

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 72 (1946)
Heft: 5

Artikel: Le barrage de la Dixence
Autor: Stucky, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-54617>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 17 francs

Etranger : 20 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 14 francs

Etranger : 17 francs

Prix du numéro :

75 centimes

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; † E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES

Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.

En plus 20 % de majoration de guerre

Rabais pour annonces
répétées.



ANNONCES-SUISSES S.A.

5, rue Centrale
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Le barrage de la Dixence*, par A. STUCKY, professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne (suite). — *L'aménagement de la place du Château, à Nyon*. — DIVERS : *Concours de la Fondation Denzler*. — BIBLIOGRAPHIE. — INFORMATIONS DIVERSES. — SERVICE DE PLACEMENT.

Le barrage de la Dixence

par A. STUCKY,

professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.

(Suite)¹

Observations et mesures effectuées sur le barrage.

I. Dispositifs de mesure.

1. Mesure des températures.

La température du béton varie sous l'influence de deux phénomènes : l'échauffement interne initial résultant de la prise du ciment Portland avec le refroidissement subséquent dû à la déperdition de cette chaleur de prise, et les variations de la température extérieure, c'est-à-dire de l'air et de l'eau en contact avec le barrage. Le premier de ces phénomènes débute sitôt après le gâchage ; il importe donc de suivre l'évolution de la température dès la mise en œuvre du béton. C'est ce qui a été fait pour la base du pilier 13, au moyen de six thermomètres, disposés conformément au dessin de la figure 11 dans l'âme et dans le masque amont, au niveau 2171. Ces thermomètres devaient permettre d'étudier par la suite les effets des variations de la température extérieure sur une région du pilier situé constamment en contre-bas du plan d'eau, qui ne descend jamais au-dessous du niveau 2180.

L'influence des variations de la température extérieure a été plus spécialement étudiée sur le pilier 9, le plus haut du barrage (81,50 m au-dessus du rocher), où cinquante-sept thermomètres ont été répartis, conformément à la figure 12. Quarante et un thermomètres se trouvent dans le pilier 9

proprement dit, soit vingt et un dans le plan médian du pilier onze dans le masque amont et neuf dans le masque aval. Seize thermomètres indiquent les températures au voisinage immédiat du pilier : douze se trouvent dans le pilier 8, à proximité du joint de dilatation ; un contre le parement amont, à la cote 2217,70, exposé alternativement à l'air et à l'eau ; deux à l'intérieur des évidements contre le béton, au niveau 2173, et un, enfin, sur le couronnement du barrage, au niveau 2241. La température de l'air est mesurée d'autre part au moyen d'un thermomètre à maxima et minima, placé au voisinage du pied aval du barrage, à l'abri du soleil et des courants d'air.

Les valeurs indiquées dans les graphiques — figures 16 et 17 — correspondent à la moyenne arithmétique entre les valeurs extrêmes mesurées chaque jour. Les températures des thermomètres des piliers sont relevées vers 8 heures du matin ; elles ne varient pratiquement pas au cours d'une même journée et peuvent être assimilées aux températures moyennes journalières.

Comme pour le barrage de la Jogne, les thermomètres utilisés, fournis par M. le professeur P. Joye de l'Université de Fribourg, sont du type à résistance électrique. Cette résistance est de 108 ohms à la température de 15°.

2. Mesure des déformations.

Les évidements du barrage invitaient tout naturellement à choisir le système des pendules pour mesurer les déplacements des piliers par rapport à leur base. Trois pendules du type Juillard, du poids de 210 kg chacun, sont installés dans les évidements 9-10, 19-20 et 27-28, permettant de mesurer les déformations des trois régions du barrage, de 450, 287 et 140 m de rayon. Leur point d'attache se trouve au niveau 2241,75 — figure 13 —. La position du point de suspension est pratiquement fixe par rapport au sommet du pilier ; on peut

¹ Voir *Bulletin technique* du 16 février 1946, p. 37.

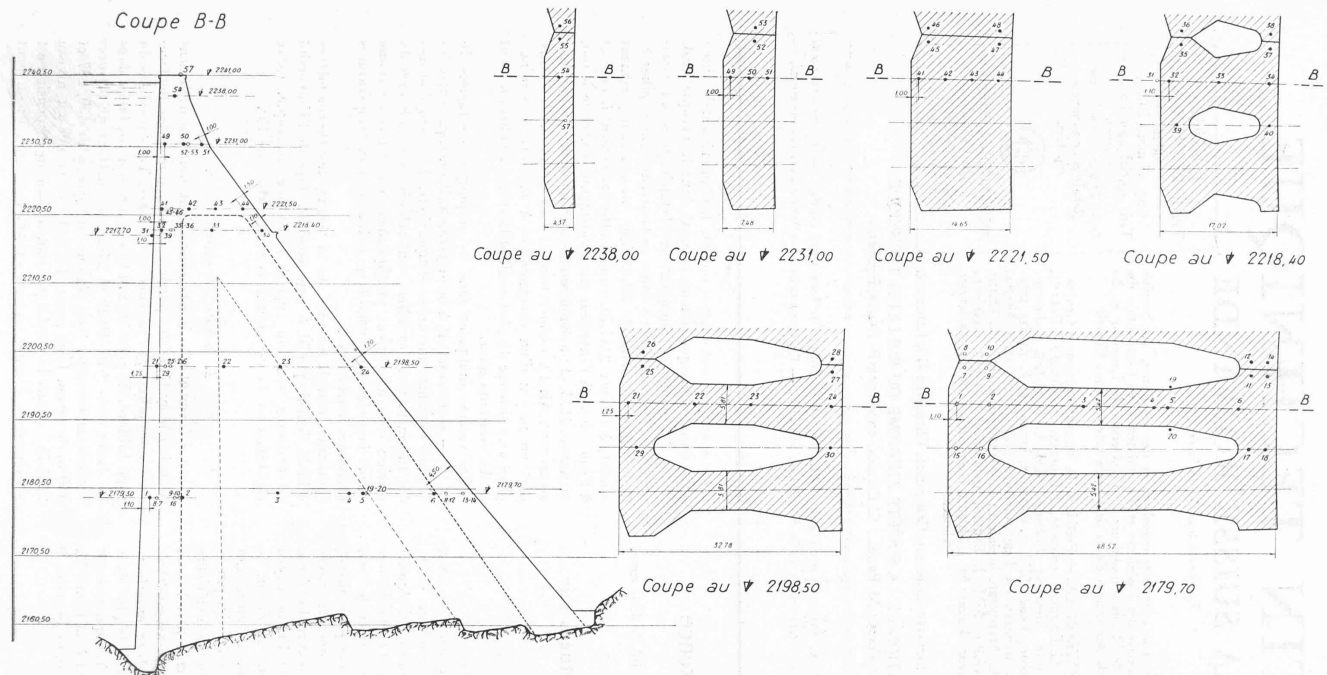


Fig. 12. — Barrage de la Dixence. Situation des thermomètres du pilier 9.

