

Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 19 (1974)

Artikel: Observations extensométriques sur des oeuvres en béton de grande épaisseur (barrage de Place Moulin)

Autor: Goffi, Luigi

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-17546>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Observations extensométriques sur des oeuvres en béton de grande épaisseur (barrage de Place Moulin)

Strain Measurements on Thick Concrete Structures (Place Moulin Dam)

Dehnungsmessungen auf Betonwerken Grosser Dicke (Place Moulin Staudamm)

Par Luigi GOFFI, Professeur de Technique des Constructions à l'Ecole Polytechnique de Turin, Italie

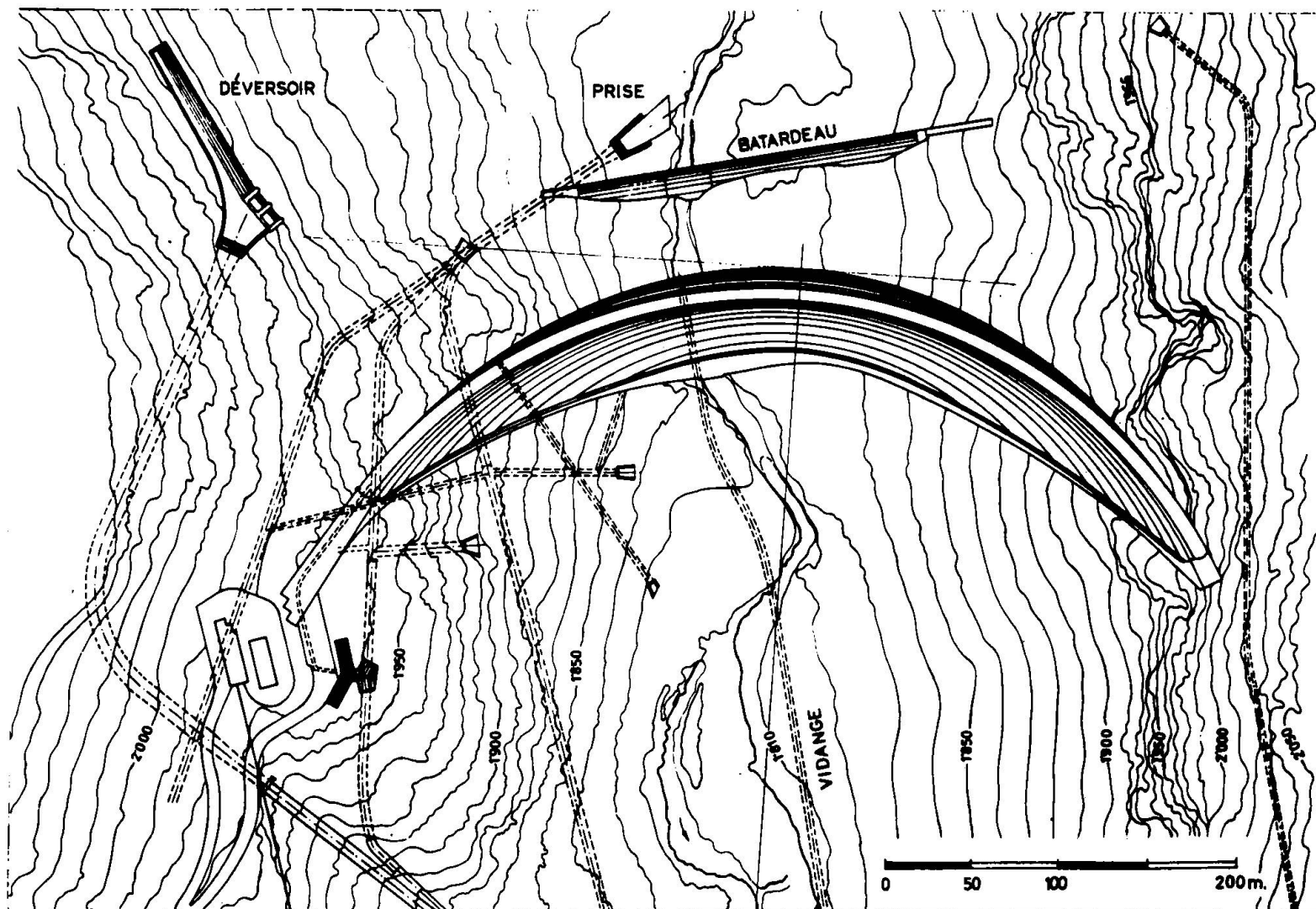
1. - L'étude suivante se propose de développer quelques considérations sur l'interprétation de lectures extensométriques dans des ouvrages en béton de grande épaisseur (barrages), avec l'analyse, à titre d'exemple, de certaines mesures se référant au barrage de Place Moulin (°) en Vallée d'Aoste.

