensible du débit des fuites et de la valeur des sous-pressions (phénomènes liés vraisemblablement à la rotation de l'ouvrage vers l'aval). Dans ces périodes, des mesures à intervalle plus rapproché viendront compléter les mesures régulières.

### 3-3 - EVOLUTION ANORMALE

Toute variation anormale des fuites (aussi bien une AUGMENTATION qu'une DIMINUTION) devra faire aussitôt l'objet d'une mesure de contrôle pour vérifier l'authencité des résultats.

Si la variation est confirmée, c'est-à-dire s'il ne s'agit pas d'une erreur de mesure, l'anomalie sera aussitôt signalée. Des mesures supplémentaires de contrôle seront réalisées.

./.

#### IV - LES METHODES DE MESURE A EMPLOYER

Il convient de distinguer les mesures intéressant les facteurs qui conditionnent l'évolution du débit des fuites à travers l'ouvrage et son environnement et les mesures de fuites elles-mêmes.

##### 4-1 - LA MESURE DES FACTEURS D'EVOLUTION

###### 4-1-1 - Niveau de la retenue (Z) (connaissance obligatoire)

La connaissance du niveau de la retenue ne doit pas poser de problème. Pratiquement, tous les barrages sont équipés d'échelles limnimétriques, de manomètres ou de presses de mesure du niveau, d'appareils de transmission à distance du niveau... Il est donc toujours possible de noter la cote de la retenue au moment d'une mesure des fuites et d'avoir les éléments nécessaires au tracé de la courbe annuelle de variation du niveau de la retenue.

###### 4-1-2 - Température ambiante (T) (connaissance obligatoire)

Un seul point de mesure de la température ambiante devrait suffire pour l'ensemble de l'ouvrage, à condition qu'elle soit toujours faite au même endroit et dans les mêmes conditions. La solution idéale consiste à installer un thermomètre enregistreur dans un abri, style abri de la météorologie. A défaut d'enregistrement de température, il suffit d'avoir une image de l'évolution globale des températures au cours de la période séparant deux mesures de fuites. On pourra se contenter de mesurer la température maximum et la température minimum durant cette période. Un thermomètre à maxi et mini suffit. De nombreuses stations thermométriques sont exploitées, à l'heure actuelle, par les trois Centres Hydrométéorologiques de la D.T.G. et pour certains barrages, il sera sans doute possible de déduire des relevés de ces stations les renseignements nécessaires sur (T).

###### 4-1-3 - Précipitations (P) (connaissance obligatoire)

Les relevés, souvent effectués à l'heure actuelle par les agents des usines, et l'étude des précipitations faite par les Centres Hydrométéorologiques (C.M.M.) de la Division Technique Générale, devraient permettre de connaître, pour chaque barrage considéré, les précipitations au droit de l'ouvrage. Ce paramètre sera exprimé sous la forme des précipitations recueillies au cours de la période, qui s'est écoulée entre deux mesures.



#### 4-1-4 - La température de l'eau des fuites (T') (connaissance facultative)

Dans certains cas, il sera nécessaire de rechercher la provenance exacte de fuites constatées. La mesure de la température de l'eau au débouché de la fuite, c'est-à-dire le plus en amont possible, permettra d'apporter d'utiles précisions. Cette mesure ne serait toutefois effectuée que dans les cas où elle apparaîtrait nécessaire.

Il faut également ne pas oublier que la température a une influence sur la viscosité de l'eau, et par conséquent, sur l'écoulement des filets liquides. Un tableau, placé en annexe n° 8 indique l'importance de cette variation.

Malgré son caractère facultatif, une colonne est réservée à la consignation de cette mesure sur la feuille du relevé des fuites. (annexe n°7)

#### 4-2 - LA MESURE DES FUITES

Vehons-en à la mesure essentielle de la surveillance des fuites d'un barrage. Les deux méthodes les plus utilisées sont celles de la capacité et du déversoir en mince paroi.

##### 4-2-1 - Mesure par capacité

Cette méthode nécessite l'emploi d'un récipient de capacité connue et d'un chronomètre.

Pour avoir une bonne précision, il faut mesurer le temps nécessaire à remplir un volume défini, et ne pas faire l'inverse, c'est-à-dire qu'il ne faut pas se fixer, à priori, une durée de mesure et voir quelle est la quantité d'eau recueillie durant cette durée.

Les capacités les plus utiles à posséder seront des capacités de 1 l, 5 l, 10 l, 20 l. Une éprouvette graduée pourra être utilisée pour les fuites débitant goutte à goutte.

Pour réduire l'erreur relative commise sur le chronométrage du temps, il est important d'avoir une opération de mesure, qui dure au minimum 15 à 20 secondes, c'est-à-dire que la capacité de 20 litres permettra de mesurer des débits de fuite jusqu'à 1 l/s. Pour des débits plus importants, et si l'on désire également faire la mesure par capacité, il faudra envisager l'installation à demeure d'un réservoir de mesure (50l - 100 l).

Il faudra veiller tout particulièrement à conserver en bon état les capacités de mesure et à remplacer tout récipient "cabossé" pour que les mesures restent bien comparables dans le temps.

4-2-2- Mesure par déversoirs en mince paroi (document annexe n°1)

Lorsqu'il est possible de canaliser les fuites vers un endroit favorable à l'installation d'un déversoir de mesure en mince paroi, il est souvent plus pratique d'utiliser cette autre méthode qui évite le transport à pied d'œuvre de matériel à l'occasion de chacune des mesures.

Il existe plusieurs types de déversoirs en mince paroi : déversoirs rectangulaires avec ou sans contraction latérale, déversoirs triangulaires, déversoirs trapézoïdaux.

Pour les débits de fuite habituellement rencontrés (inférieurs à 50 l/s), le déversoir triangulaire est celui qui donne la meilleure précision.

Conditions d'installation (Figure dans Annexe n°1)

- Il faut, tout d'abord, pouvoir canaliser les fuites vers un endroit où il sera possible de sceller le déversoir.

- La pente à l'amont du déversoir doit être la plus réduite possible, c'est-à-dire que l'écoulement ne doit pas être torrentiel mais former un petit plan d'eau, dont le niveau puisse être mesuré sans fluctuation. Pour assurer une bonne tranquillisation du niveau à l'amont du déversoir, il est nécessaire d'installer un tranquillisateur.

- Il faut, en outre, que la pointe inférieure du déversoir (dans le cas du déversoir triangulaire) soit placée suffisamment haut pour que la lame déversante soit toujours dénoyée à l'aval. En effet, si la lame déversante n'est pas dénoyée et bien aérée, elle n'est pas stable et la mesure est faussée.

- Il faut, enfin, que le déversoir soit à arêtes vives, et que le plan du déversoir soit bien normal à l'écoulement des filets liquides.

Déversoir triangulaire à 90 °

Pour un déversoir triangulaire, isocèle et dont l'angle au sommet est égal à 90 °, le débit est lié à la charge h sur le sommet du déversoir par la formule de THOMPSON

$$Q = 1.42 h^{5/2}$$

Q en m<sup>3</sup>/s si h en mètres.

./.

L'abaque jointe, en annexe n°1, permet d'obtenir directement le débit en l/mn à partir de la hauteur d'eau mesurée en centimètres. On trouvera aussi un modèle d'échelle graduée directement en l/mn.

Un tableau donne également les valeurs du débit pour des angles au sommet du déversoir égaux à 60° et 45°.

-----

Nous ne saurions trop recommander de n'utiliser sur un même ouvrage qu'un seul type de déversoir, de préférence celui à 90°, pour n'avoir à consulter qu'une seule courbe de tarage.

#### 4-2-3 - Autres méthodes de mesure

Il existe de nombreux autres systèmes de mesure des débits (orifices, systèmes déprimogènes, pompage, etc...) mais ces systèmes, en général, relèvent davantage des conditions de mesure en laboratoire plutôt que de celles rencontrées près des barrages. Il semble souhaitable de mettre en oeuvre uniquement les deux méthodes précédentes, qui sont beaucoup plus rustiques, tout en étant précises.

L'essentiel consiste à utiliser des méthodes qui soient fidèles et sensibles et à faire des mesures dans des conditions qui soient bien comparables d'une fois sur l'autre.

#### 4-3 - LA MESURE DES DEBITS SOLIDES

Les fuites doivent normalement couler claires. L'entraînement de matériaux provenant de la fondation et transportés par les eaux de fuite est un phénomène grave, qui doit retenir toute l'attention.

Le fait qu'une fuite, habituellement claire, devienne trouble, est l'indice d'une amorce de "renard". Le processus peut s'accélérer, se stabiliser ou s'arrêter, mais dans tous les cas, il y aura eu entraînement d'une certaine quantité de matériaux et le vide ainsi créé, facilitera d'autant la percolation de l'eau, dans le terrain de fondation, depuis la retenue. Le risque de "débouillage" sera d'autant plus grand.

Dès l'apparition d'eaux chargées, il y a lieu, outre le renforcement des moyens de surveillance habituels :

- de mesurer le débit solide ou la turbidité
- de faire analyser les matériaux entraînés.

#### 4-3-1 - Mesure du débit solide

Il s'agit de mesurer la quantité de matériaux entraînés durant une unité de temps.

Il faudra recueillir, pendant un temps mesuré, la totalité du débit de la fuite et faire décanter ou filtrer le volume recueilli de façon à connaître le poids des matériaux qu'il contenait. Les matériaux recueillis sont souvent appelés le "filtrat".

#### 4-3-2 - Mesure de la turbidité de l'eau

Il est souvent difficile de faire une mesure précise ou rapide de débit solide soit qu'il n'est pas possible de capter toute la résurgence, soit que la décantation des matériaux recueillis est longue.

Comme il faut pouvoir apprécier, dès sa constatation, l'évolution du phénomène, on pourra recourir, en tout premier lieu, à une mesure de turbidité. Par exemple, on recueillera, dans une éprouvette ou un récipient cylindrique, l'eau trouble à son point de résurgence ; on plongera dans le récipient un disque ou une capsule portant une inscription et on mesurera à partir de quelle profondeur d'immersion l'inscription devient illisible. La variation des profondeurs, mesurées pour les prélèvements successifs, indiquera l'évolution du phénomène. On pourra également déterminer les turbidités relatives par rapport à un échantillon témoin (eau de la retenue, ou premier prélèvement, par exemple).

#### 4-3-3 - Analyse des matériaux entraînés

Les indications précédentes seront utilement complétées par l'analyse des matériaux entraînés. Ces analyses, habituellement réalisées dans des laboratoires spécialisés, nécessitent fatalement un certain délai ; de ce fait, elles ne pourront pas orienter la décision à prendre dans un premier temps, mais uniquement guider dans le choix des remèdes (injections, par ex.) dans un deuxième temps. De nombreux types d'analyse (chimique, diffraction aux rayons X ...) permettent de déterminer la nature des roches traversées par les fuites, qui sortent troubles.

#### 4-4 - OPERATEUR

Il est important de s'efforcer de conserver le même opérateur pour les mesures de fuites, tout au long de l'année. Il est, en effet, apparu à plusieurs reprises que des variations dans les fuites correspondaient à des changements d'opérateur. Une case est prévue pour l'inscription du nom de l'opérateur, aussi bien sur les feuilles de relevé que sur le tableau de mesures.

V - LA PRESENTATION ET LA DIFFUSION DES RESULTATS - LE RAPPORT ANNUEL -

Pour utiliser pleinement tout l'intérêt qui réside dans le vaste champ d'observation des ouvrages du Service de la Production Hydraulique, il est apparu nécessaire d'essayer d'unifier la présentation et la diffusion des résultats entre les différents G.R.P.H.

Les résultats des mesures de fuite seront tout d'abord tenus à jour à l'usine, en liaison avec le Sous-Groupe. A la fin de chaque année calendaire, les résultats des mesures seront regroupés dans un recueil annuel par les soins de chaque G.R.P.H. pour les ouvrages qu'il exploite. L'envoi au Service Central de ce recueil annuel permettra des analyses diverses à l'échelle de l'ensemble des ouvrages du Service.

Outre cet aspect statistique que peut revêtir, sur le plan National, la surveillance des fuites des barrages et comme l'intérêt essentiel de cette mesure réside en particulier :

- dans sa possibilité de détection rapide de tout comportement anormal,
- dans sa facilité de mise en oeuvre,

il est important que le report des résultats de mesure soit fait :

- de la manière la plus parlante possible, pour faciliter l'interprétation,
- de la manière la plus simple et la plus immédiate, pour limiter les tâches matérielles.

Le tracé des courbes de variation permet, en général, de répondre à ce double souci et elles seront très utilisées pour la présentation des résultats.

De façon à simplifier la lecture et l'interprétation des résultats à tous les niveaux intéressés, la présentation sera unifiée en utilisant les règles suivantes :

5-1 - CHOIX DES UNITES

5-1-1 - Débits des fuites (Q) exprimés uniquement en litres/minute (l/mn)

5-1-2 - Précipitations (p)

- Si elles sont liquides, elles seront données en millimètres (mm)
- Si elles sont solides, l'indication sera qualitative ; éventuellement, la valeur entre parenthèses de l'équivalent liquide, s'il est connu, exprimée également en millimètres (mm).

./.

5-1-3 - Niveau de la retenue (Z) exprimé en cotes NGF.

L'indication de la première décimale suffit.

5-1-4 - Température ambiante (T) exprimée en degrés centigrades (°C)

5-1-5 - Température de l'eau de la fuite (T') exprimée en degrés centigrades (°C)

## 5-2 - COURBES DE VARIATION

On tracera les courbes de variation suivantes :

5-2-1 - (Ouvrages exploités à retenue quasiment constante)

5-2-1-1- Pour chaque point de mesure :

- a) La courbe de variation du débit mesuré des fuites en fonction du temps,  $Q(t)$ , permettant le rapprochement avec les courbes de variation du niveau de la retenue, de la température et des précipitations. Cette courbe pourra être annuelle (annexe n°3) ou pluriannuelle (annexe n°4), selon l'usage qu'on en fait et la fréquence des mesures.
- b) Eventuellement et uniquement à des fins d'analyse de comportement anormaux, la courbe annuelle de variation du débit mesuré en fonction du niveau de la retenue  $Q(Z)$  (document annexe n°2). Cette courbe ne sera pas tracée systématiquement.

5-2-1-2- Pour les fuites totales :

(Eventuellement pour un sous-ensemble de fuites dans une partie du barrage, si l'ouvrage a été décomposé en secteurs caractéristiques.)

- a) La courbe de variation du débit mesuré des fuites en fonction du temps -  $Q_{total}(t)$  (documents annexes n°3 et n°4)

5-2-2 - (Ouvrages à réserve saisonnière)

5-2-2-1 - Pour chaque point de mesure :

- a) La courbe de variation du débit mesuré des fuites en fonction du temps :  $Q(t)$ . Cette courbe pourra être annuelle (annexe n°3) ou pluriannuelle (annexe n°4) selon l'usage qu'on en fait et la fréquence des mesures.

b) La courbe annuelle de variation du débit mesuré des fuites en fonction du niveau de la retenue :  $Q(Z)$  (document n°2)

Cette courbe est, de loin, la plus importante pour une réserve saisonnière. Il ne faudra pas s'étonner d'avoir un décalage entre les points représentatifs de la montée et de la descente du plan d'eau. Ce décalage est dû à l'imbibition puis à l'essorage de l'ouvrage et du terrain de fondation.

5-2-2-2 - Pour les fuites totales

(Eventuellement pour un sous-ensemble de fuites dans une partie du barrage, si l'ouvrage a été découpé en secteurs caractéristiques).

On tracera également les deux courbes :

- a)  $Q(t)$
- b)  $Q(Z)$

5-2-3 - Représentation de la variation des facteurs d'évolution :

On sera amené à tracer :

- c) - la représentation graphique des précipitations recueillies entre deux mesures (voir annexe n°4)
- d) - la courbe de variation du niveau de la retenue  $Z(t)$  (voir annexe n°4)
- e) - la représentation de la variation des températures maxi et mini enregistrées entre deux mesures (voir annexe n°4).

Tracé de ces différentes variations :