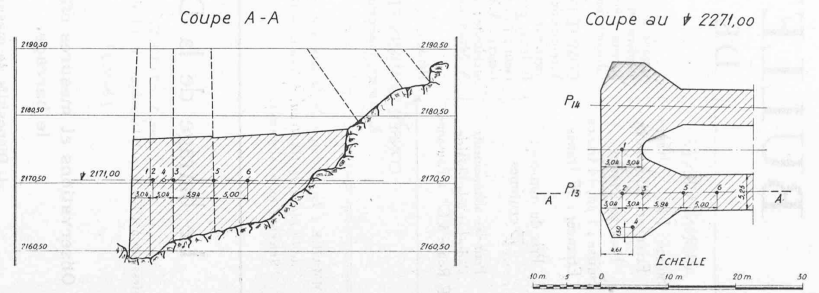


Fig. 11. — Barrage de la Dixence. — Situation des thermomètres du pilier 13.

s'en assurer au moyen d'un dispositif de lecture, formé de deux réglettes graduées, dont une extrémité est taillée en biseau à 45°, comme le montre la figure 14. Pour repérer la position du pendule, il suffit de faire coulisser chaque réglette, qui se déplace devant un vernier fixe, de manière que le biseau arrive en contact avec le fil. Avec ce système, pour obtenir la composante du déplacement dans une certaine direction, amont-aval, par exemple, il est toujours nécessaire de faire les lectures sur les deux réglettes, mais la position du fil est par contre entièrement déterminée par la lecture des deux réglettes au moyen d'un seul vernier. La graduation permet de lire directement le demi-dixième de millimètre; les coordonnées dans le sens amont-aval ou suivant l'axe du barrage se déduisent aisément des lectures par une transformation analytique ou graphique.

Au voisinage de la fondation, une table de lecture est fixée au pilier (et non au rocher). La position relative du pendule est repérée par une tige que l'on place successivement sur deux pivots, fixés à la table, et que l'on amène en contact avec le fil. Dans chacune des deux positions, l'extrémité libre de la tige se trouve en regard d'une simple graduation en millimètres, sans vernier. On obtient ainsi deux coordonnées azimutales du fil; pour les transformer en coordonnées cartésiennes orientées suivant les axes du pilier, la méthode la plus simple consiste à procéder graphiquement, en superposant les deux canevas de coordonnées dessinés à grande échelle. La courbe obtenue en joignant les points de ce graphique correspond à celle que le pendule tracerait lui-même sur la table de lecture s'il était muni d'un stylet. (Voir fig. 26.)

Des réglettes supplémentaires sont destinées à la détermination des flèches au voisinage du sommet des évidements (niveau 2219,20) et vers le milieu de la hauteur du pilier 9 (niveau 2199,20). Ces réglettes intermédiaires, plus simples que celles du sommet, ont été prévues pour donner directement le déplacement du fil dans le sens amont-aval, dans l'hypothèse que le déplacement parallèle à l'axe du barrage serait nul, ou en tous cas négligeable.

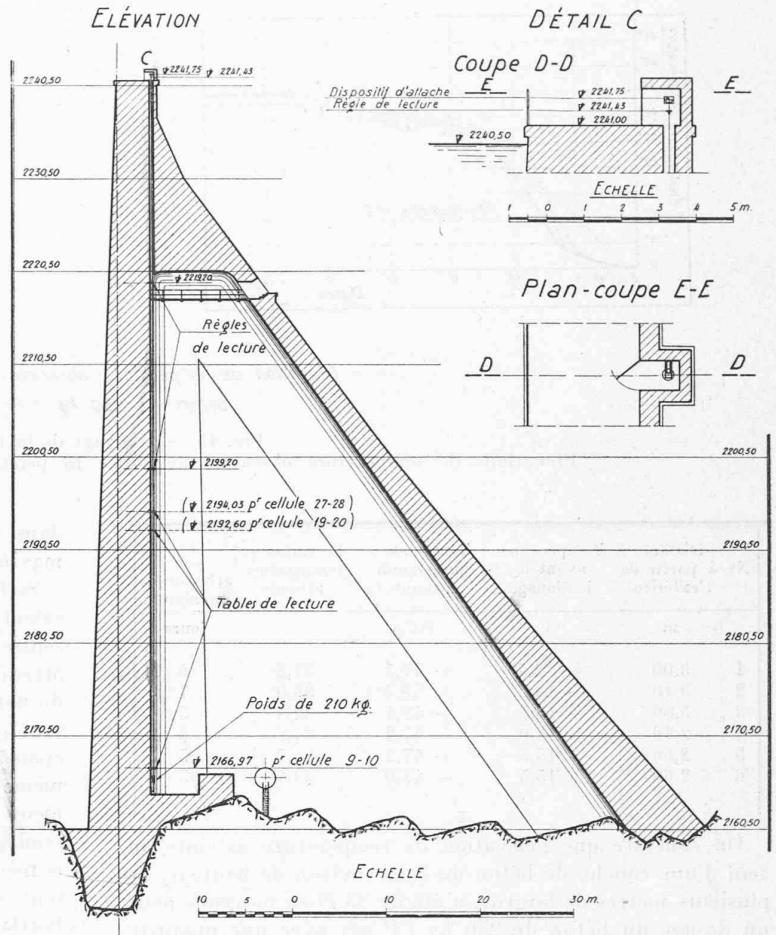


Fig. 13. — Barrage de la Dixence. Disposition des pendules pour la mesure des déplacements.