Les instruments pris en examen sont deux rosettes (n° 25 et 26 en fig. 2) placées au niveau 1908 m, dont l'on dispose des lectures pendant deux années après le bétonnage.

Chaque rosette est équipée par sept extensomètres linéaires électroacoustiques Galileo (jauge 300 mm., sensibilité en ϵ $0,33 \times 10^{-5}$), préalablement orientés suivant des directions établies et noyées dans le béton.

(°)- Le barrage de Place Moulin (figs. 1, 2, 3), bâti pendant les années 1959-64, offre les caractéristiques suivantes :

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| - hauteur maximale du barrage | 1970 m s.n.d.m. |
| - niveau de la retenue | 1968 m s.n.d.m. |
| - niveau du lit | 1840 m s.n.d.m. |
| - type poids-voûte | |
| - retenue maximale | 105.000.000 mc |
| - cubage de béton | 1.510.000 mc |



2. FIG. 1 Plan du barrage de Place Moulin. - Grundplan des Place Moulin Staudammes. - Place Moulin dam plan.

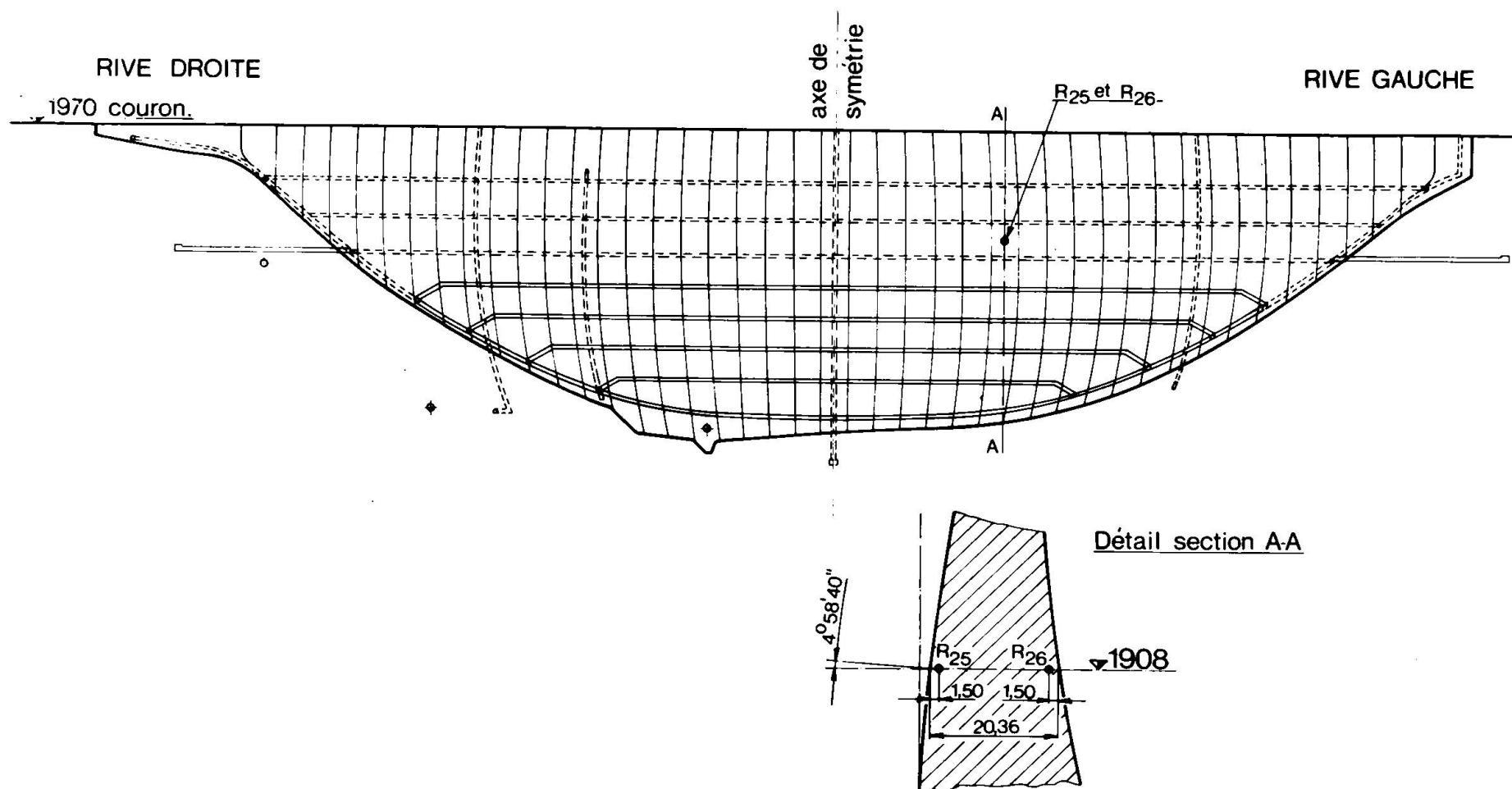


FIG. 2 Développement de la surface moyenne. - Abwicklung der Mittelfläche. - Development of the middle surface.

L'orientation des extensomètres est définie par rapport à un système d'axes orthogonaux x, y, z , où l'axe z est en direction verticale, l'axe y en direction radiale aux arcs dans le plan horizontal, l'axe x en direction tangentielle aux arcs toujours dans le plan horizontal.

Dans le plan x, z nous disposons de 4 extensomètres (fig. 4) dont deux selon les axes x et z , deux selon les directions à 45° (axes xz et $\bar{x}z$). Nous appellerons $\epsilon'_x, \epsilon'_z, \epsilon'_{xz}, \bar{\epsilon}'_{xz}$ les déformations mesurées dans les directions $x, z, xz, \bar{x}z$.