Pour éviter d'avoir à retracer sur chaque courbe (a) du type pluriannuel les représentations (c), (d) et (e) des facteurs d'évolution, il est possible d'utiliser, pour tous les points de mesure, des contrecalques d'un document établi en un seul exemplaire et regroupant toutes les informations sur les facteurs d'évolution.

~~~~~

Pour donner toute son efficacité à la surveillance de l'ouvrage assurée par l'usine, après chaque nouvelle série de mesures, les résultats seront aussitôt reportés sur les courbes (a) ou (b) tenues par le chef d'usine. L'emplacement du nouveau point sur le graphique permettra tout de suite au chef d'usine de savoir comment "va" son barrage, vu sous l'angle des fuites.

./.

#### 5-2-4 - Courbe enveloppe

Il est encore possible de perfectionner cet outil de travail du chef d'usine en mettant à sa disposition, en début d'année, des feuilles (b) sur lesquelles on aura souligné (par une zone grisée par exemple) la dispersion des mesures constatées les années précédentes pour des conditions d'exploitation identiques du barrage, c'est-à-dire sans qu'il y ait eu entre temps des travaux d'étanchéité importants sur le parement amont, des injections importantes de traitement du rocher de fondation, etc. (voir annexe n°2).

Ce nuage de points des années antérieures correspondra à la zone de comportement normal de l'ouvrage dans les conditions actuelles d'exploitation. La ligne qui limite ce nuage peut être appelée la "courbe enveloppe".

La présence simultanée, sur une même feuille, de la courbe enveloppe et de la courbe annuelle en cours d'évolution, constitue un excellent signal d'avertissement pour le cas où plusieurs mesures consécutives sortiraient de la courbe enveloppe, c'est-à-dire de la zone de comportement présumée normale.

Nous avons vu que pour l'efficacité de la surveillance, il est indispensable de tenir à jour, tout au long de l'année, les courbes (a) ou (b). Bien entendu, il n'est pas exclu d'en faire de même pour toutes les autres courbes. L'important est d'avoir en permanence un "baromètre" nous renseignant sur la vie du barrage (et les fuites nous renseignent au même titre que les pendules, clinomètres, etc.)

#### 5-3 - TABLEAUX DES MESURES (annexe n°5)

De manière à conserver une double trace des mesures effectuées et pour pouvoir recouper les graphiques, les mesures seront consignées dans un tableau, prévu à cet effet et qui figurera au rapport annuel.

Le tableau offre la possibilité de consigner les mesures effectuées en 14 points, durant une année à raison d'une mesure par quinzaine. Si le nombre de points de mesure est supérieur ou si on a fait plus de 24 mesures dans l'année, un deuxième tableau servira de complément au premier. Une case en haut et à droite permet de numéroter les feuilles dans ce cas.

La désignation des points de mesure, utilisée sur ce tableau doit correspondre exactement à la désignation utilisée sur le croquis 5.4.1.



Une variante du tableau standard (annexe 5 bis) correspond au cas où l'on mesure en plus la température de l'eau des fuites.

#### Feuille de relevé des Fuites (annexe n°7)

Le tableau de mesures sera établi à partir des feuilles de relevé utilisées par l'agent de l'exploitation au moment de sa tournée de mesure. La feuille de relevé sera rédigée en deux exemplaires pour chaque série de mesures. Le premier exemplaire restera à l'usine comme ARCHIVE. Le deuxième exemplaire sera transmis au sous-groupe comme document d'information des résultats de la dernière série de mesures.

Chaque série de mesures aura un numéro d'ordre. Ce numéro pourra être reporté sur les courbes de variation pour faciliter le repérage de chacune des mesures (exemple sur annexe n°4).

#### 5-4 - RAPPORT ANNUEL

Etabli au niveau du G.R.P.H., il regroupera les principaux résultats de l'année concernant les mesures de fuite sur l'ensemble des barrages du G.R.P.H. Il sera diffusé dans le courant du 1er semestre suivant l'année considérée.

Pour chaque barrage, il comprendra les éléments suivants :

##### 5-4-1 - Situation des points de mesure

Les emplacements des points de mesure seront indiqués systématiquement sur un croquis de l'ouvrage (vue en élévation ou vue en plan, coupes si nécessaire).

Les cotes des points de mesures seront portées sur ce croquis.

Si le dessin n'est pas suffisant, un bref commentaire pourra éventuellement compléter le croquis.

La ou les méthodes de mesure utilisées seront indiquées. Un exemple d'un tel document figure en annexe n° 6.

##### 5-4-2 - Tableau des mesures effectuées

Le tableau consignant les mesures effectuées au cours de l'année sera joint au rapport annuel. Selon que l'on a effectué ou non la mesure de la température des fuites, il sera du modèle 5 ou 5 bis.

./.

Le tableau est un état récapitulatif de tous les renseignements recueillis à l'occasion de chacune des mesures.

5-4-3 - Courbes

5-4-3-1 - Echelle des temps

Les courbes d'un même type utilisant le temps (t) comme variable devront conserver la même échelle des temps pour pouvoir comparer aisément les variations entre différentes époques.

Nous proposons d'utiliser comme échelle : 1mm/jour pour les courbes annuelles. Elle permet d'avoir un document précis de taille acceptable. L'Editeur TOCHON-LEPAGE de PARIS dispose, par exemple, d'un modèle de calendrier graphique ayant cette échelle. (annexe n°3)

Pour les courbes pluriannuelles, nous proposons une échelle de 2mm par semaine. (annexe n°4)

5-4-3-2 - Courbes jointes au rapport annuel

Pour les courbes de la catégorie (a), le rapport annuel contiendra uniquement les courbes du type pluriannuel de variation des fuites aux différents points caractéristiques de mesure. Les courbes du type annuel, qui auraient pu être tracées, ne seront pas jointes.

Pour les réserves saisonnières, il sera utile d'ajouter les courbes de la catégorie (b) pour les fuites essentielles du barrage considéré.

5-4-4 - Analyse du G.R.P.H.

Enfin, pour chaque barrage, le rapport annuel comportera une dernière page où figurera l'analyse, faite par le G.R.P.H., concernant les mesures effectuées au cours de l'année écoulée.

Cette note, dont l'objet essentiel est de commenter les résultats, donnera tous les renseignements complémentaires utiles à la bonne compréhension du comportement du barrage et toutes suggestions concernant le contrôle et la surveillance des fuites de cet ouvrage.

En résumé, le rapport annuel, pour chacun des barrages surveillés, comportera les quatre parties bien distinctes suivantes :

- 5-4-1 - Croquis de situation des points de mesure
- 5-4-2 - Tableau des mesures effectuées
- 5-4-3 - Courbes de variation (essentiellement courbes pluriannuelles)
- 5-4-4 - Analyse du G. R. P. H.

5-5 - Registre du barrage

La Circulaire du 14 Août 1970, reproduite en Annexe 9, fait état de la tenue par l'Exploitant d'un REGISTRE sur lequel seront portés à leurs dates tous les renseignements que le Service du Contrôle (Circonscription Electrique) jugera nécessaires (état des ouvrages, manoeuvre des appareils, incidents constatés, RELEVES et ANALYSES des FUITES, etc.....).

Ce registre doit être examiné et visé par les agents du contrôle au cours de leurs tournées.

Les renseignements concernant les mesures de fuites continueront à être reportés sur le registre du barrage sous leur forme actuelle. Ces renseignements seront facilement obtenus à partir des feuilles de relevé et des courbes de surveillance.

LA SURVEILLANCE DES BARRAGES ET DES DIGUES

LE CONTROLE ET LA MESURE DES FUITES

VI - DOCUMENTS ANNEXES

## S O M M A I R E

- Annexe n° 1 - Les déversoirs de mesure en mince paroi  
I-définition  
II-déversoir triangulaire  
- tableau des débits en l/s pour  $\alpha = 45^\circ$ ,  
 $\alpha = 60^\circ$  et  $\alpha = 90^\circ$ .  
déversoir à  $90^\circ$  { - abaque du débit en l/mn en fonction de la charge h (cm)  
- échelle de mesure graduée directement en l/mn  
III-choix d'un déversoir de mesure  
IV-bibliographie
- Annexe n° 2 - Courbe Q(Z) - Enveloppe  
Variation du débit en fonction de la cote de la retenue  
1°) pour une réserve saisonnière  
2°) pour une retenue à faible variation
- Annexe n° 3 - Courbe Q(t) - Représentation annuelle  
Variation des facteurs d'évolution
- Annexe n° 4 - Courbe Q(t) - Représentation pluriannuelle  
Variation des facteurs d'évolution
- Annexe n° 5 - Tableau des mesures de Fuites - modèle standard
- Annexe n° 5bis - " - modèle adapté au relevé des températures de l'eau des fuites
- Annexe n° 6 - Croquis des emplacements de mesure des fuites
- Annexe n° 7 - Feuille de relevé des fuites
- Annexe n° 8 - Variation de la viscosité de l'eau avec la température
- Annexe n° 9 - Circulaire n° 48 du 20 juillet 1927 de MM. les Ministres de l'Agriculture et des Travaux Publics

ANNEXE N° I

—

LES DEVERSOIRS DE MESURE EN MINCE PAROI

MAI 1965

ANNEXE N° I

I - DEFINITIONS

I - 1 - DEVERSOIR EN MINCE PAROI

Un déversoir est dit "en mince paroi" quand l'épaisseur du seuil, qui est en contact avec l'eau, est négligeable vis à vis de la hauteur de la nappe déversante. Les déversoirs en mince paroi ne sont utilisés que pour mesurer des débits. Les déversoirs "à seuil épais", c'est-à-dire dont les dimensions sont importantes vis à vis de la hauteur de la nappe, existent couramment dans les ouvrages hydrauliques. Ils peuvent être accessoirement utilisés pour mesurer des débits.

I - 2 - CHARGE (h)

La charge (h) est la différence de niveau entre la surface libre en amont, loin de la zone d'approche et le seuil déversant.

I - 3 - TYPES DE NAPPE DEVERSAUTE

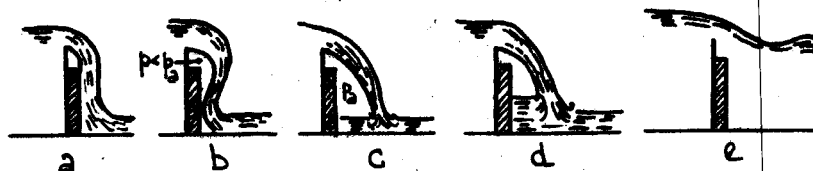
I-3-1 - Nappe adhérente : aux faibles charges, la nappe déversante empêche le passage de l'air au-dessous d'elle et adhère à la paroi (fig. a).

I-3-2 - Nappe déprimée : en augmentant la charge, la nappe tend à se détacher de la paroi, mais une zone instable peut se former sous la nappe, si l'air n'entre pas en quantité suffisante. Dans ce cas, la nappe est "déprimée" (fig. b).

I-3-3 - Nappe libre : lorsque l'air peut circuler aisément sous la veine liquide et que l'air entraîné par l'écoulement est continuellement renouvelé (fig. c).

I-3-4 - Nappe noyée en-dessous : si l'air entraîné n'est pas complètement remplacé, le niveau de l'eau monte entre le déversoir et la nappe qui devient "noyée en dessous" (fig. d).

I-3-5 - Nappe noyée : en augmentant le niveau aval, la nappe se noie progressivement (fig. e).

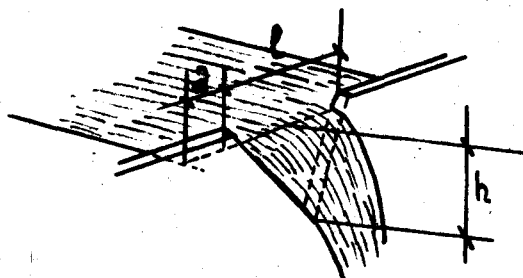


$p_a$  = pression atmosphérique

## II - DEVERSOIR TRIANGULAIRE

### 2-1- Conditions de construction et de mesure

- La découpe du triangle doit être faite sans bavure, et si possible biseautée à 45° en dessous de l'horizontale.
- Le triangle doit être isocèle.
- La sur largeur du déversoir doit être au moins égale à 3/4 l.
- Pour éviter la tendance de la nappe à adhérer au seuil, la charge doit être au moins de 5 cm environ pour les plus faibles débits mesurés.
- Pour les forts débits, une limite supérieure de 60 cm pour la charge est acceptable.



### 2-2- FORMULES du DEBIT

#### 2-2-1- Formule de GOURLEY et CRIMP

$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} h^{2,47}$$

En unités métriques

avec  $\left\{ \begin{array}{l} h = \text{charge sur le sommet du déversoir (en mètres)} \\ \alpha = \text{angle au sommet du déversoir} \\ Q = \text{débit en m}^3/\text{s} \end{array} \right.$

|                     |        |                     |
|---------------------|--------|---------------------|
| $\alpha = 90^\circ$ | —————▶ | $Q = 1,32 h^{2,47}$ |
| $\alpha = 60^\circ$ | —————▶ | $Q = 0,76 h^{2,47}$ |
| $\alpha = 45^\circ$ | —————▶ | $Q = 0,55 h^{2,47}$ |

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du débit en litres par secondes pour les 3 angles au sommet et pour une charge variant entre 2 cm et 60 cm.

./.



TABLEAU HAUTEUR - DEBIT

| Charge :        |                     |                     |                     | Charge :        |                     |                     |                     |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Débit Q en L/mn |                     |                     |                     | Débit Q en L/mn |                     |                     |                     |
| h               | $\alpha = 90^\circ$ | $\alpha = 60^\circ$ | $\alpha = 45^\circ$ | h               | $\alpha = 90^\circ$ | $\alpha = 60^\circ$ | $\alpha = 45^\circ$ |
| cm              |                     |                     |                     | cm              |                     |                     |                     |
| 2,0             | 4,8                 | 3,0                 | 2,4                 | 15              | 730,8               | 434,4               | 304,2               |
| 2,5             | 9,0                 | 4,8                 | 3,6                 | 16              | 856,8               | 493,2               | 357,0               |
| 3,0             | 13,8                | 7,8                 | 6,0                 | 17              | 994,8               | 573,0               | 414,6               |
| 3,5             | 19,8                | 11,4                | 8,4                 | 18              | 1 146,0             | 660,0               | 477,6               |
| 4,0             | 28,2                | 16,2                | 11,4                | 19              | 1 311,0             | 754,8               | 546,0               |
| :               | :                   | :                   | :                   | :               | :                   | :                   | :                   |
| 4,5             | 37,2                | 21,6                | 15,6                | 20              | 1 488,0             | 858,0               | 618,0               |
| 5,0             | 48,6                | 27,6                | 20,4                | 21              | 1 680,0             | 966,0               | 702,0               |
| 5,5             | 61,2                | 35,4                | 25,8                | 22              | 1 884,0             | 1 086,0             | 786,0               |
| 6,0             | 76,2                | 43,8                | 31,8                | 23              | 2 100,0             | 1 212,0             | 876,0               |
| 6,5             | 92,4                | 53,4                | 38,4                | 24              | 2 334,0             | 1 344,0             | 972,0               |