II. Résultats des mesures.

1. Températures pendant la prise du béton.

Pour les températures relevées au pilier 13, nous possédons les valeurs caractéristiques observées dès les premières heures de la mise en place; elles sont représentées par la figure 15 et récapitulées dans le tableau suivant :

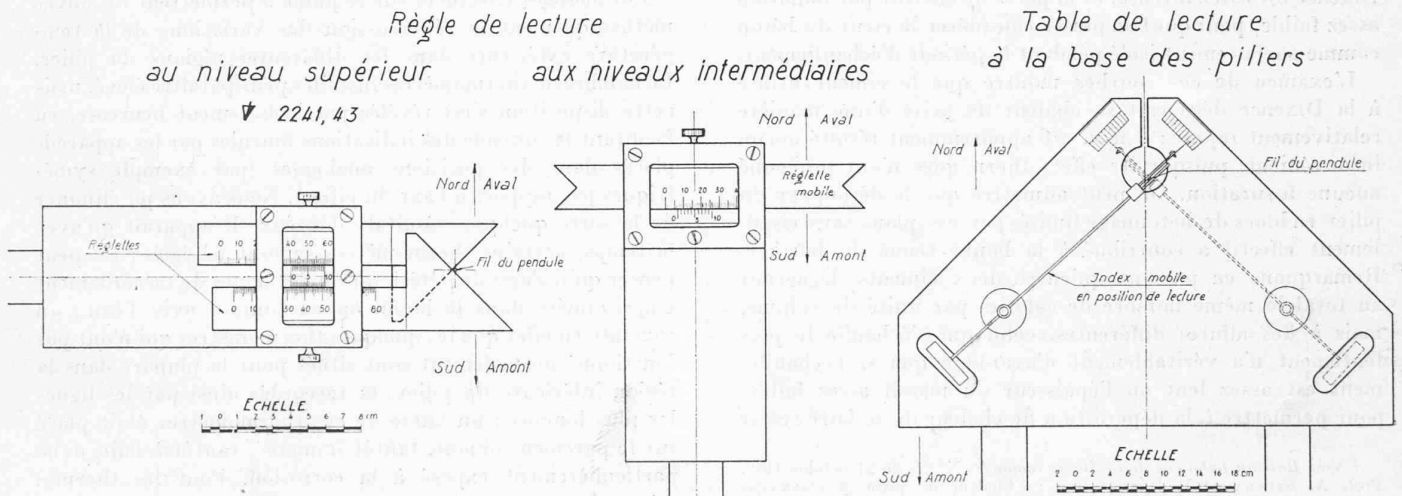
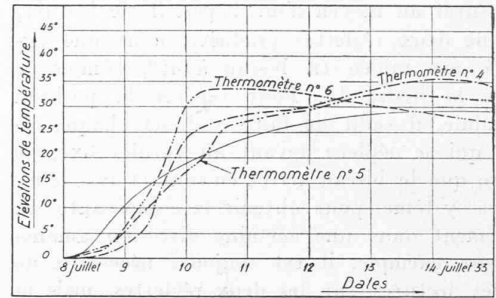
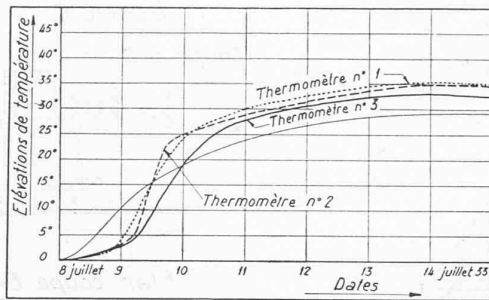


Fig. 14. — Barrage de la Dixence. — Dispositifs de mesure des déplacements.



— Élévation de température observée au laboratoire sur un
béton de 250 kg C.P./m³

Fig. 15. — Barrage de la Dixence.
Élévations de température observées au pilier 13 pendant la phase d'échauffement du béton.

N°	Distance à partir de l'extérieur m	Température avant le bétonnage ° C.	Température maximum atteinte ° C.	Élévation de température atteinte	Temps mis pour atteindre le maximum jours
1	3,00	+ 12,7	+ 47,5	34,8	6
2	3,10	+ 13,5	+ 48,5	35,0	7
3	5,00	+ 15,5	+ 48,4	32,9	5
4	2,10	+ 13,0	+ 47,2	34,2	6
5	2,60	+ 15,5	+ 47,2	31,7	5
6	2,60	+ 15,5	+ 48,9	33,4	5

On constate que l'élévation de température atteinte au sein d'une couche de béton de 3 m environ de hauteur, de plusieurs mètres de largeur, a été de 33,7° en moyenne pour un dosage du béton de 250 kg CP/m³, avec une quantité d'eau de gâchage de 7 % du poids des matériaux secs. Le temps nécessaire pour atteindre ce maximum a été de 5 à 7 jours. Lors de l'étude de bétons de différents ciments au moyen du calorimètre adiabatique¹, nous avons trouvé au laboratoire, avec un ciment Portland suisse ordinaire, une élévation de température d'environ 35° au bout de 7 jours, pour un béton à 250 kg CP/m³, gâché avec 7,1 % d'eau.

La comparaison entre les températures lues sur le chantier et les valeurs mesurées au laboratoire est donnée par la figure 15.

Cette confrontation laisse présumer, ce qu'un calcul montrerait aussi, que l'échauffement du massif observé à la Dixence est assez intense, et la perte de chaleur par radiation assez faible, pour que l'on puisse considérer le cœur du béton comme parfaitement isolé pendant la période d'échauffement.

L'examen de ces courbes montre que le ciment utilisé à la Dixence dégageait sa chaleur de prise d'une manière relativement rapide ; il n'en est apparemment résulté aucun inconvénient, puisque les effets thermiques n'ont provoqué aucune fissuration. On peut admettre que le découpage du pilier en blocs de bétonnage limités par des plans sans cisaillement effectif a contribué à la bonne tenue du barrage. Remarquons en passant qu'entre deux ciments dégageant au total le même nombre de calories par unité de volume, mais à des allures différentes, celui qui s'échauffe le plus lentement n'a véritablement d'avantage que si l'échauffement est assez lent ou l'épaisseur du massif assez faible, pour permettre à la déperdition de chaleur de se faire sentir

¹ Voir *Bulletin technique de la Suisse romande*, N° 21, du 21 octobre 1939. Prof. A. STUCKY et M. DERRON, ing. : « Chaleur de prise et choix des ciments destinés à la construction des barrages ».

dans toute la masse du béton, avant que la température maximum soit atteinte.