De la même façon nous disposons dans le plan radial y, z des déformations unitaires ϵ'_y, ϵ'_z (déjà mesurée dans le plan x, z), $\epsilon'_{yz}, \bar{\epsilon}'_{yz}$.

2. - Les sept extensomètres ci-dessus ne permettent pas la définition complète de l'état de contrainte dans le point, puisque l'on ne dispose pas d'une mesure extensométrique dans une direction qui ne soit pas parallèle aux plans x, z et y, z .

Les informations au contraire sont surabondantes sur les plans x, z et y, z (4 directions contre les 3 strictement nécessaires).

En effet la disposition des extensomètres avait le but de réaliser deux rosettes planes respectivement dans les plans x, z et y, z , puisque l'on disposait en chaque plan de 4 données, susceptibles d'être compensées.

En partant de ces données l'on a déterminé les valeurs des contraintes dans les deux plans.

3. - Les lectures extensométriques peuvent être aussi interprétées comme se référant à une rosette à trois dimensions, bien que la définition complète de l'état de contrainte ne soit pas possible, comme nous avons déjà remarqué, en référence à la disposition des extensomètres.

En écrivant les équations qui relient les données théoriques et expérimentales de l'état de déformation, nous obtenons des relations différentes si nous égalons les expressions (théoriques et expérimentales) des dé-

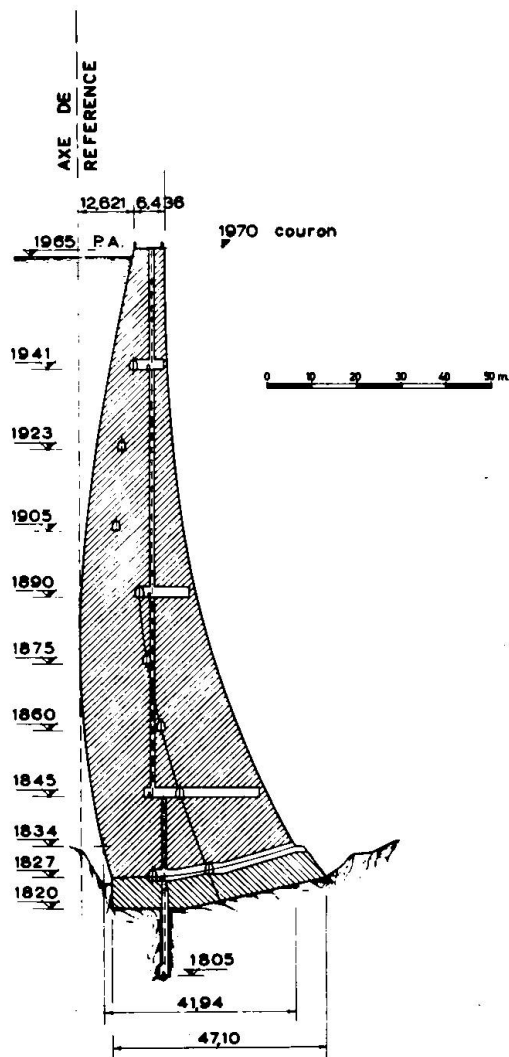


FIG. 3 Coupe verticale.
Querschnitt.
Vertical section.