| :               | :                   | :                   | :                   | :               | :                   | :                   | :                   |
| 7,0             | 111,6               | 64,2                | 46,2                | 25              | 2 580,0             | 1 488,0             | 1 074,0             |
| 7,5             | 132,0               | 76,2                | 55,2                | 26              | 2 844,0             | 1 638,0             | 1 182,0             |
| 8,0             | 153,6               | 88,8                | 64,2                | 27              | 3 120,0             | 1 794,0             | 1 302,0             |
| 8,5             | 180,0               | 103,8               | 75,0                | 28              | 3 414,0             | 1 962,0             | 1 422,0             |
| 9,0             | 207,0               | 118,8               | 86,4                | 29              | 3 726,0             | 2 142,0             | 1 554,0             |
| :               | :                   | :                   | :                   | :               | :                   | :                   | :                   |
| 10,0            | 268,8               | 154,8               | 111,6               | 30              | 4 050,0             | 2 334,0             | 1 686,0             |
| 11              | 339,6               | 195,6               | 141,6               | 32              | 4 746,0             | 2 736,0             | 1 980,0             |
| 12              | 421,2               | 242,4               | 175,2               | 34              | 5 514,0             | 3 174,0             | 2 298,0             |
| 13              | 513,0               | 295,2               | 213,6               | 36              | 6 348,0             | 3 654,0             | 2 646,0             |
| 14              | 616,8               | 355,2               | 256,8               | 38              | 7 254,0             | 4 176,0             | 3 024,0             |
| :               | :                   | :                   | :                   | :               | :                   | :                   | :                   |

Déversoir triangulaire  
(Angle au sommet  $\alpha$ )

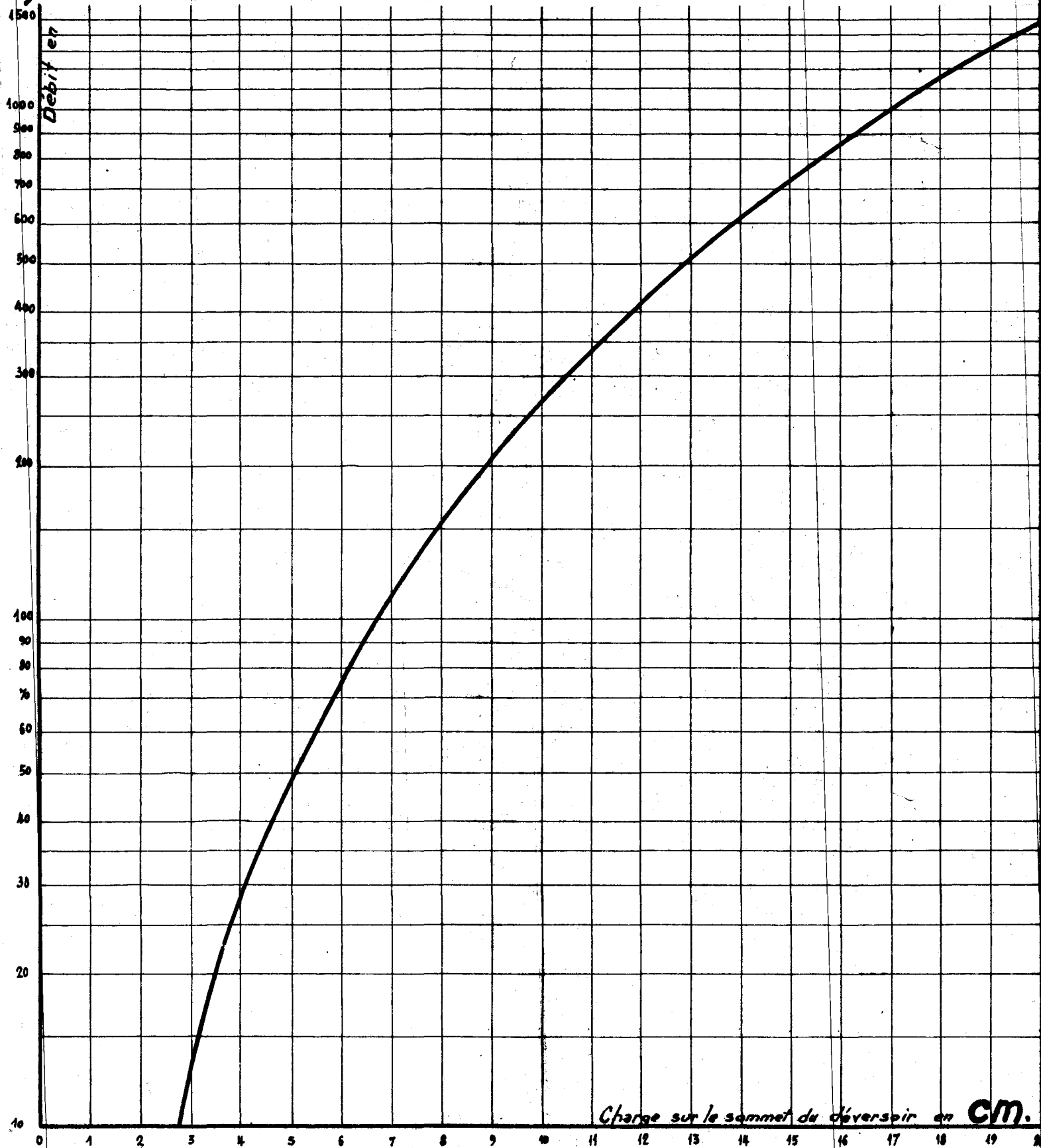
.../...

# DEVERSOIR TRIANGULAIRE

EN MINCE PAROI

ANGLE AU SOMMET : 90°

Débit en  
 $\frac{l}{mn.}$



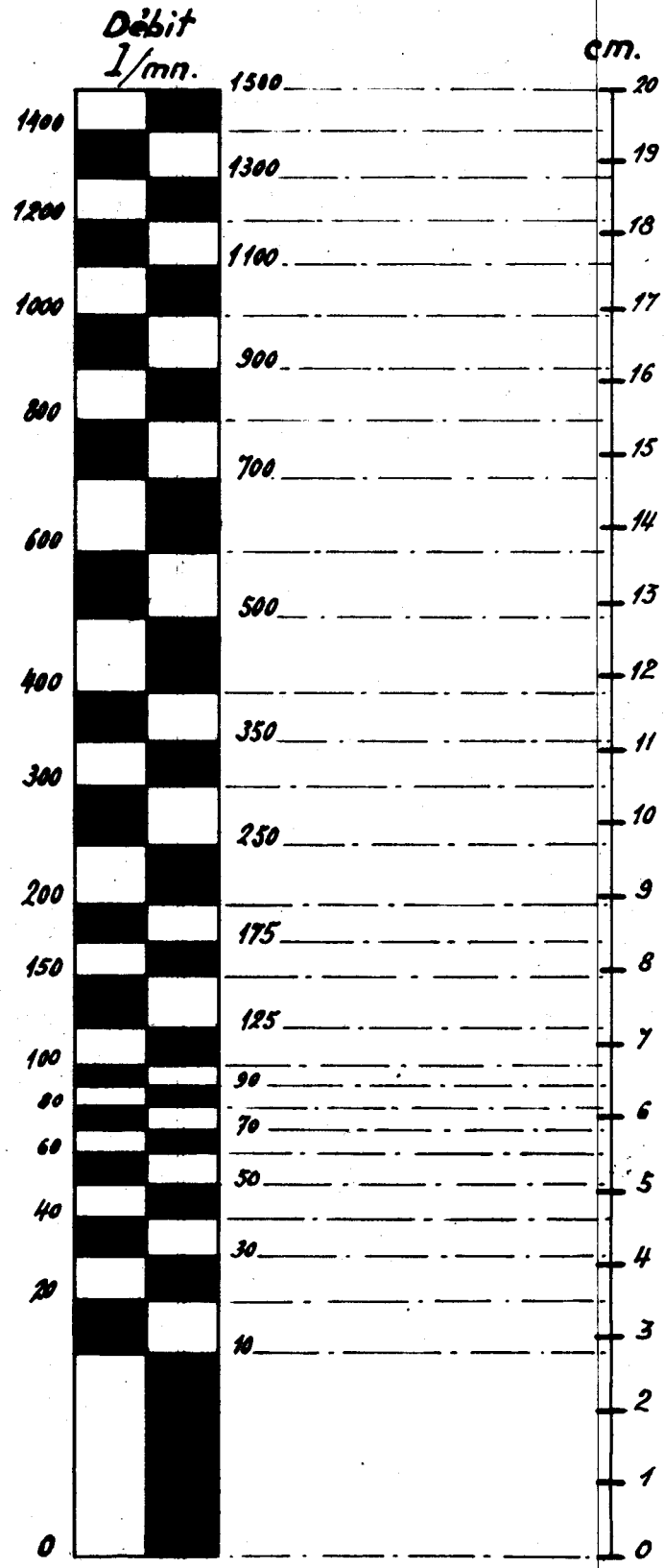
Charge sur le sommet du déversoir en **cm.**

# DEVERSOIR TRIANGULAIRE

EN MINCE PAROI

ANGLE AU SOMMET : 90°

Echelle graduée en débit  $l/mn.$



2-2-2 - Cas du déversoir ayant un angle droit au sommet ( $\alpha = 90^\circ$ )

La formule de THOMPSON est également employée

$$Q = 1,42 h^{5/2}$$

En unités métriques

avec  $\left\{ \begin{array}{l} h = \text{charge sur le sommet du déversoir (en mètres)} \\ Q = \text{débit (en m}^3/\text{s)}. \end{array} \right.$

III - CHOIX D'UN DEVERSOIR DE MESURE

Outre le soin à apporter à la construction et à la mise en place du déversoir, les indications suivantes peuvent être données en ce qui concerne le type de déversoir et la précision de la mesure.

Pour de faibles débits : Il est préférable d'utiliser un déversoir triangulaire à  $90^\circ$ , ou d'angle plus petit. Mais les renseignements connus sur les déversoirs à  $90^\circ$  sont sûrs. Pour un autre angle, il est toujours possible d'étalonner le déversoir, mais cela n'est guère à envisager dans les conditions habituelles de mesure de fuites près des barrages.

Le déversoir triangulaire : est sans doute le plus précis pour  $Q < 40 \text{ l/s}$

Le déversoir triangulaire et le déversoir de Bazin (1) : donnent la même précision pour  $40 \text{ l/s} < Q < 300 \text{ l/s}$

Le déversoir de Bazin : est préférable pour  $Q > 300 \text{ l/s}$

Dans la mesure des fuites des barrages, la fidélité dans la manière de faire la mesure est encore plus importante que la précision car ce qui compte c'est que toutes les mesures soient bien comparables entre elles.

(1) Déversoir rectangulaire sans contraction latérale, principalement utilisé dans les canaux de mesure en laboratoire.

IV - BIBLIOGRAPHIE

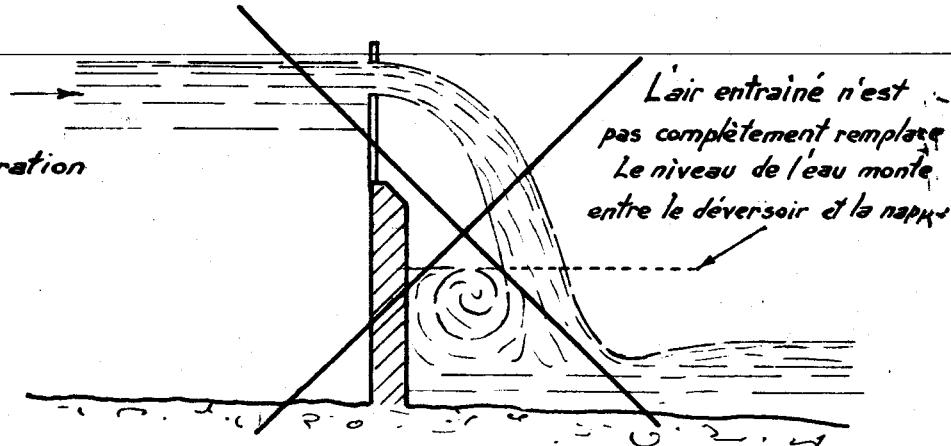
Mamel d'Hydraulique Générale - LENCATRE - EYROLLES 1963

Collection du Centre d'Etudes et de Recherches de Chatou  
398 pages - Très nombreux tableaux et abaques.

Pour faire une bonne mesure de débit avec un déversoir triangulaire en mince paroi, il est nécessaire que :

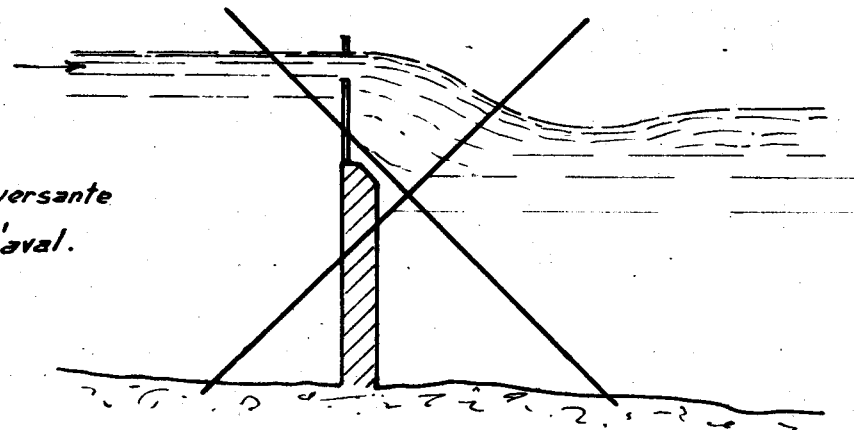
1° la nappe déversante ne soit : ni "noyée en dessous"

Nécessité d'une bonne aération sous la nappe



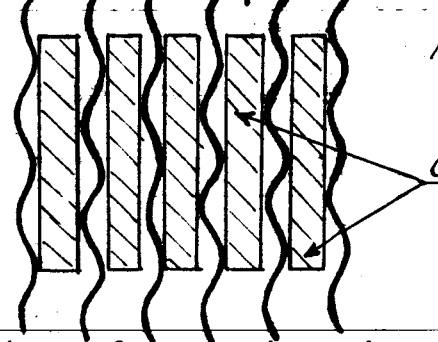
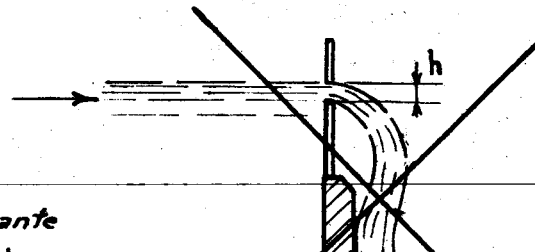
ni "noyée"

Nécessité d'une hauteur déversante suffisante entre l'amont et l'aval.



2° La nappe n'ait pas tendance à adhérer au déversoir

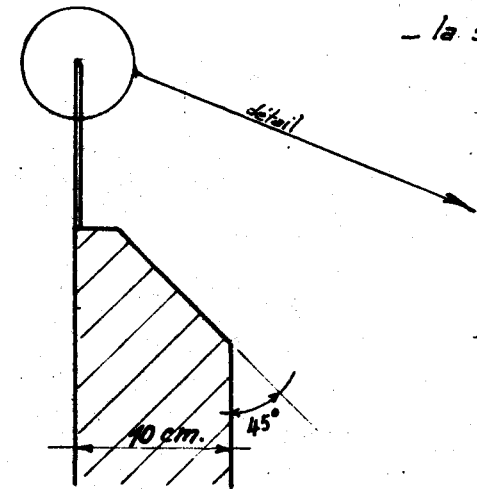
Nécessité d'une charge suffisante



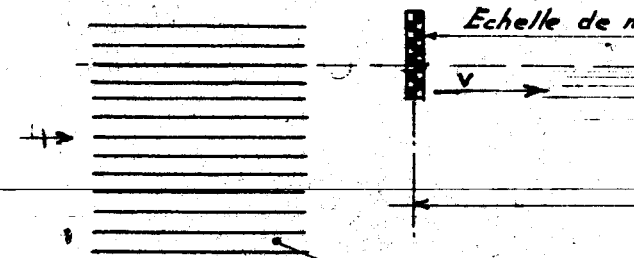
Plaques fibrociment ondulées disposées verticalement

4° La découpe du triangle et si possible biseauté

En outre - les  
- la s



5° La mesure de la charge transversale, située à



MC

27

FUITES MESUREES AU BARRAGE: VASSIVIERE

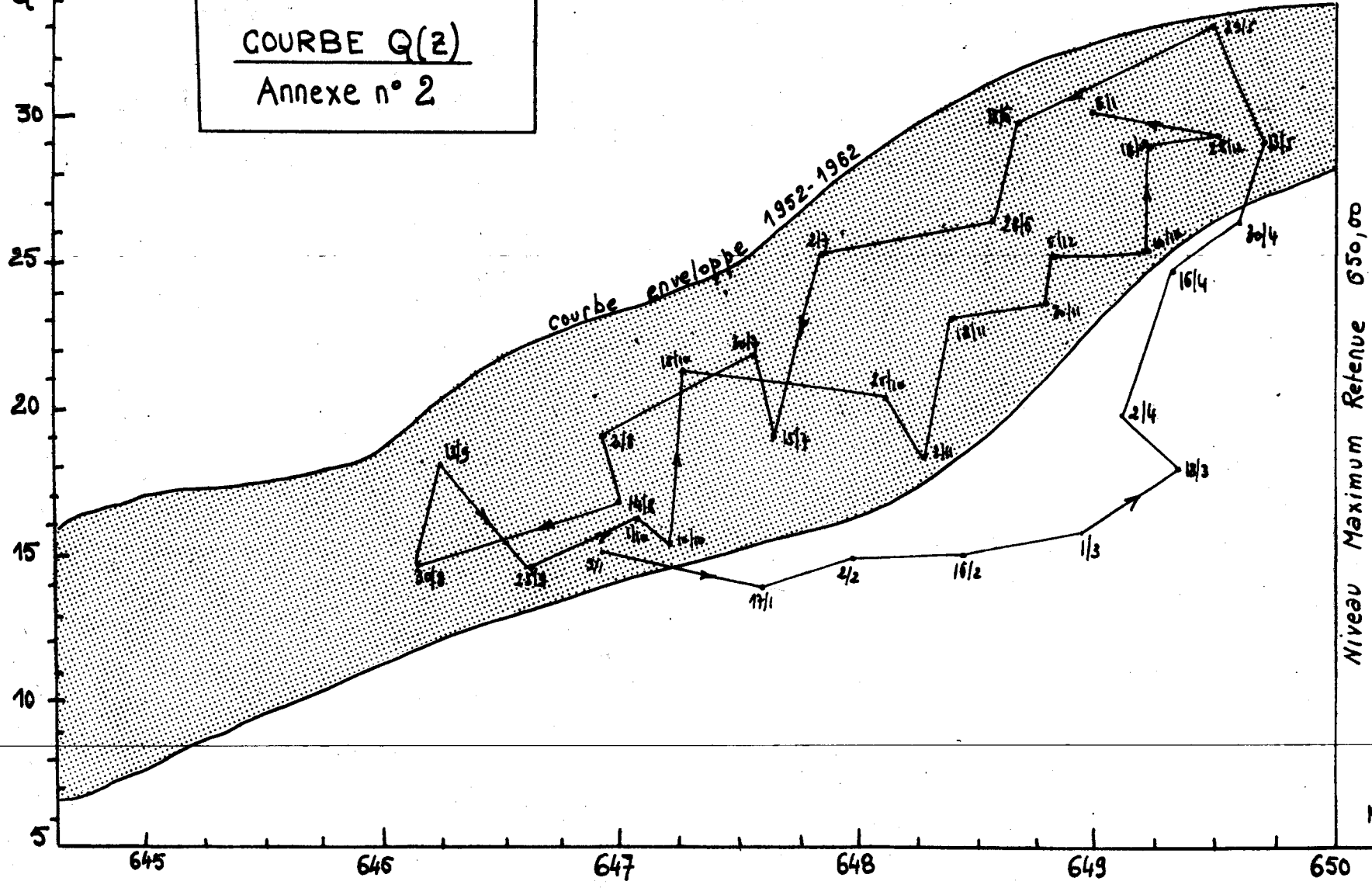
Retenue N° 650,00

196

FUITES AU JOINT "I"

Fuites  $Q$   $\mu\text{m}^2$

COURBE  $Q(z)$   
Annexe n° 2



OBSERVATIONS

Niveau de la Retenue

SA

24

FUITES MESURÉES AU BARRAGE: LA GIROTTE

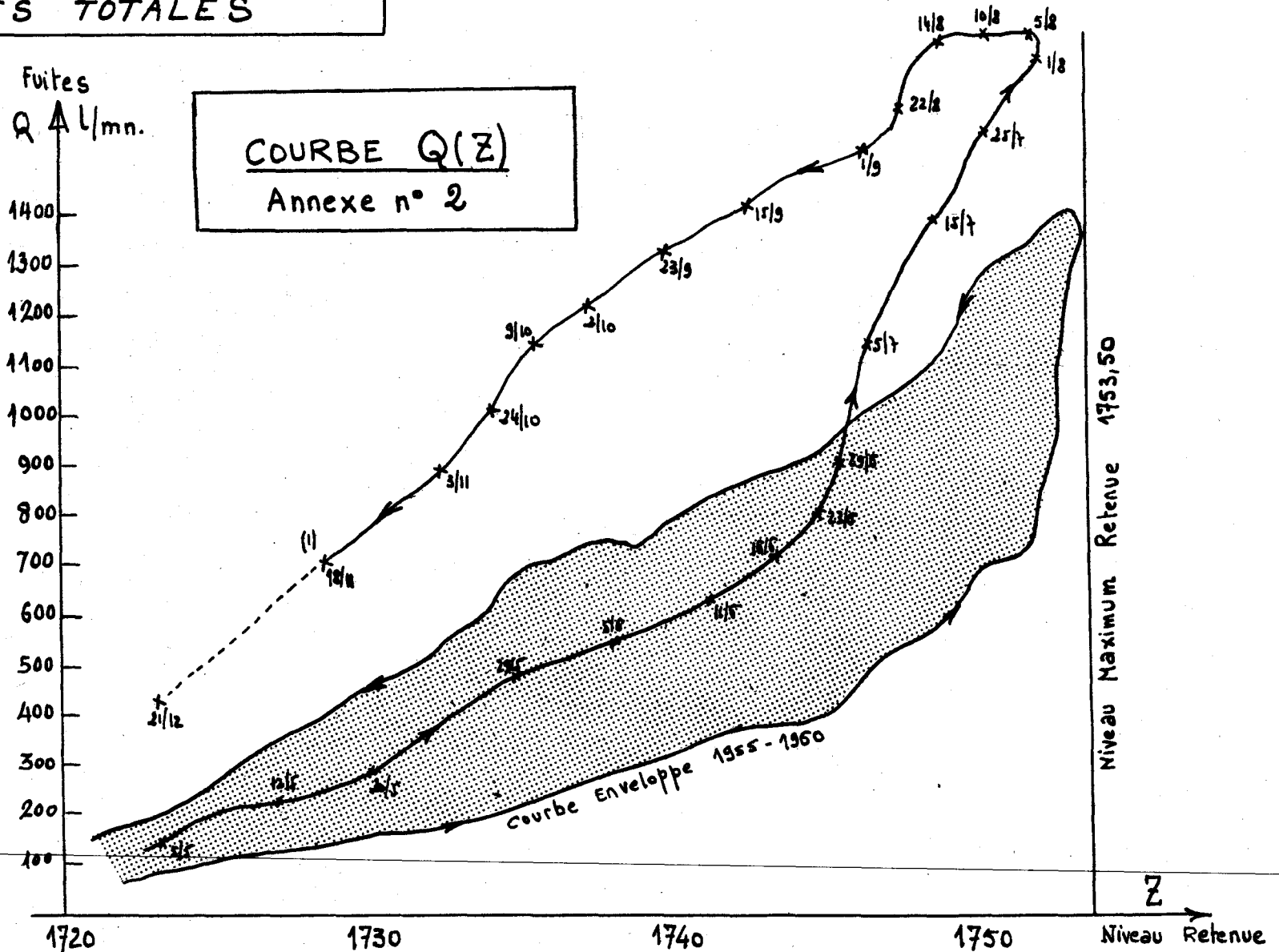
Retenue N°  
1753,50

196

## FUITES TOTALES

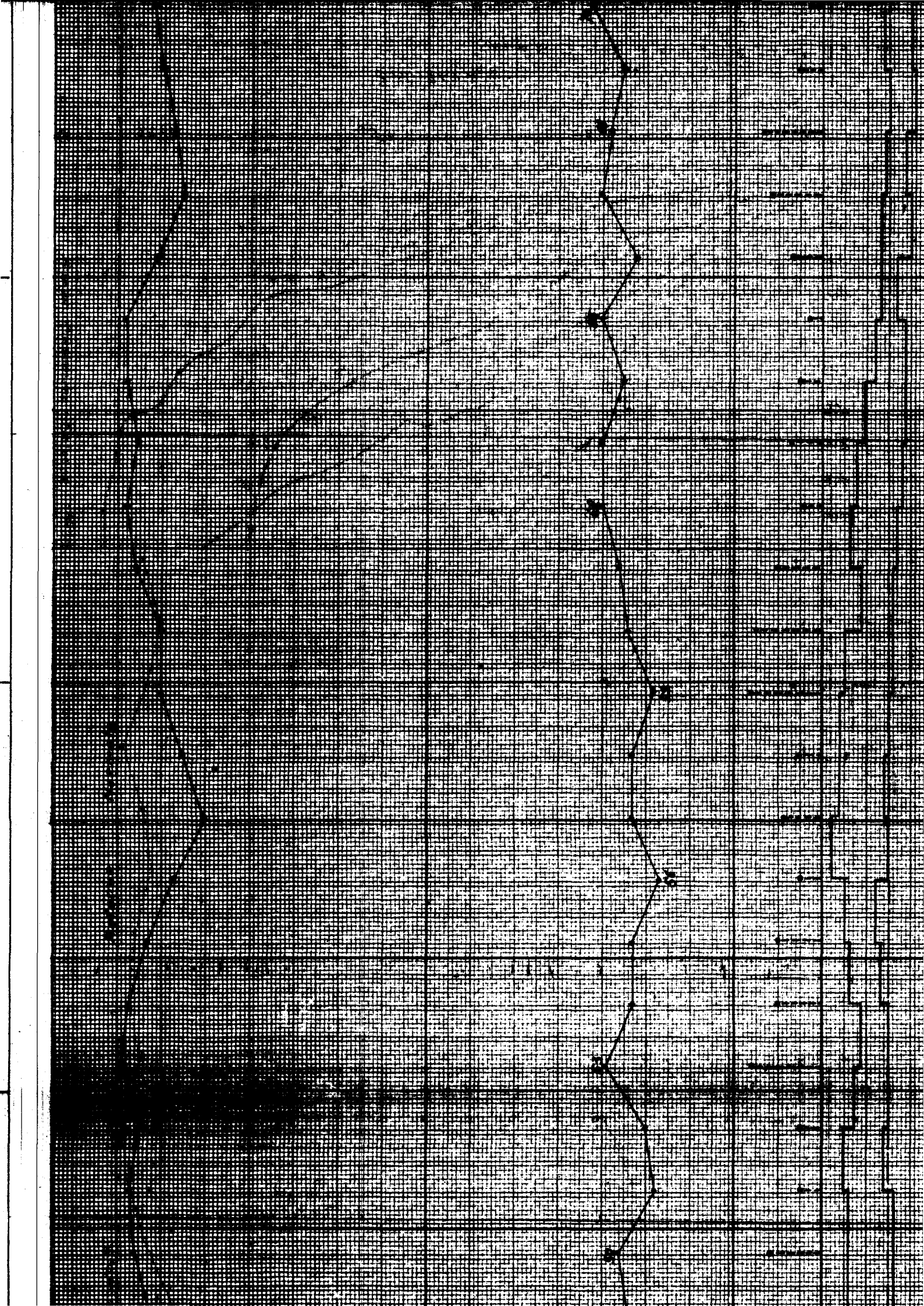
Fuites  
 $Q \Delta l / mn.$ COURBE  $Q(Z)$ 

Annexe n° 2



## OBSERVATIONS

(1) Mesures impossibles entre le 18/11 et le 21/12 à cause du danger d'envahissement





# NIVEAU RETENUE

Z NGF  
635  
640  
645  
650  
655  
660  
665  
670  
675  
680  
685  
690  
695

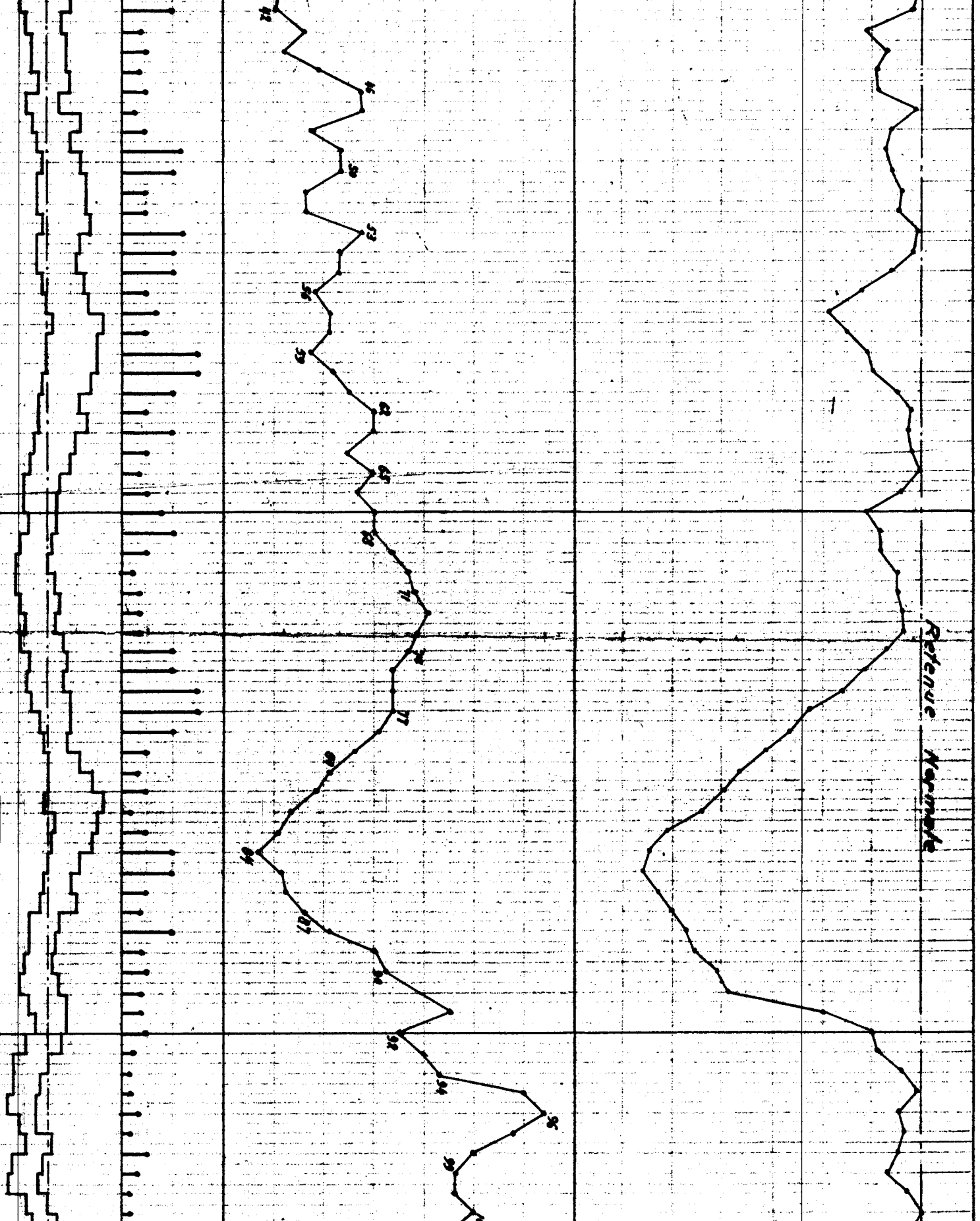
# DÉBIT FUITES

Q L/min  
20  
40  
60  
80  
100

Referenc Normale

Précipitations  
cumulées entre  
2 mesures  
mm

Température °C  
MAXI. +10  
0°  
MINI. -10



# MESURE DES FUITES

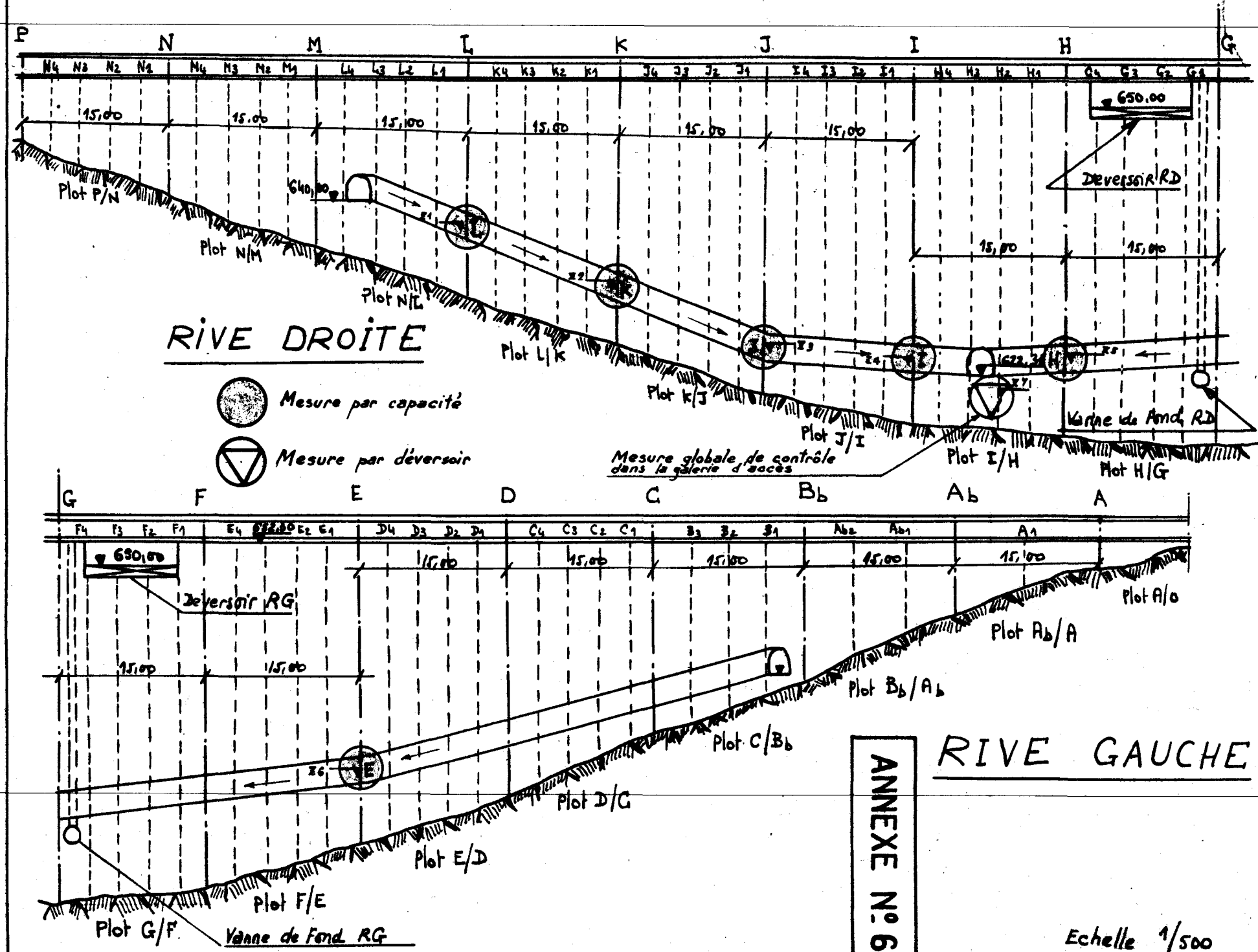
| MESURE DES FUITES                             |       |     |                        |        |        |        |        | G. R. P. H. | N° OUVRAGE | NOM DE L'OUVRAGE |    |    |    |    |  |  |  | RETENUE N° | ANNEE | PAGE |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------|-------|-----|------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|------------|------------------|----|----|----|----|--|--|--|------------|-------|------|--|--|--|--|--|
| MOIS                                          |       |     |                        |        |        |        |        | J           | J          | F                | F  | M  | M  | A  |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| DATE                                          |       |     |                        |        |        |        |        | 4           | 18         | 1                | 15 | 4  | 22 | 5  |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| N° DE LA MESURE                               |       |     |                        |        |        |        |        | 47          | 48         | 49               | 50 | 51 | 52 | 53 |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| RETENUE                                       |       | NGF | 47,9                   | 47,5   | 48,0   | 49,4   | 48,3   | 47,7        | 48,0       |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| TEMPÉRATURE<br><small>entre 2 mesures</small> | MAXI. | °C  | 8                      | 12     | 1      | 6      | 13     | 11          | 4          |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
|                                               | MINI. | °C  | 3                      | -2     | -7     | -5     | -2     | 1           | 7          |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| PRÉCIPITATIONS                                |       | mm. | 15                     | 5      | 25     | -      | 12     | 13          | 32         |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| POINTS DE MESURE<br>DES FUITES                |       |     | DÉBITS DES FUITES L/mn |        |        |        |        |             |            |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| A                                             |       |     | 1,0                    | 1,0    | 1,2    | 1,3    | 2,0    | 1,8         | 0          |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| B                                             |       |     | 12                     | 18     | 14     | 18     | 15     | 19          | 25         |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| C                                             |       |     | 28,3                   | 30,1   | 50,5   | 50,5   | 30     | 25,8        | 20,8       |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| Galerie EST                                   |       |     | 21,7                   | 25     | (1)    | 38,3   | 38,3   | 27,3        | 16,3       |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| E                                             |       |     | 0                      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0           | 0          |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| F                                             |       |     | 8,3                    | 8,3    | 10,8   | 11,2   | 9,35   | 10          | 8,2        |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| OPÉRATEUR                                     |       |     | BAJAZ                  | MARTIN | MARTIN | MARTIN | MARTIN | BAJAZ       | MARTIN     |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |
| OBSERVATIONS                                  |       |     | (1) Glace              |        |        |        |        |             |            |                  |    |    |    |    |  |  |  |            |       |      |  |  |  |  |  |

Annexe no 5

# MESURE DES FUITES

| G.R.P.H                      |          | N° OUVRAGE |           | NOM DE L'OUVRAGE |           |            |           | RETENUE N° |           | ANNEE      |           | PAGE       |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
|------------------------------|----------|------------|-----------|------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|                              |          |            |           |                  |           |            |           | 196....    |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| MOIS                         |          | J          | J         | F                | F         | M          | M         | A          |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| DATE                         |          | 4          | 18        | 1                | 15        | 4          | 22        | 5          |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| N° DE LA MESURE              |          | 43         | 44        | 45               | 46        | 47         | 48        | 49         |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| RETENUE NGF                  |          | 47,9       | 47,5      | 48,0             | 49,4      | 48,3       | 48,7      | 48,0       |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| TEMPERATURE<br>sur 2 mesures | MAXI. °C | 8          | 12        | -1               | 6         | -13        | -11       | -4         |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
|                              | MINI. °C | 3          | -2        | -7               | -5        | -2         | -1        | -7         |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| PRÉCIPITATIONS mm.           |          | 15         | 5         | 25               | .         | 12         | 13        | 32         |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |
| POINTS DE MESURE DES FUITES  |          | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn       | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau | Débit L/mn | Temp. eau |
| A                            |          | 12         | 4°        | 7                | 4°        | 10         | 5°        | 80         | 5°        | 60         | 6°        | 66         | 6°        | 30         | 7°        |            |           |            |           |            |           |
| B                            |          | 9          | 6°        | 32               | 6°        | 27         | 6°        | 16         | 8°        | 35         | 6°        | 42         | 7°        | 65         | 8°        |            |           |            |           |            |           |
| C                            |          | 60         | 6°        | 82               | 5°        | 44         | 5°        | 150        | 7°        | 80         | 8°        | 130        | 7°        | 97         | 7°        |            |           |            |           |            |           |
| Galerie EST                  |          | 26         | 5°        | 75               | 7°        | 82         | 7°        | 98         | 8°        | 88         | 8°        | 112        | 8°        | 82         | 7°        |            |           |            |           |            |           |
| E                            |          | 80         | 4°        | 43               | 4°        | (1)        |           | 28         | 6°        | 42         | 7°        | 88         | 8°        | 66         | 8°        |            |           |            |           |            |           |
| F                            |          | 13         | 5°        | 5                | 5°        | 9          | 7°        | 44         | 8°        | 58         | 7°        | 65         | 7°        | 39         | 9°        |            |           |            |           |            |           |
| OPÉRATEUR                    |          | BRAIJAZ    | MARTIN    | MARTIN           | MARTIN    | MARTIN     | MARTIN    | BRAIJAZ    | MARTIN    |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |            |           |

(1) Accès impossible



ANNEXE N° 6

Echelle 1/500

# RELEVÉ DES FUITES

N° MESURE  
85

| NOM DE L'OUVRAGE | GRPH | N° | ANNÉE | DATE |
|------------------|------|----|-------|------|
| ROPHEMEL         | MC   | 11 | 1963  | 4/1  |

NOM OPERATEUR  
BRAIJAZ

COTE RETENUE 47,9 NGF

PRÉCIPITATIONS  
RECUEILLIES ENTRE 2 MESURES 15 mm

TEMPERATURE ENTRE 2 MESURES  
 { MAXI: 8°C  
 MINI: 3°C