Si l'épaisseur du mur est suffisante (4 à 5 m d'après le calcul) pour empêcher la radiation de chaleur de se faire sentir jusqu'au centre du massif, la température maximum atteinte dans les conditions habituelles dépend uniquement du nombre de calories dégagé par kilo de ciment et non de la rapidité avec laquelle cette chaleur se développe ; deux massifs épais exécutés avec deux ciments dégageant au total la même chaleur se trouvent à la fin de la période d'échauffement interne (5 à 6 jours après le gâchage) dans un état semblable : températures pratiquement égales sur les faces et même température sur l'axe. Les contraintes qui en résultent sont pratiquement identiques. Entre deux ciments Portland donnant une même résistance, on choisira donc de préférence pour un barrage celui qui donne au total le moindre dégagement de chaleur ; ce ne sera peut-être pas celui qui s'échauffe le plus régulièrement au cours des 5 à 6 premiers jours. Si l'on jugeait utile de fabriquer un ciment spécial pour barrages, il ne suffirait pas, pour changer les conditions de façon notable, d'améliorer un peu les qualités thermiques du ciment Portland ; il faudrait rechercher une composition donnant, pour une même résistance, un dégagement de chaleur *beaucoup* plus lent, et plus faible au total.

2. Effet des variations de la température extérieure.

a) Fonctionnement des thermomètres.

Les mesures effectuées sur le pilier 9 permettent de suivre méthodiquement la répercussion des variations de la température extérieure dans les différentes régions du pilier. Le nombre de thermomètres installés peut paraître élevé, mais cette disposition s'est révélée particulièrement heureuse, en facilitant le contrôle des indications fournies par les appareils placés dans des positions analogues (par exemple symétriques par rapport à l'axe du pilier). Nous avons pu éliminer de la sorte quelques résultats douteux. Il apparaît qu'avec le temps, certains thermomètres se sont dérégés ; on peut penser qu'il s'agit de détérioration des lignes de raccordement emprisonnées dans le béton ou en contact avec l'eau ; on constate en effet que les quelques thermomètres qui n'ont pas fonctionné normalement sont situés pour la plupart dans la région inférieure du pilier, et raccordés ainsi par les lignes les plus longues ; un autre de ces thermomètres était placé sur le parement amont, tantôt immergé, tantôt à l'air, donc particulièrement exposé à la corrosion. Pour les thermomètres fonctionnant normalement, les écarts maximums cons-

tatés entre trois ou quatre appareils identiquement placés varient de 0,2° à 1,2°. Cette expérience montre qu'il vaut la peine, lors de l'installation des thermomètres, de ne pas lésiner sur leur nombre.

Les résultats des mesures utilisées pour notre étude sont partiellement reproduits dans les figures 16 et 17.

b) Valeurs extrêmes de la température extérieure.

Les maxima et minima atteints par la température moyenne journalière de l'air varient avec les années ; ils ont été de :

- + 15,2° en été 1936 et - 16° en hiver 1936/37
- + 20,5° en été 1937 et - 18° en hiver 1937/38
- + 17° en été 1938 et - 13° en hiver 1938/39
- + 15° en été 1939 et - 16° en hiver 1939/40
- + 22° en été 1940 et - 12° en hiver 1940/41
- + 24° en été 1941 et - 12° en hiver 1941/42
- + 23° en été 1942 et - 10° en hiver 1942/43
- + 26° en été 1943 et - 14° en hiver 1943/44

L'allure générale des variations de température est celle d'une sinusoïde dont le maximum se trouve au mois de juillet et le minimum en janvier.

c) Variations de température à l'intérieur du béton.

Les thermomètres situés à 1,20 m du parement aval (par exemple les numéros 13, 14 et 18) sont absolument insensibles aux variations quotidiennes de la température extérieure ; les variations qui s'étendent sur trois ou quatre jours arrivent à peine à les influencer. A 1,20 m du parement, les thermomètres sont donc nettement à l'abri des variations journalières et semblent à la limite de la zone d'influence des variations hebdomadaires. Il serait intéressant, dans un futur ouvrage, de mesurer les températures au voisinage du parement, pour contrôler la profondeur de la zone soumise à l'effet des variations journalières. Cette question présente un intérêt particulier pour le choix de l'épaisseur du revêtement éventuel de moellons. La région du parement, soumise à des alternances quotidiennes d'échauffement et de refroidissement, donc à des dilatations et des contractions répétées, peut avoir tendance à se désolidariser de la masse du béton, pratiquement exempte de déformations. Cette tendance serait aggravée si la limite de la zone influencée correspondait au joint entre la maçonnerie et le béton.

En vue de dissocier, dans une étude ultérieure, les déformations dues aux variations de température de celles qui proviennent de la poussée de l'eau, nous avons considéré plus spécialement les états thermiques aux moments où le niveau du lac repasse à des cotes identiques (2190 et 2230). Les courbes isothermes correspondant à l'une de ces époques, prise comme exemple, sont reproduites dans la figure 18. On en peut déduire les variations de température entre deux dates déterminées, par exemple celle où le lac est à la même cote, ou au contraire au cours de périodes où le lac a subi une même fluctuation.

Les figures 19 à 21 donnent les lignes d'égale variation de température dans un exemple de chacun de ces cas.

Si l'on examine les températures des thermomètres (1,7 et 15 ; 2, 9 et 16 ; 6, 11 et 12), le premier appareil de chaque groupe étant placé dans l'axe de l'âme et les deux autres à peu près dans l'axe d'une cellule, on constate que la présence de l'évidement n'influence pas sensiblement les thermomètres placés en face d'une cellule ; les températures se répartissent dans les masques comme si le massif était plein.