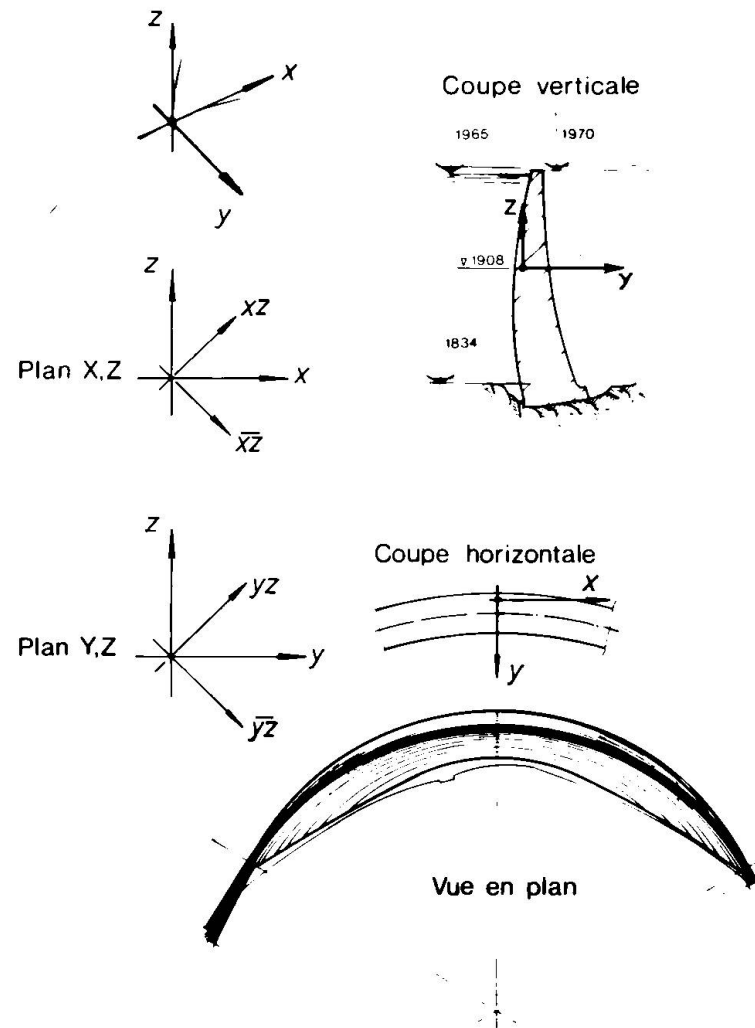


FIG. 4 Position des axes x, y, z .
Stellung der Achse x, y, z .
Position of the axes x, y, z .

6.

formations linéaires suivant les différentes directions (c'est à dire $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_{xz}, \bar{\varepsilon}_{xz}, \varepsilon_{yz}, \bar{\varepsilon}_{yz}$), ou bien les expressions des composantes (ε, γ) du tenseur de déformation.

Dans le premier cas nous écrivons (avec accent nous indiquons les déformations mesurées):

$$\begin{aligned}\varepsilon'_x &= \varepsilon_x \\ \varepsilon'_y &= \varepsilon_y \\ \varepsilon'_z &= \varepsilon_z \\ \varepsilon'_{xz} &= \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} [\varepsilon_x + \varepsilon_z + \gamma_{xz}] \\ \bar{\varepsilon}'_{xz} &= \bar{\varepsilon}_{xz} = \frac{1}{2} [\varepsilon_x + \varepsilon_z - \gamma_{xz}] \\ \varepsilon'_{yz} &= \varepsilon_{yz} = \frac{1}{2} [\varepsilon_y + \varepsilon_z + \gamma_{yz}] \\ \bar{\varepsilon}'_{yz} &= \bar{\varepsilon}_{yz} = \frac{1}{2} [\varepsilon_y + \varepsilon_z - \gamma_{yz}]\end{aligned}\tag{1}$$

Dans le deuxième cas:

$$\begin{aligned}\varepsilon'_x &= \varepsilon_x \\ \varepsilon'_y &= \varepsilon_y \\ \varepsilon'_z &= \varepsilon_z \\ \gamma'_{xz} &= 2 \varepsilon'_{xz} - (\varepsilon'_x + \varepsilon'_z) = \gamma_{xz} \\ \gamma'_{xz} &= -2 \bar{\varepsilon}'_{xz} + (\varepsilon'_x + \varepsilon'_z) = \gamma_{xz} \\ \gamma'_{yz} &= 2 \varepsilon'_{yz} - (\varepsilon'_y + \varepsilon'_z) = \gamma_{yz} \\ \gamma'_{yz} &= -2 \bar{\varepsilon}'_{yz} + (\varepsilon'_y + \varepsilon'_z) = \gamma_{yz}\end{aligned}\tag{2}$$