| POINTS DE MESURE | VOLUME |                   | HAUTEUR<br>cm. | DÉBIT<br>l/mn | TEMP. DE L'EAU AU DÉBOUCHÉ DE LA FITE<br>°C | OBSERVATIONS               |
|------------------|--------|-------------------|----------------|---------------|---------------------------------------------|----------------------------|
|                  | l      | s                 |                |               |                                             |                            |
| A                | 0,5    | 30                |                | 1             |                                             | (1) Eau légèrement trouble |
| B                |        |                   | 2,9            | 12            |                                             |                            |
| C                | 10     | 21                |                | 28,3          |                                             |                            |
| Galerie EST      | 10     | 27,5              |                | 21,7          |                                             |                            |
| E                | 0      |                   |                | 0             |                                             |                            |
| F                |        |                   | 2,4            | 8,3           |                                             |                            |
| H                | 20     | 24                |                | 50,5          |                                             |                            |
| K                | 10     | 27 <sup>(1)</sup> |                | 22            |                                             |                            |
|                  |        |                   |                |               |                                             |                            |
|                  |        |                   |                |               |                                             |                            |

sc. 72

## ANNEXE N° 8

VARIATION DE LA VISCOSITE DE L'EAU AVEC LA TEMPERATUREI-GENERALITES : VISCOSITE DES FLUIDES

La viscosité caractérise la résistance qu'oppose un fluide aux variations rapides de forme. Le fluide "parfait" est un fluide idéal, qui serait totalement dépourvu de viscosité. Un liquide au repos se comporte comme un fluide parfait.

1-1 - Coefficient de viscosité dynamique " $\mu$ "

Si on considère un fluide compris entre deux plaques (P) et (P') de surface S et distantes de e, l'expérience montre que lorsqu'on déplace l'une des plaques avec une vitesse V, un effort tangentiel F est transmis à l'autre plaque par l'intermédiaire des couches de fluide comprises entre P et P'. On a la relation :

$$F = \mu S \frac{V}{e}$$

$$\left( \frac{F}{S} = \mu \frac{V}{e} \right)$$

Le coefficient de proportionnalité " $\mu$ " s'appelle le coefficient de viscosité dynamique du liquide. Il a les dimensions  $FL^{-1}T$

Dans le système CGS, l'unité de viscosité (dynamique) est la poise. A 20° centigrades, la viscosité de l'eau est d'environ 0,01 poise ou 1 centipoise. Elle décroît avec la température d'environ  $4 \times 10^{-4}$  par degré à la température ordinaire.

1-2 - Coefficient de viscosité cinématique " $\nu$ "

C'est le rapport du coefficient de viscosité dynamique " $\mu$ " à la masse spécifique " $\rho$ " du fluide considéré.

$$\nu = \mu / \rho$$

Dans le système CGS, l'unité de viscosité cinématique est le stokes (cm<sup>2</sup>/s)

## II - VARIATION DE LA VISCOSITE DE L'EAU AVEC LA TEMPERATURE

Dans le tableau ci-dessous, nous avons indiqué la variation de la viscosité dynamique de l'eau correspondant à une variation de la température entre 0 et 30 degrés centigrades.

| Température<br>T° | Masse<br>spécifique<br>"ρ" | Viscosité<br>dynamique<br>"μ" |
|-------------------|----------------------------|-------------------------------|
| °C                | Kg/m <sup>3</sup>          | Centipoise                    |
| 0                 | 999,9                      | 1,77                          |
| 4                 | 1000,0                     | 1,57                          |
| 10                | 999,7                      | 1,31                          |
| 20                | 998,2                      | 1,01                          |
| 30                | 995,7                      | 0,83                          |

## III - INCIDENCE SUR LE DEBIT DES FUITES DE LA VARIATION DE LA VISCOSITE

On peut considérer que l'écoulement des fuites est un écoulement laminaire. La perte de charge et la vitesse sont liées par la relation générale :

$$DJ = \lambda \frac{U^2}{2g} \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{64}{R} \quad R = \text{nombre de Reynolds}$$

$$R = \frac{UD}{\mu}$$

en exprimant le nombre de Reynolds en fonction de la vitesse et de la viscosité.

$$\lambda = \frac{64\mu}{UD}$$

$$DJ = \frac{64\mu}{UD} \times \frac{U^2}{2g} = \frac{64\mu}{2gD} U$$

$$U = \frac{2g D^2 J}{64 \mu}$$

La vitesse moyenne de l'écoulement est inversement proportionnelle à la viscosité.

Si'on prend comme référence le débit mesuré à 4°C, il faudra multiplier les débits mesurés à une température t par un coefficient k pour avoir la valeur du débit qu'on aurait mesuré si la température de l'eau avait été de 4°C. Par le jeu du coefficient k, il est possible d'avoir des mesures de débit réellement comparables.

$$Q_{4^{\circ}\text{C}} = Q_{t^{\circ}\text{C}} \times k$$

Valeurs du coefficient k

| Température<br>T <sup>°</sup> C | Coefficient<br>k |
|---------------------------------|------------------|
| 0                               | 1,13             |
| 4                               | 1,0              |
| 10                              | 0,835            |
| 15                              | 0,76             |
| 20                              | 0,64             |
| 25                              | 0,58             |



CIRCULAIRE n° 70/15 du 14 AOUT 1970

de MM. les Ministres du Développement  
Industriel et Scientifique, de l'Équipement  
et du Logement, de l'Agriculture

Inspection et surveillance des barrages intéressant  
la sécurité publique

Les instructions en vigueur concernant l'inspection et la surveillance des barrages intéressant la sécurité publique, sont définies dans une circulaire interministérielle (Travaux Publics et Agriculture) du 20 Juillet 1927 qui a été complétée par une circulaire du 20 Août 1928.

Ces instructions, qui s'appliquent à tous les barrages quelle que soit leur situation administrative, ont bien rempli leur office. Il est apparu toutefois qu'elles méritaient d'être mises à jour pour tenir compte de l'expérience acquise, tant dans notre pays qu'à l'étranger, au cours des 40 dernières années, en matière d'étude, de construction et de surveillance de barrages, ainsi que de l'augmentation considérable du nombre de barrages depuis 1928.

Les principaux compléments et modifications à apporter aux instructions actuelles concernent :

- la surveillance particulière nécessaire au cours de la première mise en eau complète d'un barrage,
- l'emploi d'appareils d'auscultation divers permettant de suivre avec précision le comportement des ouvrages tant pendant la première mise en eau, qu'au cours de leur exploitation,
- l'opportunité de procéder à un examen spécial des ouvrages anciens pour lesquels les règles de l'art actuelles diffèrent de façon sensible de celles qui ont été appliquées lors de construction,

- l'opportunité de tenir compte des règles de compétence nouvelles qui résultent du fait que le Ministre du Développement industriel et scientifique a succédé au Ministre des Travaux Publics comme Ministre chargé des barrages concédés par application de la loi du 16 Octobre 1919, et de ce que le décret n° 62-1448 du 24 Novembre 1962 a modifié les attributions respectives du Ministre de l'Équipement et du Logement et du Ministre de l'Agriculture en matière de gestion et de police des cours d'eau,
- l'existence du Comité Technique Permanent des Barrages créé par le décret du 13 Juin 1966, auquel doivent être soumis tous les projets de barrages d'une hauteur au moins égale à 20 m au-dessus du point le plus bas du terrain naturel,
- les consignes de surveillance : bien que celles-ci doivent toujours être adaptées à chaque cas d'espèce, il est possible de donner des instructions générales plus détaillées qu'autrefois sur les dispositions à adopter.

Les considérations précédentes nous ont paru justifier la rédaction de nouvelles instructions qui font l'objet de la présente circulaire. Celle-ci annule et remplace les circulaires du 20 Juillet 1927 et du 20 Août 1928 susvisées.

La préoccupation essentielle, s'agissant de barrages intéressant la sécurité publique, doit être, dans le cas d'un nouveau barrage, de prendre toutes les précautions nécessaires à cette sécurité au cours de la première mise en eau et, dans le cas des barrages en service, de veiller à leur conservation et à leur bon état. A cet effet, il importe pour chacun d'eux, comme le précisait la circulaire du 20 Juillet 1927 :

"de connaître aussitôt que possible tous les incidents qui l'affectent de manière à parer à leurs conséquences dangereuses,  
"de découvrir tous les symptômes d'affaiblissement de manière  
"à prévenir leur aggravation, de vérifier le bon fonctionnement  
"de tous les organes essentiels d'exploitation et de vidange  
"afin de pouvoir compter sur eux au moment où on aura à s'en  
"servir".

Cette mission incombe avant tout au concessionnaire de l'ouvrage ou, si celui-ci n'est pas concédé, à son propriétaire. Propriétaires et concessionnaires ont la charge de maintenir les ouvrages en bon état et sont responsables des accidents éventuels. Lorsque le propriétaire est l'Etat, il appartient au Service de l'Etat qui exploite l'ouvrage de remplir lui-même la mission précédente et dans ce cas, il n'existe pas de Service de Contrôle.....

..... Lorsque ce propriétaire est une collectivité locale, un établissement public ou une personne privée, ou lorsqu'il s'agit d'une concession, le Service de l'Etat chargé du Contrôle (1) doit, toutes les fois que la sécurité publique est intéressée, s'assurer que la mission précédente est convenablement remplie par le propriétaire ou concessionnaire et tenir informée l'Administration Centrale.

En conséquence, nous avons décidé d'un commun accord d'adopter, pour l'inspection et la surveillance des barrages intéressant la sécurité publique, les instructions suivantes, qui devront être appliquées quels que soient le régime administratif des ouvrages et leur destination et quelle que soit la catégorie du cours d'eau sur lequel ils sont établis, ainsi que dans le cas où ils ne sont pas établis sur un cours d'eau proprement dit (2).

1 CHAMP D'APPLICATION de la CIRCULAIRE

Ces instructions s'appliquent à tous les barrages, ou réservoirs artificiels d'eau intéressant la sécurité publique, c'est-à-dire ceux dont la rupture éventuelle des répercussions graves pour les personnes (3).

En tout état de cause, elles s'appliquent aux ouvrages dont les caractéristiques correspondent à celles définies dans les circulaires relatives à la procédure de consultation du Comité Technique Permanent des Barrages (4).

./.

- 
- (1) Le contrôle des barrages faisant partie d'une concession de force hydraulique est exercé par la circonscription électrique compétente du Ministère du Développement Industriel et Scientifique. Dans les autres cas, le Service du Contrôle est défini par les instructions des Ministères intéressés.
- (2) Réservoirs supérieurs d'usine d'accumulation d'énergie par pompage, certaines retenues collinaires, bassins de décan-tation d'usines, etc.....
- (3) On pourra appliquer également une partie de ces instructions à certaines sections de digues de grande hauteur sur les canaux à très grands débits.
- (4) Circulaire du 28 Avril 1967 de M. le Directeur du Gaz et de l'Electricité, Ministère de l'Industrie,  
Circulaire du 21 Juin 1967 de M. le Ministre de l'Equipement et du Logement,  
Circulaire du 23 Août 1967 de M. le Ministre de l'Agriculture.

2 LISTE des BARRAGES et RESERVOIRS INTERESSANT la SECURITE PUBLIQUE

Les Chefs de service devront établir une liste des barrages intéressant la sécurité publique qu'ils exploitent directement comme appartenant à l'Etat ou dont ils assurent le contrôle, liste à laquelle sera jointe, pour chaque barrage, une fiche indiquant les caractéristiques essentielles des ouvrages, conformément à l'annexe (1).

Les listes et fiches seront envoyées à l'Administration Centrale dans les six mois de la date de la présente circulaire.

3 DOSSIER du SERVICE du CONTROLE

Le Service du Contrôle devra tenir à jour ou constituer, pour chaque barrage, un dossier où seront réunis tous les documents utiles, notamment le dossier d'exécution, la description des travaux effectués depuis la mise en service, ainsi que l'exposé des faits essentiels survenus pendant la construction, la première mise en eau, et au cours de l'exploitation ultérieure, les comptes rendus des visites effectuées, les rapports d'auscultation, etc.....

4 DOSSIER du PROPRIETAIRE ou CONCESSIONNAIRE

Le propriétaire ou concessionnaire devra constituer et tenir à jour un dossier contenant tous les documents relatifs aux ouvrages, et notamment les plans d'exécution détaillés, conforme à l'exécution, les relevés de fonds de fouille, les résultats des sondages, les comptes rendus des investigations géologiques, hydrologiques, géophysiques ou autres, la description des travaux d'entretien et de réparation et les plans des travaux d'amélioration ou de confortement effectués, les plans des dispositifs de surveillance et d'auscultation, ainsi que tous les documents essentiels relatifs à l'exploitation de la retenue (niveaux, débits transités, températures, manœuvres des ouvrages d'évacuation), les résultats des mesures d'auscultation et les rapports d'interprétation de ces mesures.

./.

---

(1) Le fait d'avoir fourni antérieurement pour un barrage une fiche conforme au modèle annexé à la circulaire du 20 Août 1928 ne doit pas empêcher de fournir la nouvelle fiche.

PREMIERE MISE en EAU

La première mise en eau constitue une phase essentielle et particulière de la vie du barrage. Le premier remplissage sert d'épreuve (1) et doit permettre de déceler d'éventuelles anomalies. La surveillance des ouvrages pendant cette période doit donc être continue et complète. Les dispositions prévues à cet effet devront être présentées en même temps que le projet de l'ouvrage et approuvées dans les mêmes conditions. Les mesures devront commencer souvent dès le début de la construction. Le Directeur des Travaux, chargé de la construction des ouvrages, devra être chargé également de l'exécution et de la surveillance de la première mise en eau.