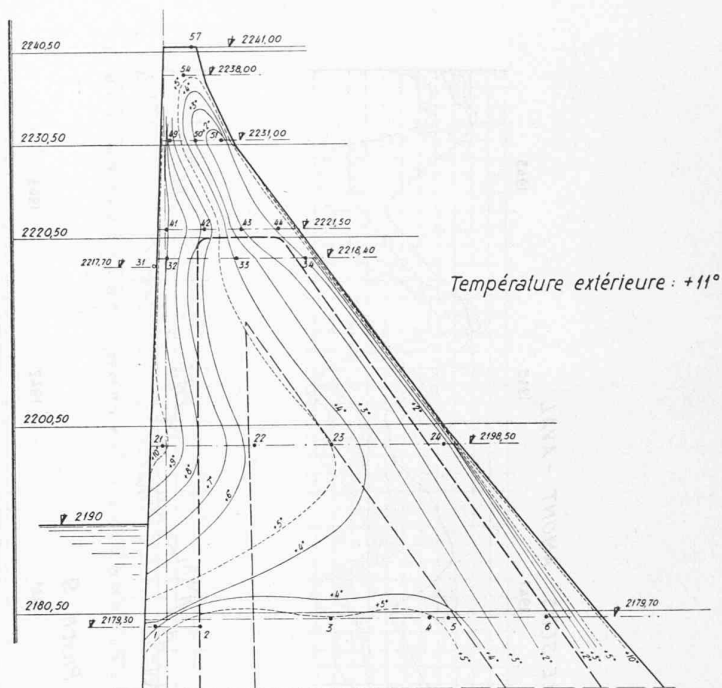


Fig. 18. — Barrage de la Dixence. Isothermes dans le plan axial du pilier 9, le 7 juin 1938.

La figure 22 représente les lignes d'égale amplitude des variations de températures dans le plan médian du pilier, au cours de l'année 1941, choisie comme exemple. Tandis que les parements subissent fortement l'influence des variations de la température extérieure, l'amplitude des variations diminue rapidement vers l'intérieur des têtes ; dans la plus grande partie de l'âme, malgré l'épaisseur relativement faible du béton et son contact avec l'air des cellules, l'écart maximum entre les températures extrêmes n'est que de 2°, et même 1° dans la partie inférieure du pilier. La température de l'air de la cellule 9-10, au droit du thermomètre 20 (naissance du gousset aval), varie au maximum de 2° au cours d'une même année.

Les lectures faites au pilier 13 montrent qu'au voisinage de la fondation, à un niveau constamment au-dessous du plan d'eau, la température de la tête amont est pratiquement constante. Au cours d'une même année, l'amplitude totale des variations n'a pas dépassé 2° et les températures tendent à se stabiliser à une valeur sensiblement constante et uniforme. Les mesures effectuées au cours de quatre années ont en effet donné les résultats suivants :

Amplitude maximum des températures observées au pilier 13.

Années	N° 1		N° 2		N° 3		N° 4		N° 5		N° 6	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
1937	4,9	4,0	5,0	4,0	4,9	3,7	4,2	2,2	4,5	3,5	4,7	3,5
1938	5,2	4,0	5,3	4,0	4,9	3,7	4,5	2,5	3,8	3,5	3,8	3,5
1939	5,2	3,5	5,4	3,8	4,8	3,4	4,6	3,2	4,1	2,9	4,2	2,9
1940	4,7	3,3	4,8	3,3	4,4	3,2	3,9	2,5	3,9	3,1	3,9	2,5

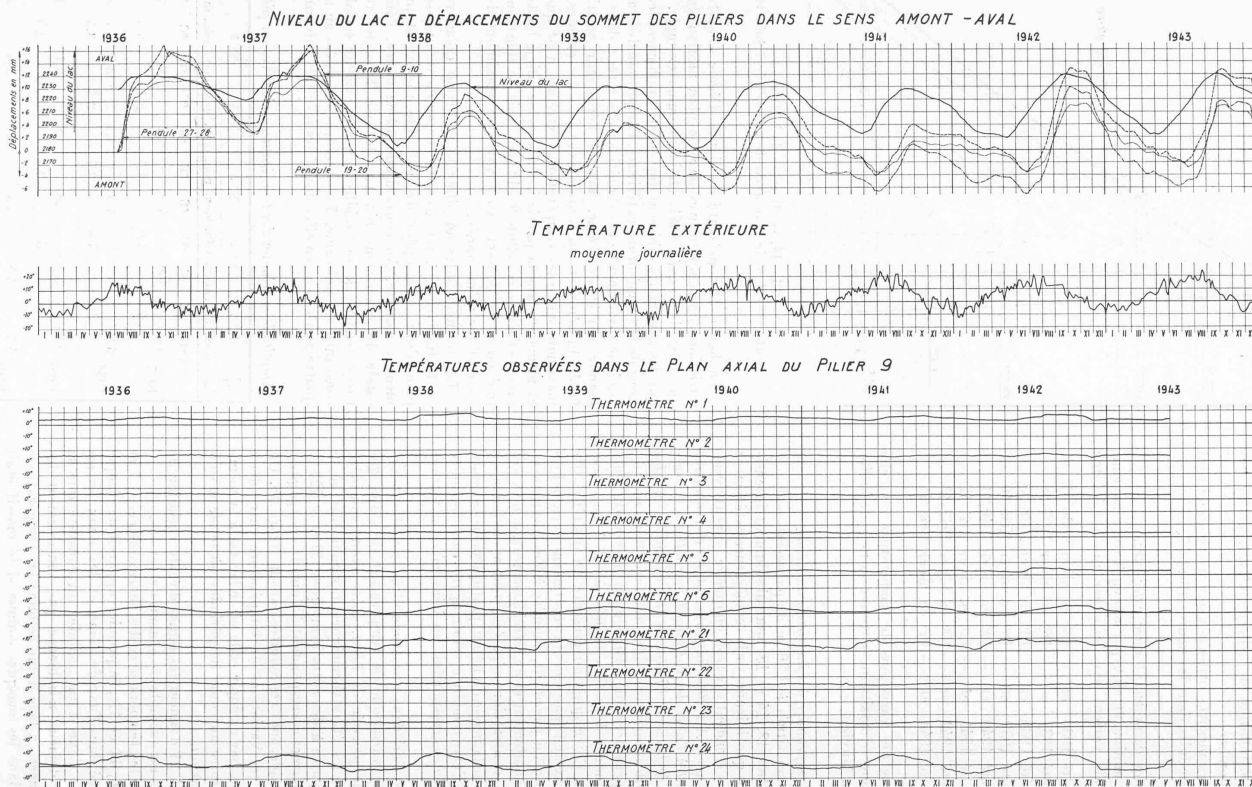


Fig. 16. — Barrage de la Dixence.
Résultats des mesures de température et de déformation effectuées de 1936 à 1943.