Nous sommes donc en présence de deux systèmes à 7 équations en 5 inconnues, susceptibles d'être traités à l'aide de procédés de compensation. Mais à différence du 1^o système, dans le 2^o les inconnues $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, sont immédiatement définies à l'aide des trois premières équations et le système est donc réduit aux quatre der-

nières équations:

$$\begin{aligned}
 2 \bar{\epsilon}'_{xz} - (\epsilon'_x + \epsilon'_z) &= \gamma_{xz} \\
 -2 \bar{\epsilon}'_{xz} + (\epsilon'_x + \epsilon'_z) &= \gamma_{xz} \\
 2 \bar{\epsilon}'_{yz} - (\epsilon'_y + \epsilon'_z) &= \gamma_{yz} \\
 -2 \bar{\epsilon}'_{yz} + (\epsilon'_y + \epsilon'_z) &= \gamma_{yz}
 \end{aligned}
 \tag{2'}$$

surabondantes par rapport aux deux inconnues γ_{xz} , γ_{yz} .

L'élaboration des deux systèmes à l'aide d'un critérium de compensation aboutira donc à des résultats différents dans les deux cas.

4. - La compensation se propose la recherche des solutions de compromis les plus croyables d'après un certain type d'interprétation des causes d'incompatibilité des équations surabondantes, c'est à dire des causes des erreurs expérimentales.

A titre d'exemple l'on a employé la méthode des moindres carrés par laquelle un système de m équations, en n inconnues ($m > n$), peut être réduit à un système de n équations et n inconnues, prémultipliant les deux membres de l'équation matricielle du système par la transposée de la matrice des coefficients des inconnues.

Dans notre cas particulier cette méthode pose plusieurs réserves parce que l'élaboration de données expérimentales mesurées en différentes directions (et dont la distribution n'est pas de type gaussien) ne semble pas tout à fait correcte.

L'on doit aussi remarquer la différente confiance des mesures de grandeurs obtenues immédiatement à l'aide d'extensomètres orientés suivant les directions mêmes ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) et de grandeurs obtenues en forme indirecte, soumises aux hypothèses d'homogénéité du matériau et de continuité des déformations.

L'on doit observer que dans le cas du système (2) la méthode des moindres carrés établit pour les deux seules inconnues les valeurs suivantes:

$$\gamma_{xz} = \varepsilon'_{xz} - \bar{\varepsilon}'_{xz}$$

$$\gamma_{yz} = \varepsilon'_{yz} - \bar{\varepsilon}'_{yz}$$

d'après la simple moyenne des 4 dernières equations.

Dans le cas particulier d'écriture de nos systèmes l'application des moindres carrés donne différentes valeurs pour les ε et les mêmes valeurs pour les γ . En termes de contraintes cela signifie que les σ seront différentes dans les deux cas, tandis que les τ seront les mêmes.

5. - Après la connaissance des ε, γ l'on peut établir les valeurs des contraintes σ, τ à l'aide des relations de Hooke:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 2G \varepsilon_x + \lambda \vartheta & \tau_{xy} &= G \gamma_{xy} \\ \sigma_y &= 2G \varepsilon_y + \lambda \vartheta & \tau_{xz} &= G \gamma_{xz} \\ \sigma_z &= 2G \varepsilon_z + \lambda \vartheta & \tau_{yz} &= G \gamma_{yz}\end{aligned}$$

avec

$$\lambda = \frac{2\nu G}{1-2\nu} \quad \vartheta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z.$$

Mais nous ici pouvons établir uniquement les valeurs de 5 contraintes, tandis que demeure inconnue la sixième, c'est à dire:

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} = \left[2 \varepsilon_{xy} - (\varepsilon_x + \varepsilon_y) \right] \cdot G$$

puisque nous ne disposons pas de la valeur de ε_{xy} par faute d'un extensomètre convenable.

Toutefois l'on peut raisonnablement supposer que les valeurs de τ_{xy} soient petites, d'après les raisons suivantes:

- 1) les rosettes sont très proches aux surfaces (d'extrados et d'intrados respectivement) et l'angle de l'extensomètre vertical avec la tangente à l'extrados de la section de la console est très petit ($4^{\circ}58'$);

- 2) les rosettes sont proches à ce que l'on peut appeler en certain sens axe de symétrie du barrage.