Le Service du Contrôle devra s'assurer que les dispositions prévues et approuvées sont bien appliquées.

Les principes généraux à appliquer pour la surveillance pendant la première mise en eau sont indiqués ci-dessous :

- Montée du plan d'eau

En vue de permettre un contrôle efficace, la vitesse de montée du plan d'eau est limitée en agissant, au besoin, sur les organes d'évacuation qui doivent être dimensionnés, dans toute la mesure du possible, afin de rester maître de cette montée. De plus, le programme de remplissage prévoit souvent des paliers pour l'exécution de mesures complètes à cote constante du plan d'eau. L'adoption d'appareils de lecture simple (pendules par exemple) et de méthodes de dépouillement rapide (en topographie par exemple), ainsi que la tenue à jour des graphiques des résultats, permettent de limiter la durée de ces paliers et de conserver ainsi de bonnes chances de remplir la retenue sans délai excessif.

- Fréquence des mesures

La fréquence des mesures à faire pendant la mise en eau est fixée en fonction de la hauteur du plan d'eau, ces mesures devant être d'autant plus fréquentes que le plan d'eau se rapprochera de la cote de retenue. Le temps intervient aussi pour que les campagnes de mesures ne soient pas trop espacées en cas de montée lente du plan d'eau. C'est ainsi que :

- deux opérations topographiques ne seront pas séparées de plus d'un mois,

./.

---

(1) On ne peut en effet soumettre un barrage à des essais de charge préalable sans risque pour le public, comme on peut le faire pour un pont par exemple.

- et que deux relevés successifs des extensomètres, tubes piézométriques, cellules de pression interstitielle, pendules, drains, fuites ne seront pas séparés de plus d'une semaine,

La fréquence des mesures est évidemment augmentées en cas d'anomalies constatées sur l'ouvrage.

A ces mesures s'ajoutent une surveillance visuelle quotidienne de l'ouvrage et des abords (détection des fissures, des venues d'eau), ainsi que le contrôle du bon état de fonctionnement des organes de sécurité (vidanges, évacuateurs de crues).

**- Consignes en cas d'anomalies sur le barrage**

Les consignes à suivre, en cas d'anomalies sur l'ouvrage présentant un risque grave, doivent être précisées avant le début du remplissage :

- manoeuvre d'urgence des organes d'évacuation,
  - Services et Autorités à prévenir immédiatement (avec indication des numéros de téléphone).
- Contrôle de la sécurité du barrage pendant sa première mise en eau**

Ce contrôle consiste en une observation à peu près permanente des déformations et des fuites, le critère de sécurité résidant surtout dans la continuité de l'évolution des grandeurs mesurées en fonction du remplissage et dans les résultats de la comparaison de quelques grandeurs simples (déplacements, contraintes, pressions interstitielles) avec les valeurs prévues. Toute évolution anormale d'une des grandeurs représentatives du comportement de l'ouvrage constitue un signal d'alerte.

Les méthodes de dépouillement rapide permettant un contrôle suivi pendant le remplissage sont à retenir.

La surveillance d'un premier remplissage nécessite ainsi la présence, sur les lieux, d'un personnel compétent capable d'interpréter correctement et immédiatement les résultats des mesures et de déceler toutes anomalies qui surviendraient dans le comportement de l'ouvrage.

Au fur et à mesure de la montée du plan d'eau, le propriétaire ou le concessionnaire fait tenir à jour les graphiques donnant les résultats des mesures et les variations du niveau de la retenue, ainsi qu'un registre relatant les manoeuvres éventuelles des diverses vannes, les événements extérieurs (crues, séismes, etc....), les incidents constatés (fuites, fissures, etc ....).

- Fondation

Si, dans le passé, les mesures d'auscultation concernaient presque exclusivement le barrage proprement dit, elles doivent porter aussi désormais sur la fondation.

Les déformations de celle-ci doivent être considérées, notamment pour les ouvrages en béton, comme plus significatives en matière de sécurité que celles du barrage proprement dit. L'attention doit porter aussi spécialement sur les sous-pressions dans la fondation. Les ouvrages de drainage devront, en particulier, être maintenus en parfait état de fonctionnement.

- Surveillance des versants de la retenue

Le périmètre de la retenue devra être inspecté régulièrement afin de s'assurer de la stabilité des versants, ou, s'ils ne sont pas stables, de suivre et de mesurer leur évolution.

- Rapport

Le propriétaire ou le concessionnaire devra remettre au Service du Contrôle, dans les six mois de l'achèvement de la première mise en eau, un rapport contenant une analyse détaillée du comportement de l'ouvrage au cours de cette opération et une comparaison du comportement observé avec le comportement prévu.

Les conclusions de ce rapport devront être reprises et complétées dans le rapport annuel visé au § 7 pour tenir compte des résultats de la première vidange, puis de l'explication statistique des lectures des appareils faites lors de remplissages et de vidanges ultérieurs, l'ouvrage ayant pris progressivement son assiette.

6

REGISTRE de l'EXPLOITANT (PROPRIETAIRE ou CONCESSIONNAIRE)

L'exploitant de l'ouvrage tient, dès le commencement de la première mise en eau, dans les locaux occupés les plus proches de l'ouvrage, et hors de portée de toute inondation, un registre sur lequel seront sommairement mentionnés au fur et à mesure, avec indication des dates, les principaux renseignements relatifs à l'exploitation du réservoir (remplissage, vidange, déversement), les manoeuvres de vannes effectuées et les mesures de contrôle faites, les incidents constatés (fuites, fissures), les travaux d'entretien ou de réparation effectués. Le registre devra être examiné et visé par les agents du Service du Contrôle à chacune de leurs visites.

./.

7

**SURVEILLANCE des OUVRAGES par l'EXPLOITANT**  
**(PROPRIETAIRE ou CONCESSIONNAIRE)**

**- Nature de la surveillance**

La surveillance des barrages par l'exploitant comporte essentiellement les éléments suivants :

- des visites périodiques qui ont pour but l'examen visuel de l'ouvrage, de ses abords et de ses organes d'évacuation, ainsi que, le cas échéant, des zones instables des versants,
- l'exécution de mesures à l'aide d'appareils qui doivent présenter une grande sensibilité et une grande fiabilité et qui sont de deux types essentiels :
  - a) les appareils dont la lecture est simple. L'exécution des mesures peut par suite être confiée au personnel d'exploitation local. Parmi ces mesures, on peut citer :
    - les mesures du débit des fuites ou des drains,
    - les mesures de niveaux piézométriques,
    - la lecture de pendules directs et inversés ou de clinomètres.
  - b) les appareils dont l'emploi est plus complexe. Les mesures correspondantes exigent de faire appel à un personnel qualifié. Parmi ces mesures figurent :
    - les mesures topographiques,
    - les mesures de pression interstitielle,
    - l'auscultation par extensomètres,
    - les mesures de déformation par fils tendus ou par barres,
    - les mesures d'ouverture des joints de barrage en béton,
    - les mesures de tassement des barrages en matériaux meubles,

./.



- les mesures des vitesses de transmission des ondes sonores dans l'ouvrage et ses fondations,
- les mesures des températures du béton des ouvrages,
- l'enregistrement des séismes.

**- Périodicité des visites et des mesures**

Les périodicités des visites et des mesures peuvent varier selon l'importance de l'ouvrage et selon les constatations faites. Leur fréquence sera augmentée notamment si une anomalie est constatée. Cette surveillance pourra être interrompue pendant certaines périodes de l'année si l'ouvrage n'est pas alors accessible. A titre d'indication, l'ordre de grandeur de ces périodicités pourra être celui donné ci-après.

Les visites périodiques, les mesures des débits de fuite et des débits des drains, seront effectuées au moins une fois toutes les deux semaines et si possible une fois par semaine.

Les mesures simples, et notamment les mesures de niveaux piézométriques dans les digues et de déplacement des pendules ou de variation de pente des clinomètres, seront effectuées au moins une fois par mois.

Les mesures complexes seront effectuées en principe deux fois par an, une fois à retenue au niveau minimal et une autre fois à retenue au niveau maximal, et en tous cas au moins une fois par an. Il sera préférable, dans les cas de barrages en voûte mince ou de digues en terre importantes, de procéder aux mesures de contraintes par extensomètres dans le premier cas, et de tassements et de pressions interstitielles dans le second cas, au moins une fois par mois.

**- Interprétation des résultats**

Il convient de procéder à une exploitation immédiate des résultats, le cas échéant par des méthodes simplifiées, de façon à détecter tout de suite les anomalies.

Toute anomalie importante doit être signalée immédiatement par l'exploitant au Service du Contrôle lorsque le barrage n'appartient pas à l'Etat.

En complément de l'examen immédiat des résultats, les mesures doivent être interprétées par des ingénieurs spécialisés disposant des moyens de calcul convenables, en vue notamment de mettre en évidence l'évolution de l'ouvrage dans le temps et en ayant soin de séparer les phénomènes réversibles, liés aux variations du niveau de la retenue et de la température, des phénomènes irréversibles ou évolutifs.

Ces interprétations sont longues et délicates. Aussi faut-il attacher une grande importance à la surveillance visuelle et aux mesures des fuites (évolution ou apparition de fissures ou de suintements, augmentation brusque ou rapide du débit des fuites, variations rapides des indications des piézomètres), qui permettent de déceler rapidement une détérioration du comportement de l'ouvrage.

- Rapport au Service du Contrôle

L'exploitant devra adresser chaque année au Service du Contrôle (lorsque le barrage n'appartient pas à l'Etat) un rapport sur la surveillance et l'auscultation du barrage, donnant d'une part des renseignements succincts sur l'exploitation des ouvrages au cours de l'année, sur les incidents constatés et les travaux effectués, et d'autre part, sous forme de graphiques, les résultats des mesures effectuées ainsi que leur interprétation. Ce rapport comportera obligatoirement, tous les deux ans, une analyse approfondie de l'évolution du comportement de l'ouvrage.

8

VISITES du SERVICE du CONTROLE (1)

A - Visite annuelle

Un agent du Service du Contrôle procédera chaque année, pour chaque barrage, à au moins une visite. Cette visite devra de préférence être effectuée à retenue pleine. Elle comportera l'examen visuel des parties non noyées (couronnement, parement aval), le contrôle de l'état de fonctionnement des ouvrages de drainage, du bon état d'entretien et de fonctionnement des organes d'évacuation des eaux, de l'état du terrain aux abords des fondations, à l'aval des ouvrages de rejet des eaux évacuées et dans le périmètre de la retenue, du bon fonctionnement des divers dispositifs d'auscultation et de l'exécution correcte des mesures par le personnel de l'exploitant. La vérification des ouvrages de vidange devra comporter normalement un fonctionnement réel des dits ouvrages.

./.

---

(1) L'agent du Service du Contrôle profitera de la visite annuelle pour examiner les dispositifs techniques de détection et de surveillance et les autres dispositifs d'alerte visés à l'article 2 du décret n° 68-450 du 16 Mai 1968 dans la mesure où son service en sera chargé par les textes d'application du dit décret.

L'agent du contrôle devra s'assurer que le registre de l'exploitant est convenablement tenu et il le visera. Il s'assurera que les visites périodiques et les mesures sont régulièrement exécutées.

Il procédera à la visite de l'ouvrage en présence de l'exploitant par lui dûment convoqué. Un procès-verbal de visite indiquant les constatations faites sera présenté à l'exploitant pour observations et signature et visé par l'Ingénieur en Chef avec ses observations et ses propositions pour la suite à donner. Celui-ci enverra à l'Administration Centrale, avec ses propositions, une copie du procès-verbal lorsque la visite annuelle aura révélé des faits de nature à modifier sensiblement les conditions antérieures de sécurité.

#### **B - Visites complètes décennales**

Le Service du Contrôle procédera, moins de cinq ans après la mise en service du barrage, à une visite complète comportant, outre les vérifications visées en 8 (A), un examen des parties habituellement noyées des ouvrages. Les visites complètes ultérieures auront lieu au moins une fois tous les dix ans.

Ces visites devront être effectuées en principe après vidange complète de la retenue. Toutefois, pour le cas où cette vidange totale soulèverait des difficultés spéciales, le Service du Contrôle soumettra la question à l'Administration Centrale et, avec son accord, la visite complète des parties noyées pourra, soit n'être effectuée que partiellement, soit être effectuée de façon indirecte, par exemple avec l'aide d'hommes-grenouilles, de scaphandriers ou de caméras de télévision étanches.

Le procès-verbal de cette visite complète sera transmis à l'Administration Centrale avec la liste et un compte rendu succinct des visites annuelles effectuées depuis la précédente visite complète.

Le Service du Contrôle fera connaître à l'Administration Centrale, avant le début de chaque année, les visites décennales qu'il prévoit d'effectuer dans l'année.

REVISION SPECIALE des BARRAGES ANCIENS

Les règles de l'art ont évolué depuis la construction de nombreux ouvrages anciens. Ces ouvrages n'ont pas été, en général, munis des appareils d'auscultation dont on les munirait s'ils étaient construits actuellement. Seul un petit nombre d'entre eux a fait l'objet de travaux d'amélioration ou d'équipement complémentaire récents. Certes l'âge même des barrages anciens plaide en faveur de leur stabilité, mais il n'en est pas moins à craindre que le coefficient de sécurité global de certains d'entre eux ne soit pas beaucoup supérieur à l'unité.