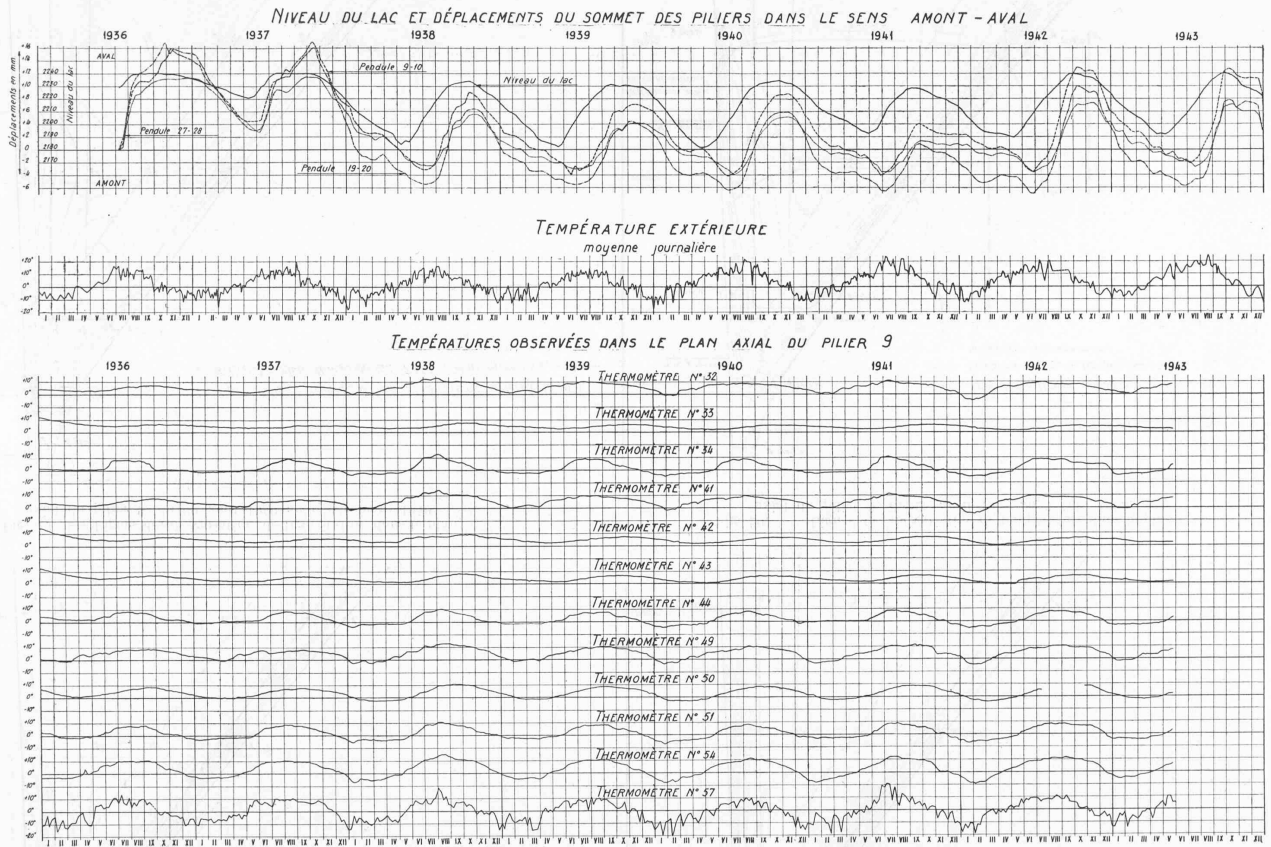


Fig. 17. — Barrage de la Dixence.
Résultats des mesures de température et de déformation effectuées de 1936 à 1943.

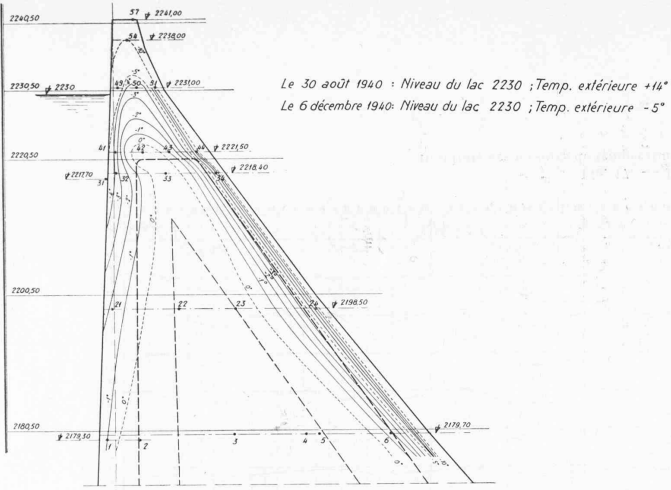


Fig. 19. — Lignes d'égale variation de température dans le plan axial du pilier 9, du 30 août 1940 au 6 décembre 1940.

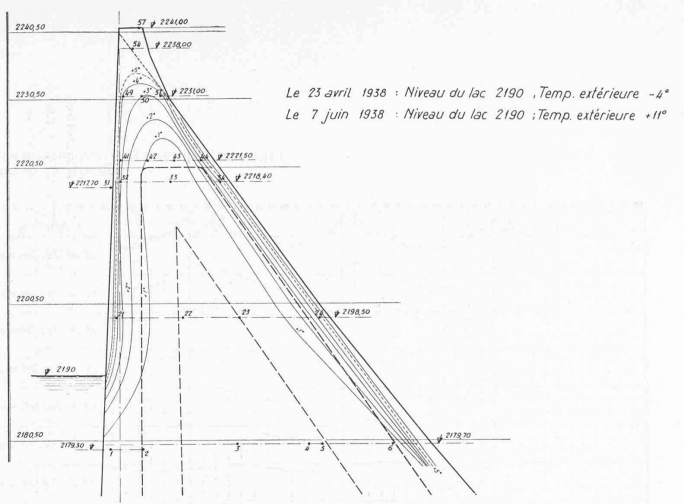


Fig. 20. — Lignes d'égale variation de température dans le plan axial du pilier 9, du 23 avril 1938 au 7 juin 1938.