L'hypothèse $\tau_{xy} = 0$ en effet nous entraîne à considérer les σ_x et σ_y comme "contraintes principales secondaires" par rapport à l'axe z. Pour les mêmes raisons l'on peut prévoir que aussi les valeurs de τ_{xz} et τ_{yz} soient très petites par rapport aux σ_x , σ_y , σ_z , ce qui semble être confirmé par les élaborations des données expérimentales; en conséquence les directions x, y, z seraient pratiquement les axes principaux dans le point.

6. - Les diagrammes de fig. 5 et 6 nous donnent les valeurs des contraintes élaborées à l'aide de la méthode des moindres carrés d'après les mesures des déformations dans les deux cas des systèmes (1), (2) en posant $E = 240.000 \text{ Kg/cm}^2$, $\nu = 0,2$ et donc $G = 100.000 \text{ Kg/cm}^2$.

Les diagrammes de τ_{xz} et τ_{yz} dans les deux cas sont les mêmes, comme on a déjà eu l'occasion de remarquer.

Les lectures extensométriques débutent à la date du 14.8.1963, c'est à dire 7 jours après la pose des instruments et le bétonnage (qui en correspondance aux emplacements des rosettes 25 et 26 a eu lieu le 7.8.1963).

Le zéro instrumental a été donc établi le 14.8.1963.

Les diagrammes des contraintes doivent être associés aux diagrammes indiquant le niveau de bétonnage et le niveau de l'eau qui augmentait progressivement avec la progression de la construction du barrage (fig. 7).

Bien sûr l'interprétation des déformations du béton en termes de contraintes élastiques est arbitraire; particulièrement dans les premiers mois après le bétonnage, à cause du retrait et du fluage.

En tout cas, aussi si nous préférons nous borner à l'examen des déformations, sans les traduire en contraintes, nous pouvons affirmer, avec beaucoup de vraisemblance, que les directions x, y, z, coïncident avec les axes principaux de l'état de déformation, et donc aussi de contrainte dans nos rosettes, puisque les valeurs des τ_{xz} et τ_{yz} se sont avérées très petites, par rapport aux σ , ce qui permet de supposer très petite aussi la valeur de l'inconnue τ_{xy} .