Il importe donc de procéder à une révision spéciale de tous ces barrages (1).

Pour ceux dont l'Etat n'est pas propriétaire, chaque service du contrôle établira une liste de ceux des barrages mentionnés dans la liste générale visée au § 2 ci-dessus, qui lui paraissent devoir faire l'objet d'une révision. Il la soumettra à l'Administration Centrale en proposant un ordre d'urgence pour la révision et en donnant les motifs de cet ordre d'urgence.

L'établissement de cette liste et la détermination de l'ordre d'urgence pourront être basés, notamment, sur les critères suivants :

- âge du barrage,
- hauteur et volume d'eau emmagasiné,
- insuffisance de section d'un barrage-poids,
- inexistence de drainage d'un barrage-poids,
- inexistence de drainage des fondations d'un barrage en béton ou en maçonnerie,
- Capacité insuffisante des ouvrages d'évacuation de crues, eu égard aux estimations du débit maximal qui seraient faites actuellement (principalement dans le cas d'ouvrages supportant difficilement une surélévation du niveau de la retenue, tels que les barrages-poids, ou ne pouvant supporter de déversement par dessus leur crête, tels que barrages en terre ou en enrochements),
- inexistence ou insuffisance de dispositifs de surveillance et d'auscultation.

:/.

---

(1) on n'hésitera pas à proposer la révision de barrages, même récents, si on a une raison spéciale de la juger désirable.

Le Ministre intéressé, après consultation, s'il le juge utile, du Comité Technique Permanent des Barrages, renverra ces listes approuvées au Service du Contrôle qui invitera le propriétaire ou le concessionnaire à faire procéder par des Ingénieurs ou un bureau d'études qualifiés à une inspection spéciale de l'ouvrage et à un examen de tous les documents le concernant, en vue de l'établissement d'un rapport où sera formulé un diagnostic sur les garanties actuelles de sécurité de l'ouvrage et où seront éventuellement proposées et justifiées les mesures d'exploitation à observer, les travaux de reconnaissance, de réduction des sous-pressions ou de confortement à réaliser et les appareils d'auscultation à installer en vue d'améliorer la sécurité de l'ouvrage et d'en rendre la surveillance plus précise et plus efficace.

L'Ingénieur conseil ou le bureau d'études chargé d'établir le rapport devra être, autant que possible, différent de celui qui a établi le projet du barrage.

Le propriétaire ou le concessionnaire remettra le dit rapport au Service du Contrôle en indiquant ce qu'il propose de faire pour en appliquer les recommandations. Le Service du Contrôle transmettra le tout à l'Administration Centrale avec son avis.

Après consultation du Comité Technique Permanent des Barrages pour les barrages de sa compétence, le Ministre fera connaître sa décision qui sera transmise par l'intermédiaire du Service du Contrôle au propriétaire ou au concessionnaire.

Celui-ci soumettra alors les projets correspondants au Service du Contrôle pour approbation par ce Service ou par le Ministre, conformément aux textes réglementaires ou contractuels en vigueur.

Le Ministre du Développement  
Industriel et Scientifique,

Le Ministre de  
l'Équipement et  
du Logement,

Le Ministre de  
l'Agriculture,

François ORTOLI

ALBIN-CHALANDON

Jacques  
DUHAMEL

LA SURVEILLANCE DES BARRAGES ET DES DIGUES

DEUXIEME PARTIE

LE CONTROLE ET LA MESURE DES SOUS-PRESSIONS

Septembre 1971

SOMMAIRE DE LA DEUXIEME PARTIE

LE CONTROLE ET LA MESURE DES SOUS-PRESSIONS

SOMMAIRE

- I - Le principe de la mesure des sous-pressions
  - II - Les emplacements des points de mesure
  - III - A quels moments faire les mesures ?
  - IV - Les méthodes de mesure à employer
  - V - La présentation et la diffusion des résultats
  - VI - Documents annexes
- 

N.B. - Dans le texte ci-dessous, les mots "barrage" et "ouvrage" sont souvent pris dans un sens très général. Ils englobent à la fois les barrages de retenue et les digues des canaux.

# I - LE PRINCIPE DE LA MESURE DES SOUS-PRESSIONS

## 1-1 - PRINCIPE

Comme pour le contrôle des fuites, le contrôle des sous-pressions repose sur l'idée qu'il doit y avoir similitude dans le temps pour les mesures de sous-pressions, effectuées dans des conditions identiques.

" Les sous-pressions mesurées dans la fondation d'un barrage ou d'une digue, dans le corps d'un barrage en terre ou en enrochements, dans une digue de canal doivent rester semblables dans le temps pour des conditions identiques (charge, température, précipitations)".

Tant qu'on ne décèle pas d'anomalies, on admet :

- 1°) qu'il n'y a pas eu d'évolution dans le comportement de l'ouvrage considéré (barrage, digue...),
- 2°) que l'expérience est une excellente présomption de la sécurité de l'ouvrage.

Comme pour la mesure des fuites, il s'agit donc, dans un premier temps, après la mise en service de l'ouvrage, de connaître le "comportement normal" de l'ouvrage, vu sous l'angle des sous-pressions (immédiatement après la mise en eau et dans les premiers mois d'exploitation, on assiste à un phénomène d'adaptation de l'ouvrage. Son comportement, en ce qui concerne les sous-pressions peut évoluer durant cette période. Cette évolution se stabilise progressivement pour aboutir à ce que nous appellerons "le comportement normal".)

Puis, dans un deuxième temps, c'est-à-dire tout au long de la vie de l'ouvrage, il s'agit de suivre par l'intermédiaire des mesures de sous-pressions, le comportement de l'ouvrage (barrage ou digue) et de vérifier que ce comportement, à conditions égales d'une année sur l'autre, reste voisin du comportement normal. Ce contrôle de conformité, qui vise à détecter toute anomalie, suppose, bien entendu, que les conditions locales de mesure des sous-pressions restent identiques. Chaque fois que les conditions d'écoulement de l'eau à travers le barrage ou le terrain de fondation auront changé par suite de travaux d'entretien ou de consolidation (perçement de nouveaux drains, nouveaux forages mettant en communication des nappes de circulation de l'eau auparavant isolées, voile complémentaire d'étanchéité, etc...), les mesures suivantes des sous-pressions permettront, dans certains cas, de juger de l'efficacité du traitement réalisé (perçement de nouveaux drains par exemple) mais viseront également à redéfinir dans les mois qui suivront le nouveau "comportement normal" pour la zone de l'ouvrage dont le comportement aurait été modifié par les travaux. Les mesures ultérieures des sous-pressions permettront de détecter, à nouveau, toute anomalie survenant par rapport au nouveau comportement normal.



## II - LES EMPLACEMENTS DES POINTS DE MESURE

Il convient de bien différencier les installations de drainage, qui visent à détendre les sous-pressions éventuelles et les installations de mesure des sous-pressions, qui recherchent la valeur exacte de la sous-pression, en un point déterminé.

Les drains, les forages de décompression (forages bruts, non tubés) chercheront à réduire le plus possible la valeur de la sous-pression en offrant des exutoires faciles aux infiltrations à travers le barrage ou son environnement.

Les tubes piézométriques (forages tubés avec tubes scellés) sont destinés exclusivement à la mesure ponctuelle de la sous-pression ; ils ne jouent aucun rôle de décharge et n'assurent aucune protection en cas d'augmentation des sous-pressions.

Voyons quels sont les emplacements habituellement choisis pour l'implantation des tubes piézométriques.

### 2-1 - Emplacements possibles

#### 2-1-1 - Sous-pressions dans le rocher de fondation

S'il existe des plans préférentiels connus pour les diaclases du rocher, ou si la stratification du terrain est bien marquée, on réalise habituellement des forages recoupant avec la meilleure incidence possible les zones probables de circulation de l'eau dans le rocher.

Dans d'autres cas, on donne aux forages destinés à la mesure des sous-pressions l'inclinaison qui était celle des forages ayant servi à la confection du voile d'étanchéité sous le barrage.

#### 2-1-2 - Sous-pressions à l'aval d'un écran d'étanchéité ou d'une fondation d'ouvrage en béton

Dans ce cas, il est intéressant d'avoir un dispositif permettant de connaître la ligne d'eau le plus immédiatement possible à l'aval de l'organe étanche (pied aval d'une voûte-noyau étanche d'une digue en terre). Si on veut contrôler l'étanchéité d'un joint béton-rocher, il sera intéressant, par exemple, de réaliser des forages en auréole à partir d'une galerie située dans le rocher de fondation, en les disposant à l'aval de l'écran d'étanchéité.

### 2-1-3 - Digue

Habituellement, on recherche le tracé de la ligne phréatique selon un certain nombre de profils en travers de la digue. S'il existe un sillon sous-alluvionnaire, dans le cas d'un barrage, on placera automatiquement l'un de ces profils au droit du sillon.

Pour les digues des canaux, on vise à connaître également le niveau de la ligne phréatique au travers du corps des digues. Les emplacements des points de mesure seront choisis, pour ne pas trop les multiplier, aux endroits les plus caractéristiques pour connaître le comportement de l'ouvrage (hauteurs de remblais maxima - zones de position particulière de la nappe phréatique dans le terrain, etc...).

## 2-2 - EMPLACEMENTS PREVUS SUR DES OUVRAGES EN SERVICE

### 2-2-1 - Tubes piézométriques

#### - Au Barrage de SERRE-PONCON (figure 8)

Les piézomètres intéressant la digue et sa fondation alluviale sont disposés essentiellement dans l'axe et sur les rives du sillon rocheux sous alluvial, suivant neuf profils en travers de ce sillon.

D'autres ont été exécutés depuis la galerie d'injections de R.G. permettant de faire l'étude des niveaux dans la coupure étanche et à l'aval de celle-ci.

Une autre série, disposée suivant huit auréoles comportant de deux à six piézomètres, est destinée au contrôle du voile au large, au contrôle des injections de collage du contact noyau-rocher et à l'étude du gradient le long de ce contact.

Au total, 70 piézomètres sont régulièrement exploités.

#### - Sur les Canaux de la Basse-Durance

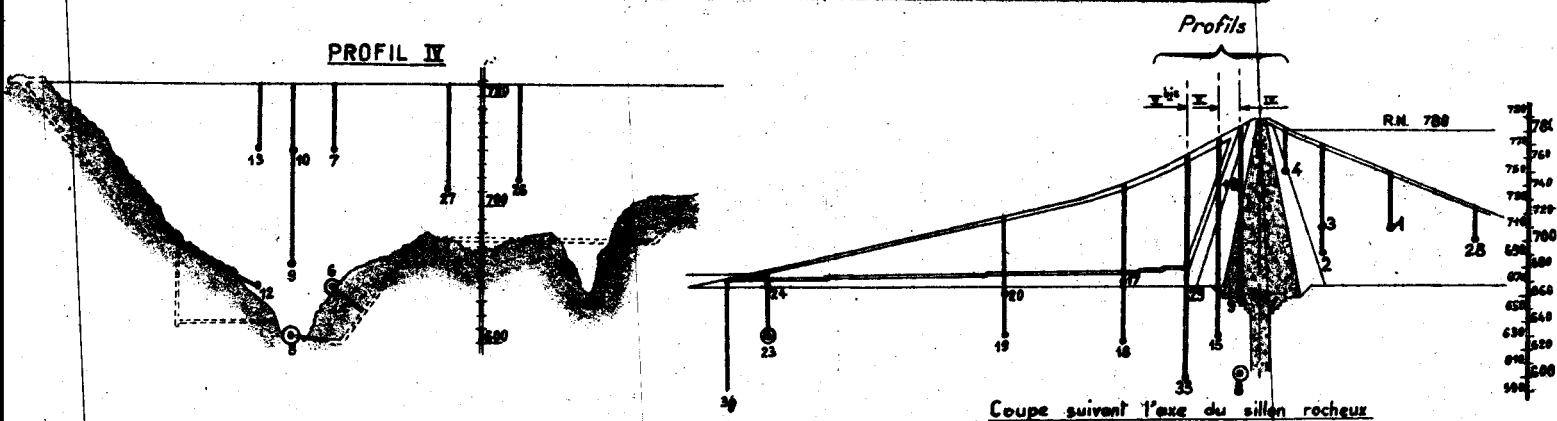
Des contrôles piézométriques sont également réalisés.

#### - Sur le Canal de JOUQUES

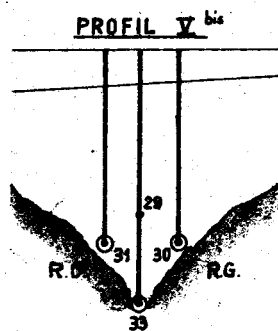
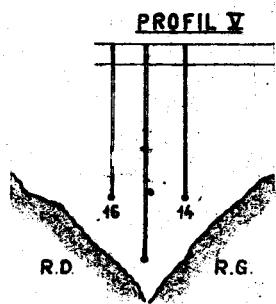
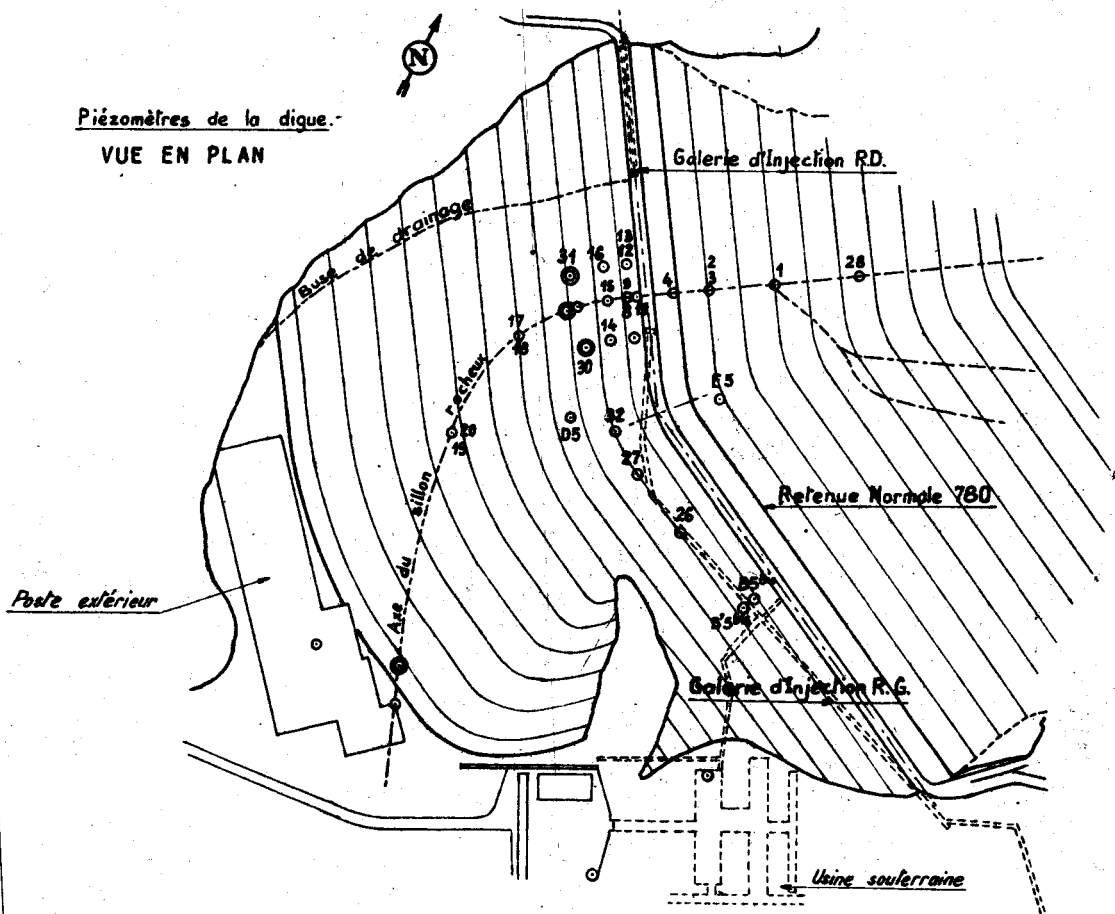
28 piézomètres ont été mis en place et font l'objet d'un relevé mensuel. Une zone plus particulièrement douteuse du canal est surveillée par 11 piézomètres dont 10 sont enregistreurs.

**Figure 8**

**Les tubes piézométriques au barrage de SERRÉ-PONCON**



**Piézomètres de la digue -  
VUE EN PLAN**



- Sur le canal de ST-ESTEVE

Il était prévu des mesures quotidiennes pendant trois années d'un certain nombre de débits et de 1/2 piézomètres. Les hauteurs des remblais et des déblais sont particulièrement importantes sur ce canal. La plus grande hauteur de remblai est de 40 mètres et le plafond du canal, dans les zones en déblais, peut être situé à 60 m en-dessous de la crête du talus.

2-2-2 - Forages de décompression

- Au Barrage d'HAUTEFAGE (voûte-mince)

11 sondages ont été exécutés en 1960 tout le long du parement aval, pour connaître les sous-pressions dans le rocher de fondation. L'espacement des sondages est de 20 mètres.

- Au Barrage de COUESQUE (voûte-mince)

5 sondages ont été forés en mars 1961 à partir de la galerie située à la base du barrage (accès à la commande des vannes de vidange de fond). Leur profondeur est de 30 mètres.

- Aux Barrages de VEZINS et ROMHEMEL (voûtes-multiples)

On a exécuté un forage entre chacun des contreforts (espacés respectivement de 5 mètres et de 5,40 mètres).

- Au Barrage de LA GIROTTE (voûtes-multiples)

On a décidé, en 1960, une investigation dans le verrou rocheux pour détecter les sous-pressions. 8 sondages principaux de 50 mètres de profondeur ont été forés à 2,50 m des piles et à 20 mètres à l'aval des retombées des voûtes sur les piles. Ces forages ont une direction parallèle à celle des forages ayant servi à la réalisation du voile principal d'injection.

2-3 - Comment choisir les emplacements de mesure ?

Pour les barrages en terre ou les digues des canaux importants, le contrôle piézométrique est habituellement prévu au moment de la construction. Pour les barrages-poids en béton, tout un système de drainage est mis en place au moment de la construction

pour empêcher l'apparition des sous-pressions, mais il n'est pas destiné à des mesures ponctuelles de sous-pressions. Pour les barrages minces en béton, le souci du contrôle des sous-pressions à l'aval de l'ouvrage est récent, et en général, les ouvrages mis en service avant 1960 ne sont pas équipés pour cette mesure.

Que l'on complète un dispositif existant ou que l'on crée un dispositif de toutes pièces pour un ouvrage qui n'en comportait pas, les emplacements possibles de mesure des sous-pressions sont étroitement liés au type de l'ouvrage et aux possibilités d'investigations offertes (depuis l'aval, depuis des galeries profondes, etc...). Il n'existe pas deux ouvrages identiquement semblables. Chacun devra faire l'objet d'un examen particulier.

En prévoyant le dispositif, on devra avoir un triple souci d'efficacité, de simplicité et de sécurité.

(Efficacité), c'est-à-dire avoir des points de mesure tels qu'ils permettent d'avoir un nombre suffisant de mesures bien choisies, susceptibles d'une analyse significative des sous-pressions intéressant l'ouvrage étudié. A partir de notre échantillonnage de points de mesure, on doit pouvoir établir une image aussi fidèle que possible de la réalité pour l'ensemble de l'ouvrage.

(Simplicité), le dispositif doit être suffisamment simple pour permettre une exploitation facile des emplacements de mesure et une analyse rationnelle des résultats.

(Sécurité), le dispositif doit être conçu de manière à éviter toute mise en pression artificielle du barrage ou de sa fondation par l'intermédiaire des organes de mesure. Les rôles respectifs des drains et des tubes de mesure piézométrique ne doivent pas être confondus.

### 2-3-1 - Plan du dispositif

Le dispositif de mesures retenu doit faire l'objet d'un plan répertoriant et identifiant tous les points de mesure des sous-pressions. Ce plan sera tenu à jour en cas de modifications apportées au dispositif. Ce plan sera joint au rapport annuel (Voir § 5-4-1).