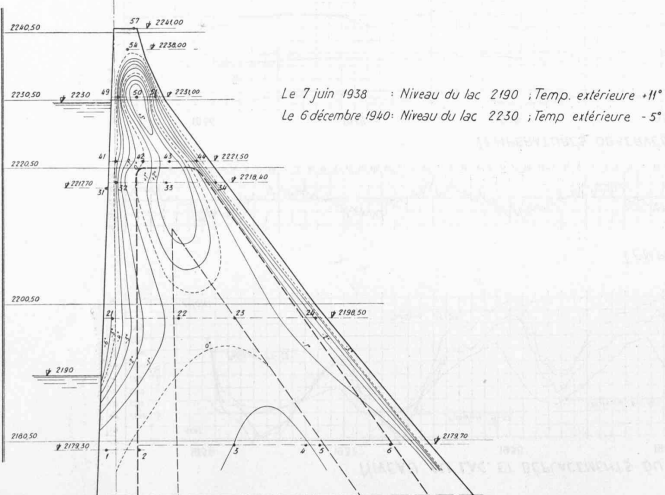


Fig. 21. — Lignes d'égale variation de température dans le plan axial du pilier 9, du 7 juin 1938 au 6 décembre 1940.

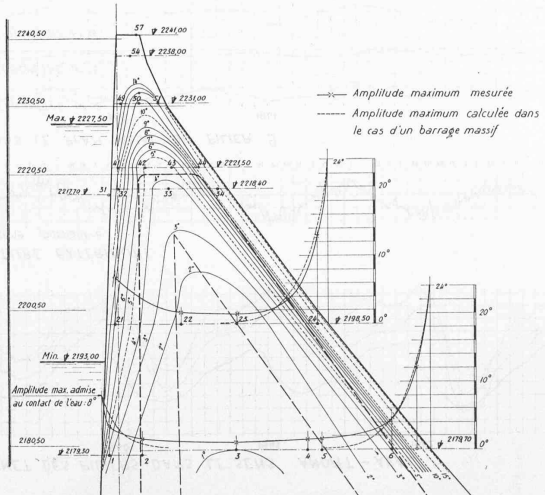


Fig. 22. — Lignes d'égale amplitude maximum des variations de température annuelles, pilier 9. — Année 1941.

d) *Déphasage des variations de température annuelles.*

Comme la température extérieure, la température à l'intérieur du béton varie, en première approximation, suivant une sinusoïde de période égale à une année, mais avec un déphasage d'autant plus grand que l'on se trouve plus loin du parement.

D'après les résultats des mesures, on peut, à l'intérieur du massif, évaluer comme suit le déphasage de différents thermomètres :

Thermomètres	Distance au parement	Epoque du maximum	Déphasage
Extérieur	—	15 juillet	—
12,—14,—18	1,20 m	15 août	1 mois
11	3,10 m	31 août	1 1/2 mois
6	4,50 m	30 septembre	2 1/2 mois
5	12,40 m	30 novembre	4 1/2 mois
4	14,10 m	30 novembre au 31 décembre	4 1/2 mois à 5 1/2 mois

e) *Comparaison entre les températures observées, et les températures calculées dans l'hypothèse d'un mur massif d'épaisseur infinie.*

Il ressort des observations que pour un barrage évidé dont les piliers ont les proportions de ceux de la Dixence, les variations annuelles de la température extérieure ne se répercutent pas à l'intérieur d'une manière sensiblement différente de ce qu'on observerait pour un barrage massif. A la base, en particulier, où la largeur du barrage est grande, les fluctuations se propagent à peu près comme dans un massif d'épaisseur infinie. Pour une variation sinusoïdale de la température extérieure, la répartition des températures intérieures en état de régime se calcule aisément, par exemple suivant l'une des méthodes exposées il y a quelques années par M. Nisolle¹ et plus récemment par M. le professeur Ritter², méthodes sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Si l'état de régime était atteint, le calcul donnerait les états de température indiqués dans les figures 23 et 24 en regard des températures observées au niveau 2179,70 du pilier 9. La comparaison montre que l'écart entre les observations et le calcul diminue avec le temps, et que les fluctuations intérieures se rapprochent de plus en plus de l'état de régime qui se créerait dans un massif plein ; l'influence de l'état initial du béton s'atténue d'année en année, mais il faut au moins cinq à six ans pour que l'on puisse admettre que l'état de régime s'est pratiquement établi. Même plus tard, la température à l'intérieur de l'âme reste toujours supérieure aux valeurs calculées dans les hypothèses précédentes ; ceci provient probablement du fait que le calcul ne peut pas tenir compte de l'apport de chaleur fourni en hiver aux évidements par la retenue à l'amont et par le sol à la base.

3. *Mesures de déformation.*a) *Déplacements observés à la base des pendules.*

Les résultats des mesures effectuées sur les tables de lecture des pendules à la base du pilier 9 sont reproduits dans la figure 25.

Ces graphiques sont l'image du déplacement du sommet des

piliers, projeté sur un plan horizontal, solidaire du béton. Les déplacements mesurés résultent donc à la fois de la flexion des piliers par rapport à leur base, et de la rotation de leur section d'encastrement. Un mouvement de translation, soit de l'ensemble du rocher, soit entre la fondation et le rocher, n'est pas décelé par les pendules.

Les déplacements les plus importants s'opèrent dans le sens amont-aval. On constate cependant l'existence très nette de mouvements transversaux du sommet des piliers parallèlement à l'axe du barrage. On peut admettre que ces déformations proviennent du fait que deux piliers adjacents jumelés, 9 et 10 par exemple, sont fondés à des niveaux inégaux et sur des bancs de rocher dont les caractéristiques peuvent différer légèrement ; s'ils étaient séparés, chaque pilier tendrait à subir dans son plan de symétrie, dans le sens amont-aval, un déplacement différent de celui du pilier voisin. L'ensemble est soumis de ce fait à des efforts de torsion qui peuvent entraîner un léger voilement. Notons bien que les efforts de cisaillement qui en résultent dans les masques, en particulier dans le plan vertical passant par l'axe des évidements, ne sont pas excessifs, puisqu'on n'a constaté aucune fissuration ni aucune infiltration à cet endroit. On évite complètement ces efforts en réalisant des joints entre tous les piliers, solution qui présente, il est vrai, l'inconvénient de doubler le nombre des dispositifs d'étanchéité et, par conséquent, d'éléments délicats de l'ouvrage ; mais l'exemple de la Dixence montre précisément que ces joints peuvent être réalisés de façon satisfaisante et sans difficultés notables.