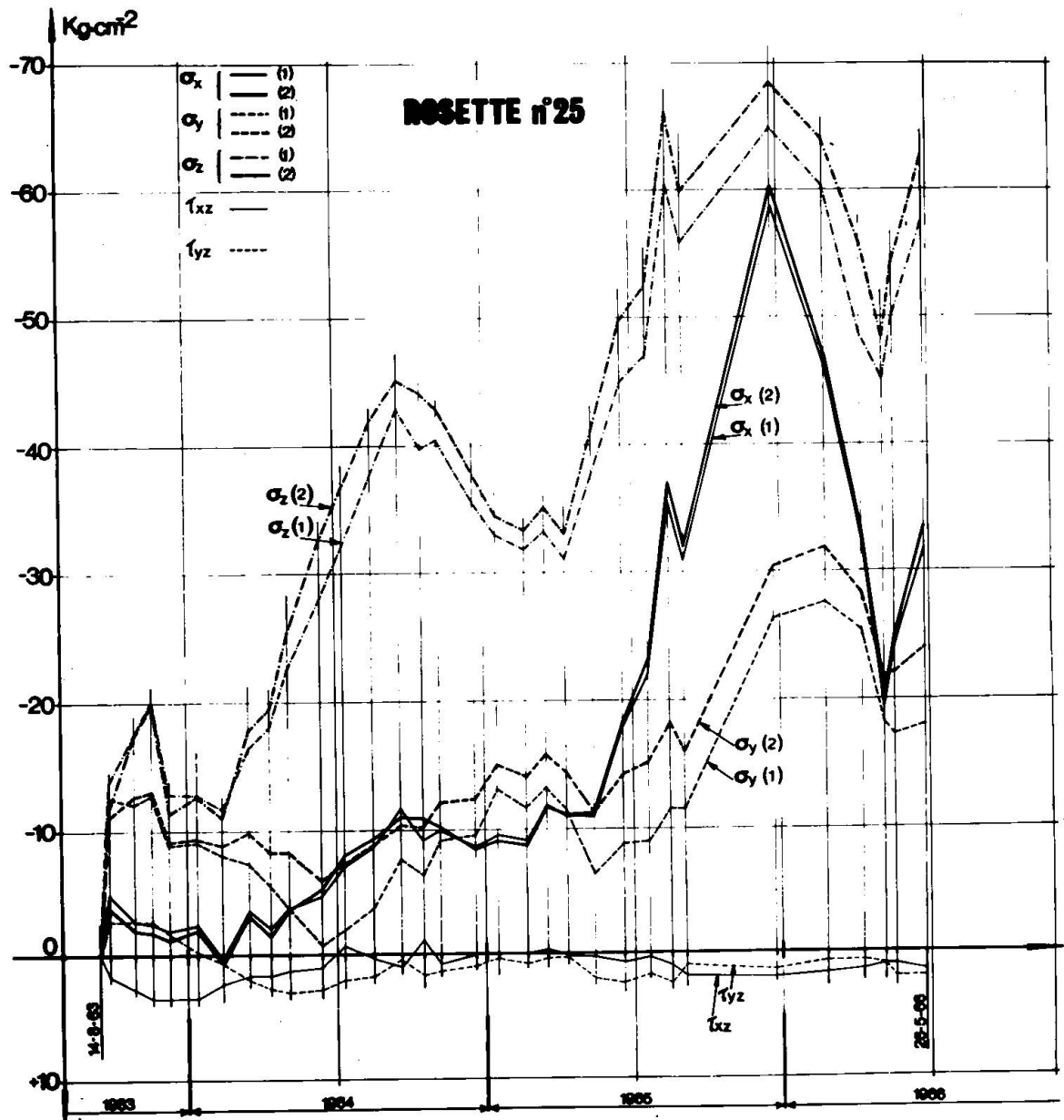


FIG. 5

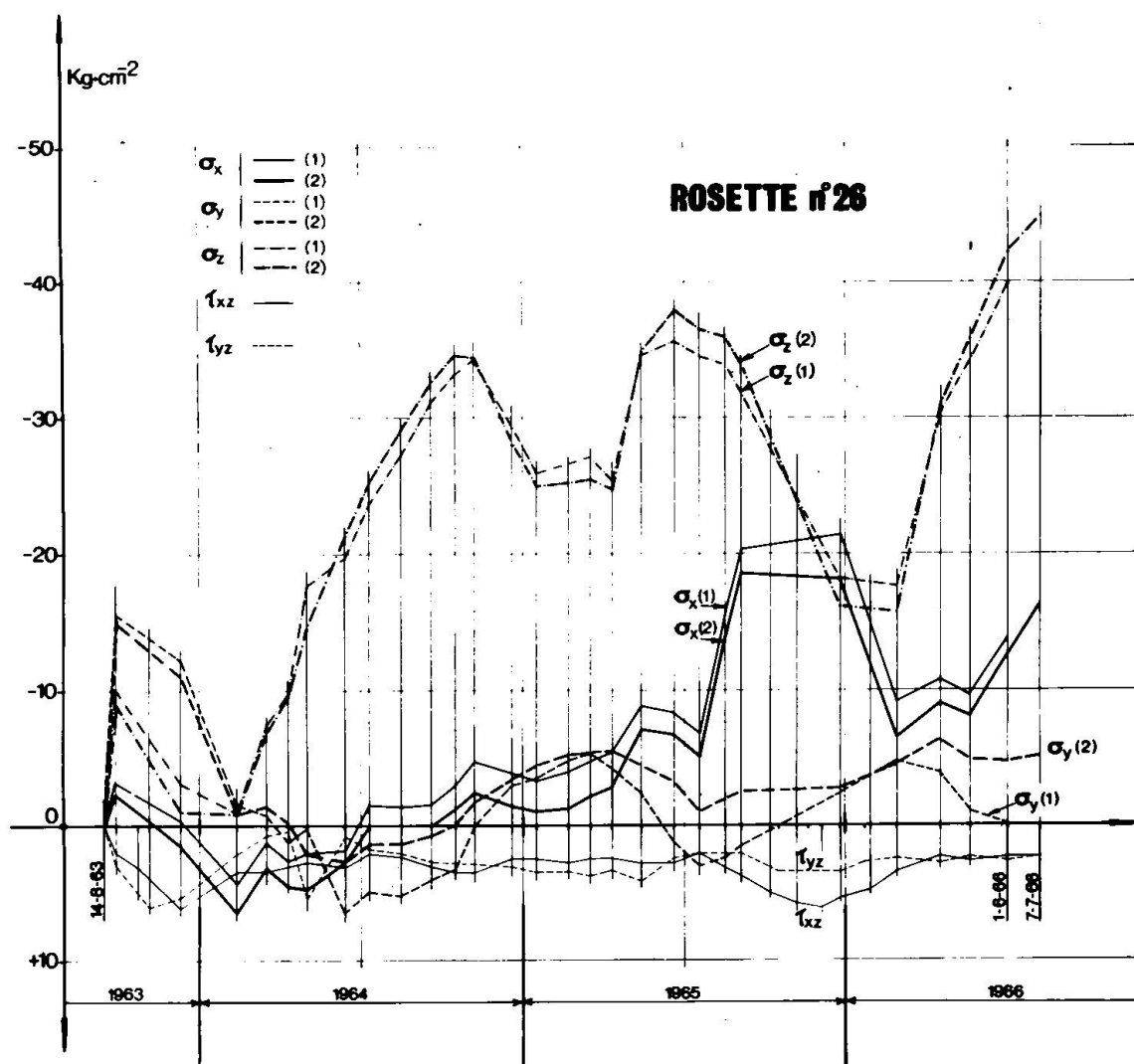


FIG. 6

FIGG. 5 - 6

Diagrammes des contraintes d'après les élaborations des données extensométriques suivant les systèmes (1) et (2).

Diagramme der Spannungen Infolge der Bearbeitung der Dehnungsmessungen nach Systemen (1) und (2).

Diagrams of stresses from the elaboration of strain measurements according (1) and (2) systems.

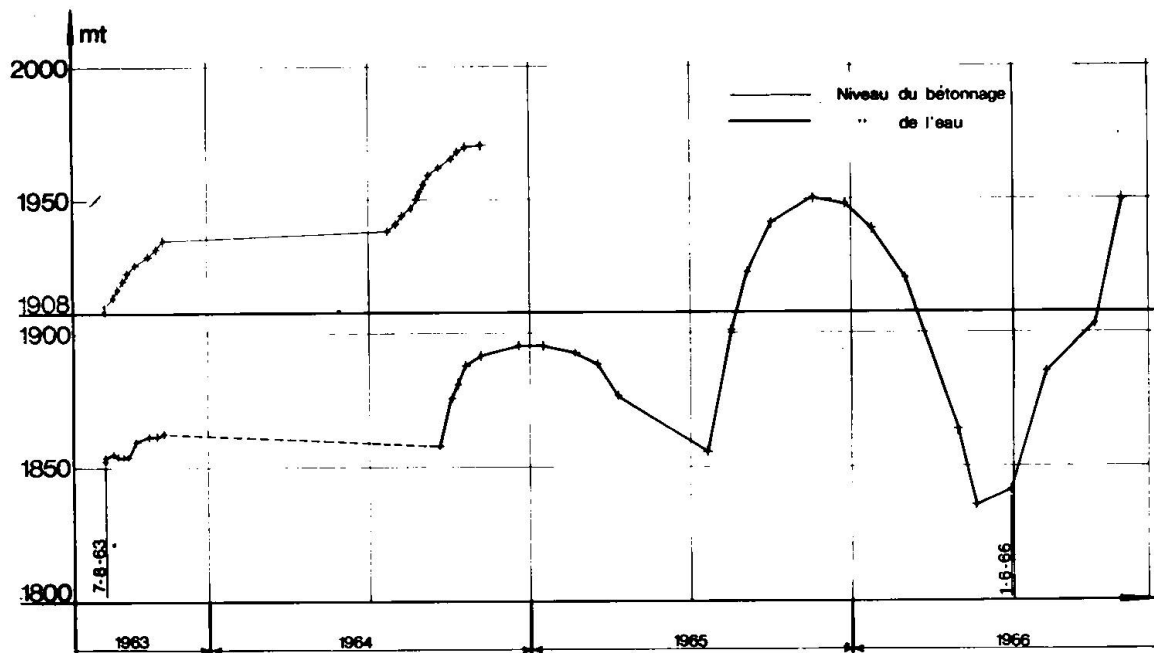


FIG. 7 Diagrammes des niveaux du bétonnage et de l' eau.
 Diagramme der Höhe der Betonierung und des Wassers.
 Diagrams of concrete casting and water levels.

RESUME

L' étude se propose l' analyse de certaines mesures extensométriques dans le barrage de Place Moulin, avec la discussion des procédés de compensation des rosettes à trois dimensions.

SUMMARY

The values of strains measured in Place Moulin Dam are analysed particularly from the point of view of the compensation of strain rosettes.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Werte einiger Dehnungsmessungen in dem Place Moulin Staudamm werden analysiert aus dem Gesichtspunkt der Kompensation der Messinstrumente.