### III - A QUELS MOMENTS FAIRE LES MESURES ?

Les sous-pressions régnant sous un ouvrage (ou le niveau de la ligne d'eau qui s'établit à travers le corps d'une digue) sont sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs (niveau de la retenue amont, niveau de la nappe phréatique dans le terrain, précipitations, communications entre des fractures du terrain, mise en communication des nappes souterraines avec des réseaux de drainage, etc...). Comme pour la surveillance des fuites, on est amené à faire une distinction entre le contrôle régulier des sous-pressions et la recherche des influences respectives des différents facteurs, qui agissent sur les sous-pressions.

#### 3-1 - LES DEUX TYPES DE MESURE

##### 3-1-1 - Mesures régulières (obligatoires)

Ce sont celles qui ont lieu à intervalle de temps régulier, fixé à l'avance et indépendamment de toute autre condition. Elles correspondent au contrôle et à la surveillance habituels des sous-pressions. La mesure des sous-pressions aura lieu, par exemple, hebdomadairement, à jour fixe.

##### 3-1-2 - Mesures particulières (éventuellement)

Ce sont celles qui visent à améliorer nos connaissances sur l'influence respective des divers facteurs, qui peuvent agir sur les sous-pressions.

Ces mesures spécifiques nécessitent des périodes favorables permettant d'éliminer l'influence de l'un des facteurs pour aider à trouver les corrélations liant la valeur des sous-pressions et les autres facteurs. Par exemple, si nous faisons des mesures à intervalles rapprochés pendant une période où le plan d'eau amont reste constant, il sera possible, après quelques jours de stabilisation, de rechercher l'influence du niveau aval (dans le cas d'un bassin de compensation au pied d'un barrage) sur la position de la ligne phréatique à travers le corps du barrage, si on peut agir volontairement sur le niveau aval.

Par rapport aux mesures régulières, qui assurent un contrôle permanent (consigne permanente), ces mesures particulières ne sont pas fixées longtemps à l'avance dans le temps. Elles sont décidées au moment opportun (consigne temporaire et à court terme). Elles ont la durée du phénomène particulier observé.

#### 3-2 - PERIODICITE DES MESURES

##### 3-2-1 - Périodicité des mesures régulières

Les mesures régulières auront lieu à intervalle de temps constant. Cet intervalle sera choisi en fonction des conditions d'exploitation, des facilités d'accès, de la durée globale nécessaire aux mesures, etc...

Il pourra varier entre la semaine et le mois. Le mois représente la limite longue. Une mesure tous les quinze jours, au minimum, semble souhaitable. Bien entendu, l'ordre de grandeur des valeurs trouvées selon qu'elles représentent des sous-pressions négligeables ou méritant une surveillance sérieuse, conditionnera directement la périodicité des mesures.

Ces mesures régulières, une fois la périodicité fixée, seront provoquées directement par le Chef d'Usine, qui reportera les résultats sur son graphique des sous-pressions, aussitôt après les mesures. (voir § 5-2)

### 3-2-2 - Périodicité des mesures particulières

Des mesures particulières complémentaires pourront être demandées à l'occasion de circonstances particulièrement intéressantes :

- vidange totale rapide de la retenue,
- remplissage rapide de la retenue,
- absence de précipitations,
- etc...

La fréquence des mesures sera fixée, pour chacune de ces circonstances, en fonction du phénomène particulier étudié.

Dans le cas d'une vidange rapide, par exemple, la fréquence pourra être journalière si la variation du niveau est importante en 24 heures.

---

Il existe également des périodes de fonctionnement normal de l'ouvrage au cours desquelles on peut être amené à accroître le nombre habituel des observations. C'est le cas, par exemple, des fins de remplissage de retenue où l'on observe fréquemment, pour les derniers mètres, un accroissement sensible du débit des fuites et de la valeur des sous-pressions (phénomènes liés vraisemblablement à la rotation de l'ouvrage vers l'aval). Dans ces périodes, des mesures à intervalle plus rapproché viendront compléter les mesures systématiques.

#### IV - LES METHODES DE MESURE A EMPLOYER

##### 4-1 - LA MESURE DES FACTEURS D'EVOLUTION

Les principaux facteurs, qui ont une influence sur le débit des fuites à travers un ouvrage agissent également sur les sous-pressions.

Dans la première partie de ce texte, consacrée au contrôle et à la mesure des fuites (§4-1-1 à 4-1-4), nous avons évoqué :

- la mesure du niveau de la retenue ( $Z$ )
- la mesure de la température ambiante ( $T$ )
- la mesure des précipitations ( $P$ )

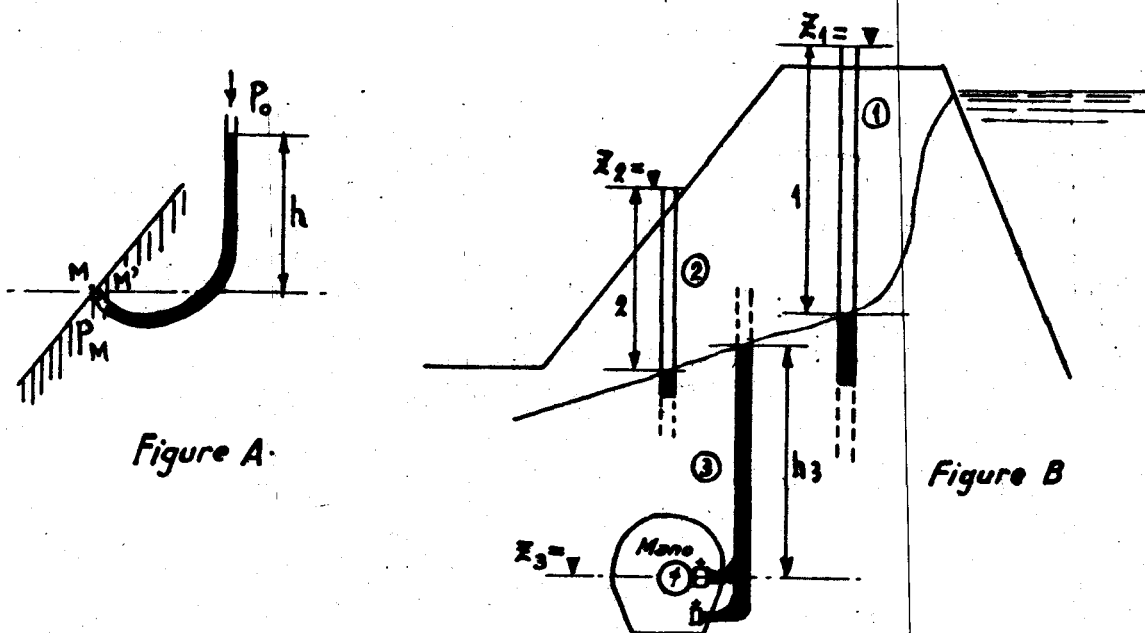
et nous avons indiqué les conditions de leur mesure.

En plus de ces facteurs, on peut être amené, dans le cadre de la surveillance des sous-pressions, à mesurer d'autres niveaux (nappe phréatique du terrain, contre-canaux, bassin de compensation, etc...). La mesure de ces niveaux, situés à l'aval de l'ouvrage, sera réalisée habituellement dans des conditions analogues à la mesure du niveau amont de la retenue (échelles limnimétriques - transmetteur de niveau, etc...).

##### 4-2 - LA MESURE DES SOUS PRESSIONS

Venons-en à la mesure essentielle. On détermine la sous-pression le plus souvent par repérage d'un niveau (tube piézométrique) et quelquefois par lecture directe de la pression.

###### 4-2-1 - Mesure de la sous-pression par repérage d'un niveau





Nous savons que si l'on raccorde en un point M d'un fluide en équilibre un tube vertical, la surface libre se fixe à une hauteur h au-dessus du point M (figure A). Si  $p_0$  est la pression atmosphérique régnant au-dessus de la surface libre et si nous désignons par  $p_m$  la pression en M, nous avons, d'après l'équation fondamentale de l'hydrostatique :

$$p_m = p_0 + \omega h$$

$\omega$  = poids spécifique du liquide

$$\frac{p_m - p_0}{\omega} = h$$

h mesure la différence de pression entre M et l'atmosphère, exprimée en hauteur de liquide.

Un tube qui permet de mesurer la hauteur h, est ce qu'on appelle un tube piézométrique.

Si maintenant le liquide est en mouvement, il est encore possible de mesurer la pression du liquide au voisinage d'une paroi en raccordant un tube piézométrique à une prise de pression aménagée dans cette paroi. La prise de pression doit être un petit orifice ne présentant aucune bavure, qui ne perturbe pas l'écoulement pour que le vecteur vitesse du liquide au voisinage de la prise de pression reste bien parallèle à la paroi. Dans ces conditions, la pression en M est égale à la pression en M', mesurée par l'élévation de l'eau dans le tube piézométrique (fig.A).

On a de même :

$$p_m = p_{m'} = p_0 + \omega h$$

$$\frac{p_m - p_0}{\omega} = h$$

Si on prend la pression atmosphérique comme origine des pressions, h mesure directement la pression en M, exprimée en hauteur d'eau.

Une première méthode pour mesurer la sous-pression régnant en un point de nos ouvrages (aussi bien dans la fondation que dans le corps d'une digue), consistera à installer des tubes piézométriques et à faire des relevés de niveau dans ces tubes piézométriques (fig.B).

./.

#### 4-2-1-1 - Réalisation pratique des tubes piézométriques

- Dans une digue en matériaux meubles, on utilise habituellement des tubes du commerce crépinés à leur partie inférieure.

A SERRE-PONCON, par exemple, les piézomètres installés dans le corps de la digue et dans la fondation alluviale sont constitués par des tubes 40/49 crépinés sur une longueur de 2m au droit de la prise de pression. Ils ont été mis en place au fur et à mesure de l'avancement des travaux par perforation percutante. La partie non crépinée est scellée au terrain au moyen d'un coulis argile-ciment.

- Dans le rocher ou dans un ouvrage en béton, on réalise des forages, qui sont tubés sur toute leur hauteur, et scellés au rocher ou au béton.

A l'endroit où l'on désire effectuer la mesure de la sous-pression, le forage pourra être crépiné, rempli de sable sur 1 mètre de hauteur environ.

Il convient de ne pas adopter un diamètre trop faible pour éviter les risques d'obstruction.

Pour les tubes piézométriques placés "dans la nature", il est utile de prévoir un couvercle verrouillable à leur extrémité supérieure pour éviter l'introduction de corps étrangers dans le forage.

La perforation des forages peut être réalisée au wagon-drill ou à la soudeuse. Le wagon-drill permet un travail plus rapide, moins onéreux mais ne permet pas de recueillir d'échantillons du terrain traversé.

#### 4-2-1-2 - Dispositions pratiques pour mesurer le niveau

Il faut tout d'abord connaître avec précision la cote de l'extrémité supérieure du tube piézométrique, qui sert habituellement de niveau de référence. Une fois les tubes piézométriques installés, il faudra en faire réaliser le nivellement par un géomètre.

Si les tubes sont verticaux, la mesure effectuée donnera directement, par différence entre la cote du sommet du tube et la longueur vide mesurée dans le tube, l'altitude de l'eau dans le tube.

Si les tubes sont inclinés d'un angle  $\alpha$  sur la verticale, il ne faudra pas oublier de faire la correction de  $\cos \alpha$ .

Il existe plusieurs dispositifs pour détecter le niveau de l'eau.

a) Niveau de l'eau invisible

- sonde à contact électrique, constituée par deux électrodes normalement isolées et fixées au bout d'un cordon gradué (qui contient les 2 fils conducteurs). Lorsque les électrodes arrivent au contact de l'eau, le circuit se ferme (cette position peut facilement être détectée avec un voltmètre, une lampe de poche, etc...) et il suffit de lire la longueur de cordon descendue dans le tube.
- cloche plongeuse
- équilibrage de la pression au bas du tube par de l'air comprimé (Notre-Dame de Compiègne)

b) Niveau de l'eau visible

Cela peut être le cas où l'eau remonte au-dessus du niveau accessible du tube piézométrique ; cela peut également se présenter si les dispositions des lieux permettent de raccorder la prise de pression à un tube placé dans une pièce plus facilement accessible. Dans ces cas, on utilise :

- tube transparent, en plexiglas habituellement, et le niveau est repéré directement sur une règle graduée fixée le long du tube.

c) Tube piézométrique déversant

S'il arrive que pour certaines cotes de la retenue, un tube piézométrique se mette à déverser, il faut impérativement le laisser déverser.

En effet, à partir de ce moment là, il joue véritablement un rôle de décharge pour le terrain ou l'ouvrage. L'installation d'un dispositif de mesure de la pression risquerait d'introduire cette pression dangereuse, soit dans l'ouvrage, soit dans le terrain.

4-2-2 - Mesure de la sous-pression par lecture directe de la pression

Lorsque le niveau de l'eau dans le tube piézométrique est toujours supérieur à l'emplacement habituel de mesure, il est possible de raccorder un manomètre au tube piézométrique (fig. B). La lecture directe du manomètre nous donnera la dénivellation entre le niveau de l'eau dans le tube et le niveau du manomètre (que le tube piézométrique soit vertical ou non). Il faudra connaître l'altitude exacte du manomètre pour en déduire la cote de l'eau dans le tube piézométrique.

Il faut réserver les mesures avec manomètres pour les cas où des installations permanentes ont été prévues à cet effet. Une mesure temporaire, effectuée sur un drain, par exemple, ne peut pas donner tout de suite la valeur réelle de la sous-pression et pourrait même aggraver dangereusement la situation si le drain ne débitait plus à la suite de l'oubli sur place du manomètre. Pour éviter de tels incidents, il faut garder en mémoire le principe général suivant :

Principe général :

On ne doit jamais faire une mesure de pression sur un drain. Les drains sont destinés exclusivement à servir d'exutoires aux infiltrations. Les mesures de pression ne peuvent être effectuées que sur les tubes piézométriques spécialement installés à cette intention.

4-3 - OPERATEUR

Il est important de s'efforcer de conserver le même opérateur, tout au long de l'année, pour les mesures de sous-pressions. Une case est prévue pour l'inscription du nom de l'opérateur aussi bien sur les feuilles de relevé que sur les tableaux de mesure.

V - PRESENTATION ET DIFFUSION DES RESULTATS - LE RAPPORT ANNUEL

Comme pour la mesure des fuites, il est apparu nécessaire d'essayer d'unifier la présentation et la diffusion des mesures de sous-pressions entre les différents G.R.P.H.

Les résultats des mesures des sous-pressions seront, en premier lieu, tenus à jour à l'usine, en liaison avec le Sous-Groupe. A la fin de chaque année calendaire, les résultats des mesures seront regroupés dans un recueil par les soins de chaque G.R.P.H. pour les ouvrages qu'il exploite. L'envoi au Service Central de ce recueil annuel permettra des analyses diverses à l'échelle de l'ensemble des ouvrages du Service.

De façon à simplifier la lecture et l'interprétation des résultats à tous les niveaux intéressés, la présentation sera unifiée dans la mesure du possible. En plus des règles déjà données pour la présentation des résultats des mesures de fuites, les spécifications propres aux sous-pressions sont indiquées dans les paragraphes, qui suivent.

5 - 1 - CHOIX DES UNITES

5-1-1 - Sous-pressions

Elles sont le plus souvent connues à partir d'une mesure de niveau. C'est pourquoi elles seront exprimées par un niveau (N). Si la mesure est faite à partir d'un manomètre, la conversion en niveau sera aisée et facilitera les comparaisons avec la variation de la retenue.

La mesure des sous-pressions sera, par conséquent, exprimée en mètres (m).

5-1-2 - Niveau de la retenue (Z)

Exprimée en cotes NGF. L'indication de la première décimale suffit.

5-1-3 - Précipitations (p)

Si elles sont liquides, elles seront données en millimètres (mm). Si elles sont solides, l'indication sera qualitative avec, éventuellement, entre parenthèses, la valeur de l'équivalent liquide (mm) s'il est connu.

5-1-4 - Température ambiante (T)

Exprimée en degrés centigrades (°C).

## 5-2 - COURBES DE VARIATION

On tracera les courbes de variation suivantes :

### 5-2-1 - (Pour chaque point de mesure.) :

- 1 - la courbe annuelle de variation du niveau piézométrique mesuré en fonction du niveau de la retenue  $N(Z)$ , la date de la mesure ou son numéro étant porté à côté de chacun des points de la courbe (voir annexe n° 10).

Pour les variations du niveau de la réserve, cette courbe permet d'apprécier facilement l'évolution des sous-pressions à la montée et à la descente du plan d'eau, de voir les phénomènes d'hystérésis, etc...

- 2 - la courbe annuelle de variation des écarts entre le niveau de la retenue et le niveau piézométrique mesuré, en fonction du niveau de la retenue :  $\Delta N(Z)$ .

$\Delta N = Z$  - Niveau de la sous-pression.

$\Delta N$  représente la perte de charge qui existe dans l'écoulement souterrain entre la retenue et le point où l'on mesure la sous-pression.

L'étude de cette courbe présente les avantages suivants :

- a) - Son tracé est indépendant du temps c'est-à-dire des variations de la retenue, qui peuvent ne pas avoir la même allure d'une année sur l'autre
- b) - elle facilite les comparaisons d'une année sur l'autre
- c) - elle permet de mettre rapidement en évidence les anomalies graves. (Voir en annexe n° 11 la courbe  $\Delta N(Z)$  pour le piézomètre 11 B du barrage de La Girotte).

Les formes les plus intéressantes que peuvent prendre les courbes  $\Delta N(Z)$  sont les suivantes :

- La courbe suit l'axe des abscisses après avoir atteint la valeur  $\Delta N = 0$  : il existe une communication directe entre la retenue et le point de mesure de la sous-pression.

./.

- la courbe cesse de croître pour décroître brutalement à partir d'une certaine cote de la retenue ; deux cas sont possibles :

- a) si la retenue est basse (fondation partiellement dénoyée), cette brutale évolution de la courbe indique que le plan d'eau a atteint la trace d'une fissure qui se prolonge dans la fondation du barrage et qui alimente le point de mesure (perméabilité en grand du terrain).

Dans ce cas,  $\Delta N$  décroît, s'annule et suit l'axe des abscisses jusqu'à ce que la cote de l'eau, au point de mesure, ait atteint le niveau du réseau de drainage, où elle se stabilise.  $\Delta N(Z)$  devient alors une droite à  $45^\circ$ . (échelles égales sur les 2 axes).

En annexe n°12 la courbe  $\Delta N(Z)$  pour le tube piézométrique n°6 EV montre que l'eau dans le tube atteint rapidement le niveau du réseau de drainage (vers 1720) et se stabilise ensuite.

- b) si la retenue est voisine du maximum, une telle manifestation peut être interprétée comme l'apparition de phénomènes d'extension dans la fondation avec ouverture des lèvres de certaines fissures, à leur extrémité amont.

On conçoit aisément que la comparaison d'une année sur l'autre de ces courbes  $\Delta N(Z)$  soit très instructive et facilite la détection de tout comportement anormal.

Au barrage de SERRE-PONCON, par exemple, une méthode analogue est utilisée pour vérifier le comportement de la coupure étanche dans le temps. On étudie les variations, en fonction du temps, du rapport  $H/h$ ,  $H$  étant la différence de niveau entre la retenue et le niveau aval fourni par le piézomètre n° 18 et  $h$  étant la différence de niveau entre le piézomètre 18 et le piézomètre considéré.

- 3 - la courbe de variation du niveau mesuré de la sous-pression en fonction du temps :  $N(t)$  permettant le rapprochement avec les courbes de variation des facteurs d'évolution, en fonction du temps (niveau de la retenue :  $Z(t)$ , température :  $T(t)$ , précipitations  $p(t)$ .) Voir annexe n° 13.

Cette courbe pourra être annuelle ou pluriannuelle selon l'usage qu'on en fait et la fréquence des mesures.

5-2-2 - (Pour les facteurs d'évolution)

Ce sont les mêmes courbes ou représentations que celles destinées à accompagner les mesures de fuites.

Nous les rappelons :

- c) la représentation des précipitations recueillies entre deux mesures
- d) la courbe de variation du niveau de la retenue  $Z(t)$
- e) la représentation des températures maxi et mini relevées entre deux mesures

Tracé de ces différentes variations :

Pour éviter d'avoir à retracer sur chaque courbe (3) annuelle ou pluriannuelle les représentations (c), (d) et (e) des facteurs d'évolution, il est possible d'utiliser, pour tous les points de mesure, des contrecalques d'un document établi en un seul exemplaire et regroupant toutes les informations sur les facteurs d'évolution.

Pour donner toute son efficacité à la surveillance de l'ouvrage assurée par l'usine, après chaque nouvelle série de mesures, les résultats seront aussitôt reportés sur les courbes  $N(Z)$  et  $\Delta N(Z)$ , tenues par le Chef d'Usine. L'emplacement du nouveau point sur le graphique donnera aussitôt au Chef d'Usine une indication sur le comportement de son barrage (ou de sa digue), vu sous l'angle des sous-pressions.

5-2-3 - Courbe enveloppe

Il est encore possible de perfectionner cet outil de travail du Chef d'Usine en mettant à sa disposition, en début d'année, un jeu de feuilles destinées au tracé des courbes  $N(Z)$  et  $\Delta N(Z)$ , sur lesquelles on aura indiqué (par une zone grisée par exemple) la dispersion des mesures, effectuées les années précédentes pour des conditions d'exploitation analogues (c'est-à-dire sans qu'il y ait eu entre temps des travaux d'étanchéité ou de drainage importants, etc...)

Ce nuage de points des années antérieures correspondra à la zone de "comportement normal" de l'ouvrage dans les conditions actuelles de l'Exploitation. La ligne, qui limite ce nuage, peut être appelée "la courbe enveloppe".

La présence simultanée, sur une même feuille, de la courbe enveloppe et de la courbe annuelle en cours d'évolution constitue un excellent signal d'avertissement pour le cas où plusieurs mesures



consécutives sortiraient de la courbe enveloppe, c'est-à-dire de la zone de comportement présumé "normal".

#### 5-3 - TABLEAU DES MESURES (annexe n°14)

De manière à conserver une double trace des mesures effectuées et pour pouvoir recouper les courbes de variation, les mesures seront consignées sur un tableau prévu à cet effet et qui figurera au rapport annuel.

Le tableau constitue essentiellement "l'archive" et les courbes de variation "l'outil de travail" courant et pratique pour la surveillance et l'interprétation des sous-pressions.

#### Feuille de relevé des Sous-Pressions (annexe n°15)

Le tableau de mesures sera établi à partir des feuilles de relevé, utilisées par l'agent d'exploitation au moment de sa tournée de mesure. La feuille de relevé sera rédigée en deux exemplaires pour chaque série de mesures. Le premier exemplaire restera à l'usine comme ARCHIVE. Le deuxième exemplaire sera transmis au Sous-Groupe comme document d'information des résultats de la dernière série de mesures.

Chaque série de mesures aura un numéro d'ordre. Ce numéro pourra être reporté sur les courbes de variation pour faciliter le repérage de chacune des mesures (exemple sur annexe n°10).

#### 5-4 - RAPPORT ANNUEL

Établi au niveau du G.R.P.H. il regroupera tous les résultats de l'année concernant les sous-pressions sur les ouvrages (Barrages ou Digues) du G.R.P.H. Il sera diffusé dans le courant du 1er semestre suivant l'année considérée.

Conçu sur le même modèle que le rapport annuel des mesures de fuites, il comprendra pour chaque ouvrage les éléments suivants :

5-4-1 - Croquis de situation des points de mesure

5-4-2 - Tableau des mesures effectuées

5-4-3 - Courbes

Sur les 3 types de courbes possibles, les deux plus intéressantes à faire figurer dans le rapport annuel sont :

- la courbe  $\Delta N (Z)$  de variation des écarts entre le niveau de la retenue et le niveau piézométrique mesuré en fonction de la retenue.

- la courbe  $N (t)$  de variation du niveau piézométrique mesuré en fonction du temps.

Pour ce dernier type de courbe, c'est la représentation pluriannuelle qui sera utilisée pour le rapport.

5-4-4 - Analyse du G.R.P.H.

5-5 - REGISTRE DU BARRAGE

La circulaire du 14 Août 1970, reproduite en Annexe 9 de la première partie, fait état de la tenue par l'Exploitant d'un REGISTRE sur lequel seront portés, à leurs dates, tous les renseignements que le Service du Contrôle (Circonscription Electrique) jugera nécessaires.

Les renseignements concernant les mesures de sous-pressions continueront à être reportés sur le registre du barrage, sous leur forme actuelle. Ces renseignements seront facilement obtenus à partir des feuilles de relevé et des courbes de surveillance.

**LA SURVEILLANCE DES BARRAGES ET DES DIGUES**

---

**LE CONTROLE ET LA MESURE DES SOUS - PRESSIONS**

---

**VI - DOCUMENTS ANNEXES**

---

---

## S O M M A I R E

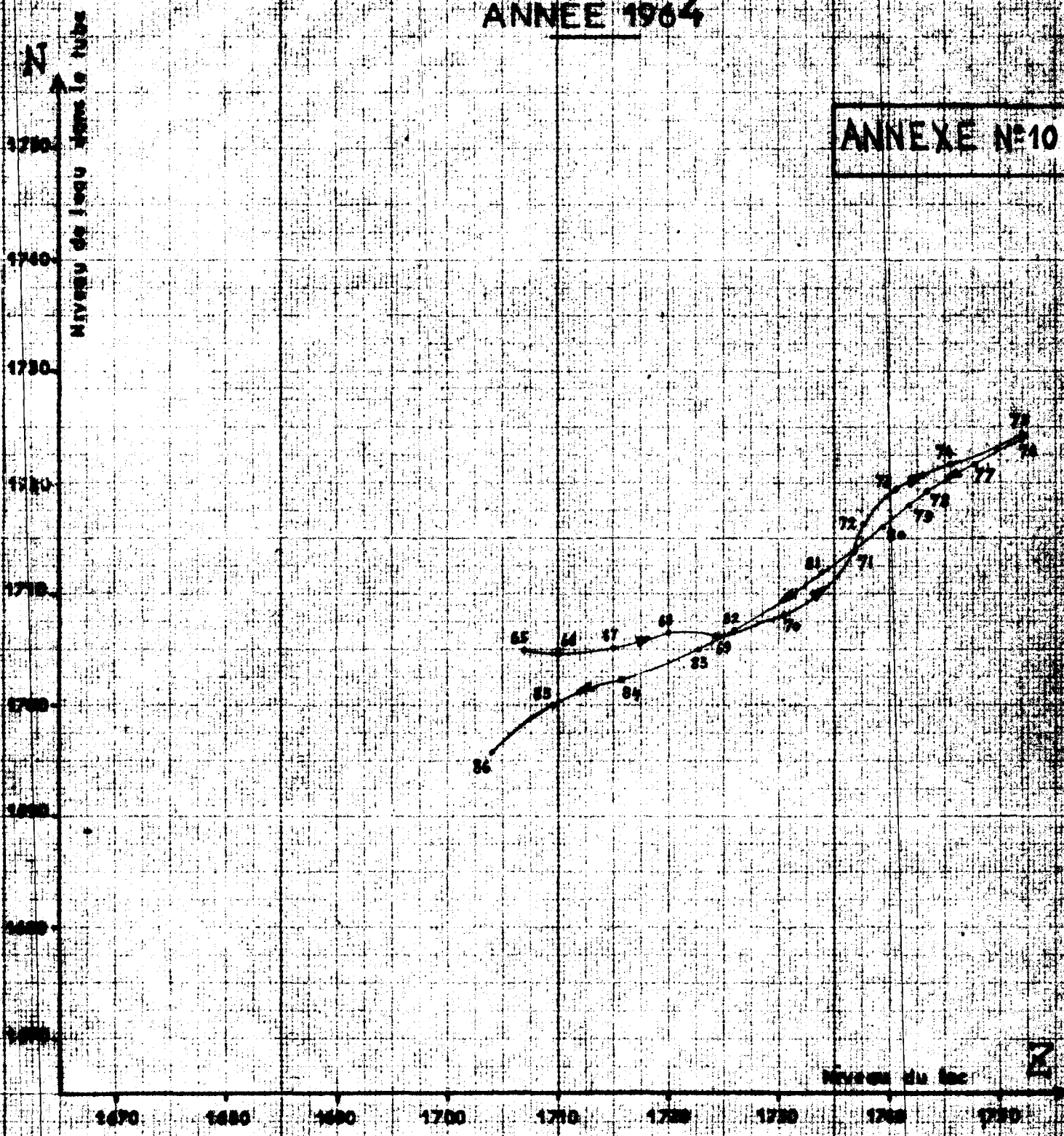
- Annexe n°10 - Courbe  $N (Z)$  donnant la variation du niveau piézométrique en fonction de la cote de la retenue.
  - Annexe n°11 - Courbe  $\Delta N (Z)$  donnant la variation de l'écart entre la cote de la retenue et le niveau piézométrique en fonction de la cote de la retenue.
  - Annexe n°12 - Evolution particulière de la courbe  $\Delta N (Z)$
  - Annexe n°13 - Courbe  $N (t)$  et variation des facteurs d'évolution (type pluriannuel)
  - Annexe n°14 - Tableau des mesures de sous-pressions
  - Annexe n°15 - Feuille de relevé des mesures de sous-pressions.
-

# BARRAGE DE LA GIROTTE

Variation de la cote de l'eau dans le tube en fonction de la cote du lac

ANNÉE 1964

ANNEXE N°10

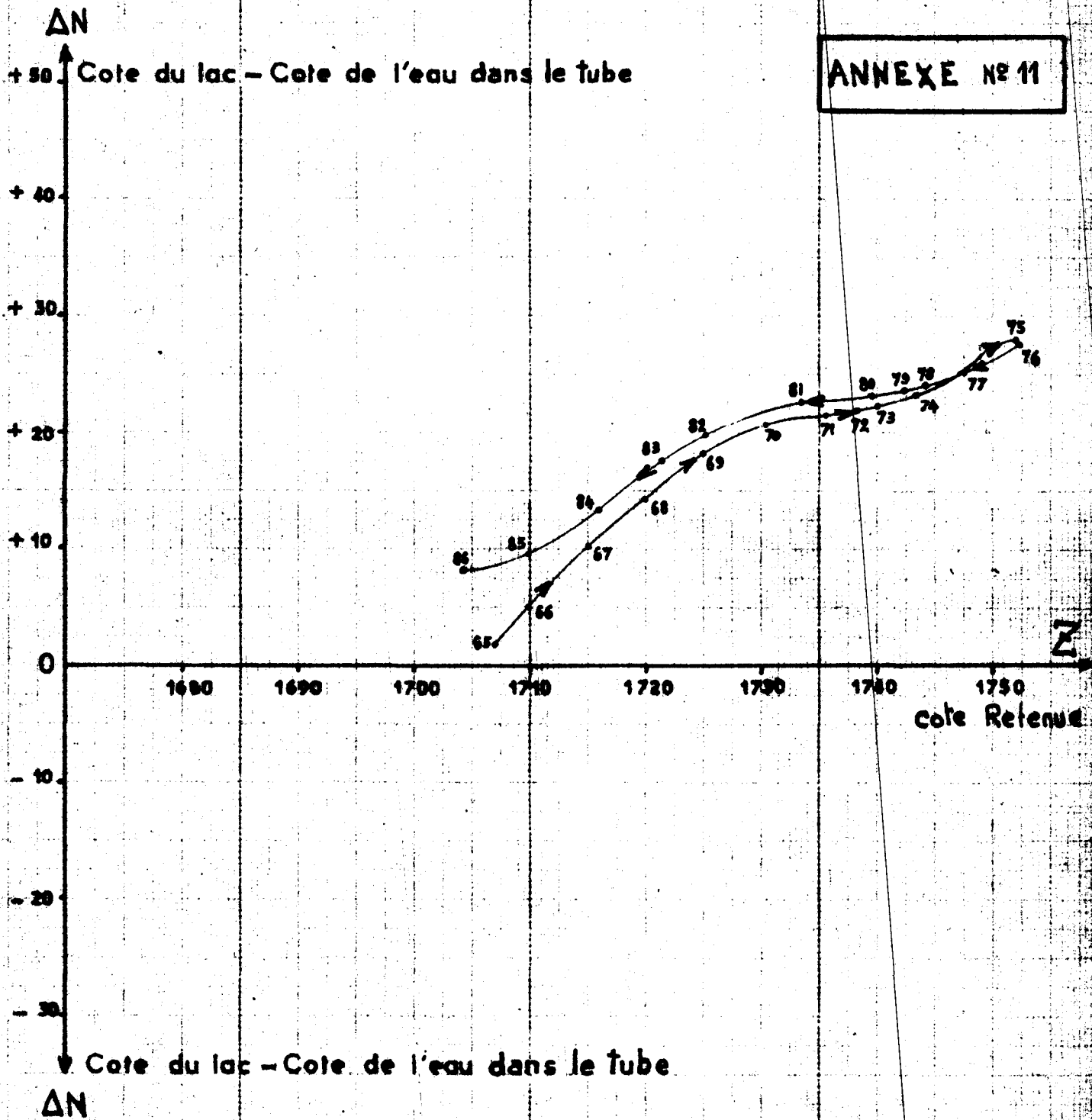


TUBE PIEZOMETRIQUE N°1E  
Sommet du tube à 1728.52

# BARRAGE DE LA GIROTTE

Ecarts entre la cote du lac et la cote de l'eau dans le tube en fonction de la cote du lac

ANNÉE 1964



TUBE PIEZOMETRIQUE N° 11 E

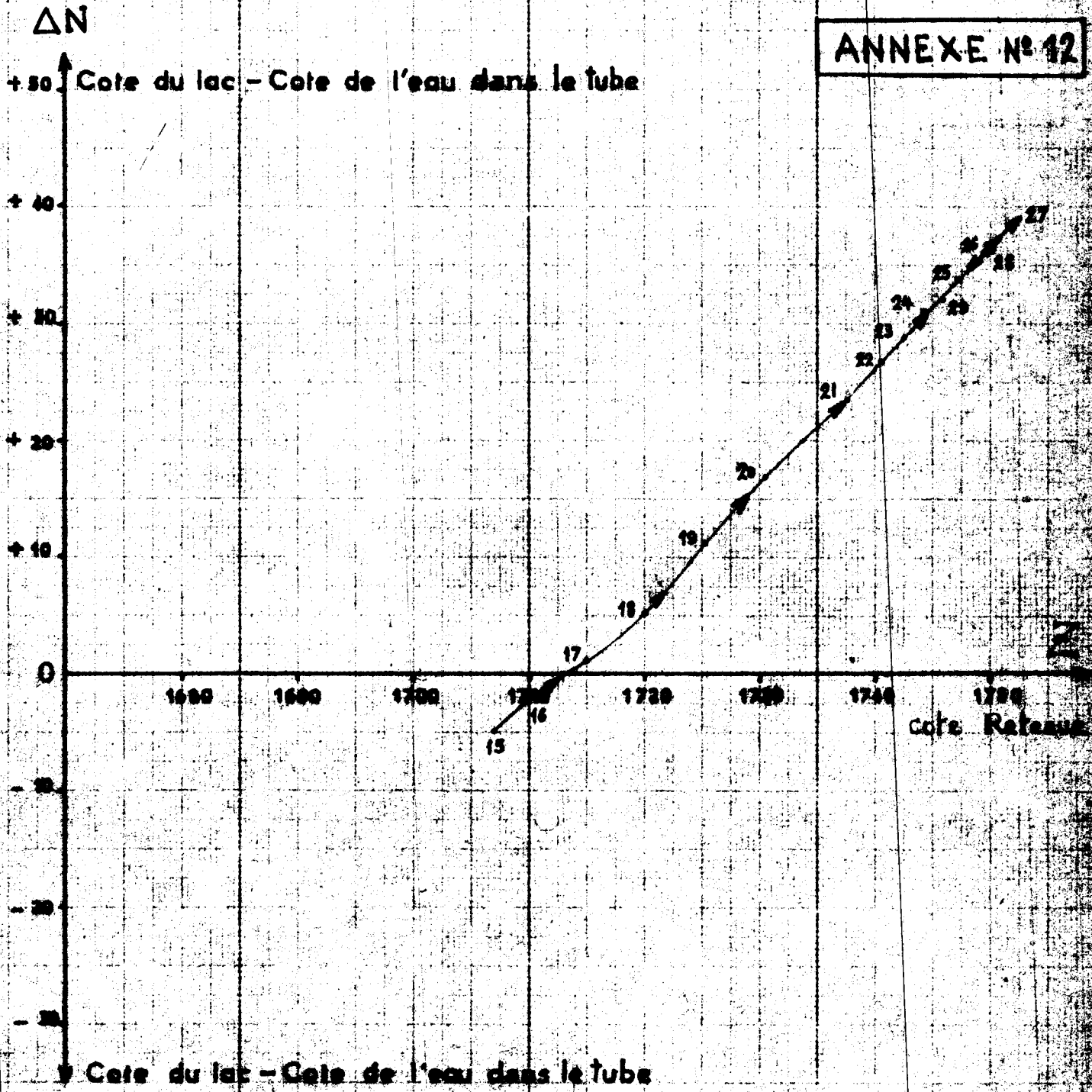
Sommet du tube à: 1728.52

# BARRAGE DE LA GIROTTE

Ecart entre la cote du lac et la cote de l'eau dans le tube en fonction de la cote du lac

ANNÉE 1964

ANNEXE N° 12



TUBE PIEZOMETRIQUE N° 6 E  
ELEVATION: 1715.57

# MESURE DES SOUS-PRESSIONS

| G.R.P.H                             |       | N° OUVRAGE               |              | NOM DE L'OUVRAGE         |              |                          |              | RETENUE N°               |              | ANNEE                    |              | PAGE                     |              |  |
|-------------------------------------|-------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--|
|                                     |       |                          |              |                          |              |                          |              | RN = 986,00              |              | 196.....                 |              |                          |              |  |
| MOIS                                |       | J                        | J            | F                        | F            |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
| DATE                                |       | 4                        | 18           | 1                        | 15           |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
| N° DE LA MESURE                     |       | 32                       | 33           | 34                       | 35           |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
| RETENUE "R" NGF                     |       | 980,60                   | 970,60       | 974,20                   | 973,50       |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
| TEMPERATURE ENTRE MESURES           | MAXI. | °C                       | 8            | 12                       | 1            | 6                        |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
|                                     | MINI. | °C                       | 3            | -2                       | -7           | -5                       |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
| PRECIPITATIONS ENTRE 2 MESURES      |       | mm.                      | 15           | 5                        | 20           | -                        |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |
| POINTS DE MESURE DES SOUS-PRESSIONS |       | Niveau piezométrique "N" | Ecart R-N ΔN | Niveau piezométrique "N" | Ecart R-N ΔN | Niveau piezométrique "N" | Ecart R-N ΔN | Niveau piezométrique "N" | Ecart R-N ΔN | Niveau piezométrique "N" | Ecart R-N ΔN | Niveau piezométrique "N" | Ecart R-N ΔN |  |
| P1                                  |       | 947.25                   | 33.35        | 948.30                   | 22.30        | 950.10                   | 24.10        | 950.60                   | 22.90        |                          |              |                          |              |  |
| P2                                  |       | 947.60                   | 33.00        | 948.70                   | 21.90        | 950.60                   | 23.60        | 951.50                   | 22.00        |                          |              |                          |              |  |
| P3                                  |       | 948.10                   | 32.50        | 949.00                   | 21.60        | 951.30                   | 22.90        | 952.00                   | 21.50        |                          |              |                          |              |  |
| P4                                  |       | 949.20                   | 31.40        | 949.60                   | 21.00        | 951.70                   | 22.50        | 952.10                   | 21.40        |                          |              |                          |              |  |
| OPÉRATEUR                           |       | AIMAR                    |              | SIMON                    |              | AIMAR                    |              | AIMAR                    |              |                          |              |                          |              |  |
| OBSERVATIONS                        |       |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |                          |              |  |



# RELEVÉ DES SOUS-PRESSIONS

N° MESURE  
**6**

| NO. DE L'OUVRAGE | GR PH | N° | ANNÉE | DATE |
|------------------|-------|----|-------|------|
|                  |       |    | 196   |      |

NOM ENTREPRISE  
**SOFER**  
 COTE REFEREE **448.50**  
 PRECIPITATIONS  
 RELEVILLON ENTRE 2 MESURES **12mm 5**  
 TEMPERATURE  
 ENTRE 2 MESURES { MAXI. **8°**  
 MINI. **3°**

| POINTS DE MESURE | MEURIS | Cote de l'ouvrage |        | OBSERVATIONS |
|------------------|--------|-------------------|--------|--------------|
|                  |        | avant             | après  |              |
| F1               | 10,40  | 130,50            | 120,10 |              |
| F2               | 12,55  | 125,40            | 122,85 |              |
| F3               | 8,20   | 120,60            | 120,40 |              |
| F4               | 9,30   | 127,00            | 122,70 |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |
|                  |        |                   |        |              |

RELEVÉ DES SOUS-PRESSIONS