Nous négligerons dans la suite l'effet des déformations transversales, pour considérer plus spécialement la composante amont-aval de la flèche au sommet, dont la valeur à chaque instant est donnée par la figure 16.

b) *Déplacement amont-aval en fonction du niveau du lac.*

La figure 26 donne la valeur de la flèche en fonction du niveau du lac. Ces graphiques ont la forme de boucles : les déformations observées à l'époque de la montée du lac ne sont pas exactement égales à celles que l'on mesure à l'époque de la descente ; par contre, chaque année, on retrouve sensiblement la même flèche pour un même état du lac. Cette périodicité montre que le béton ne subit pas, ou très peu, de déformations plastiques. La forme du graphique en boucle est l'indice que le béton conserve par contre certaines déformations rémanentes (hystérèse) ou que d'autres causes de déformation, les variations de l'état thermique en particulier, se superposent à l'effet de la poussée hydrostatique. Comme nous l'avons vu, la température extérieure varie à peu près sinusoïdalement au cours de l'année, avec un minimum en janvier ; le niveau du lac varie aussi périodiquement, mais avec un minimum en avril-mai. Il est naturel que les déformations résultant de la combinaison des deux phénomènes soient également périodiques, mais déphasées. On constate en effet — figure 16 — que la flèche minimum indiquée par les pendules se produit vers le mois de juin.

c) *Examen de la possibilité d'existence d'un effet de voûte dû à la forme arquée du barrage.*

La forme arquée donnée en plan au barrage de la Dixence a été dictée par les conditions topographiques et géologiques. C'est la raison pour laquelle le rayon de courbure prend trois valeurs différentes, suivant les régions du plan. Mais on donne parfois aux barrages une forme cintrée en plan, avec l'idée de faire naître un effet de voûte, dont on ne tient

¹ L. NISOLLE, « Régime des températures et flux des températures dans une paroi plane, chauffée périodiquement ». *Chaleur et Industrie*, Paris, N° 201, de janvier 1937.

² Prof. M. RITTER, « Oscillation de la température et contraintes thermiques dans les murs sous l'effet de températures extérieures périodiquement variables ». Mémoire de l'Association Internationale des Ponts et Charpentiers, 7^{me} volume, 1943/44.

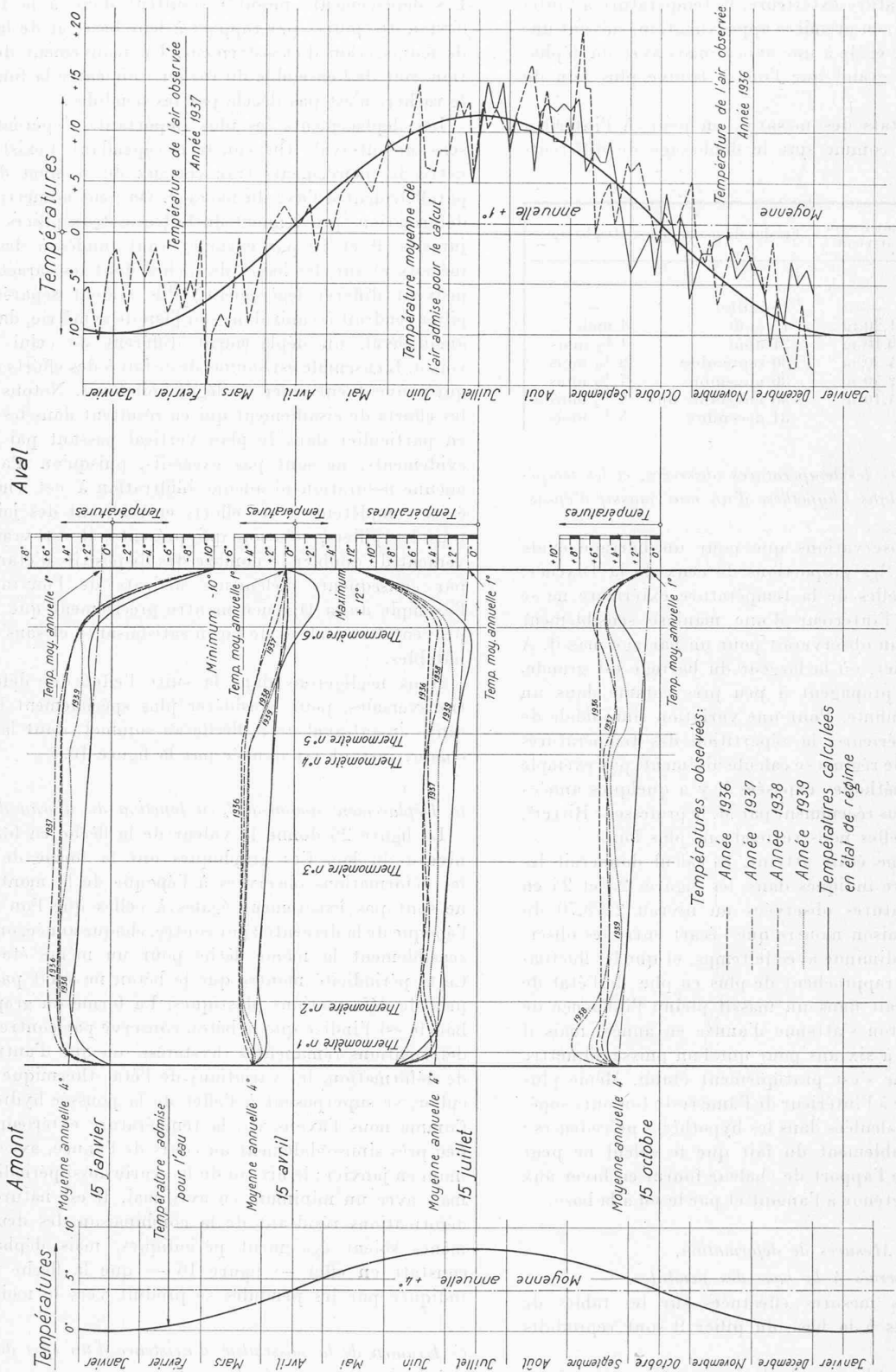


Fig. 23. — Barrage de la Dixence. — Comparaison entre les variations de température annuelles calculées et les observations effectuées à la base du pilier 9, de 1936 à 1939.

pas compte dans les calculs mais qui doit améliorer les conditions de stabilité du barrage. Il convient d'examiner si cet effet peut réellement se manifester.

Les éléments de barrage limités par les joints de contraction forment des voussoirs qui, si les joints sont ouverts, doivent

se déplacer dans leur plan de symétrie (c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe du barrage) jusqu'à ce qu'ils entrent en contact, avant que l'action de voûte puisse se réaliser.

En admettant pour le béton un retrait modéré de 0,2 mm/m

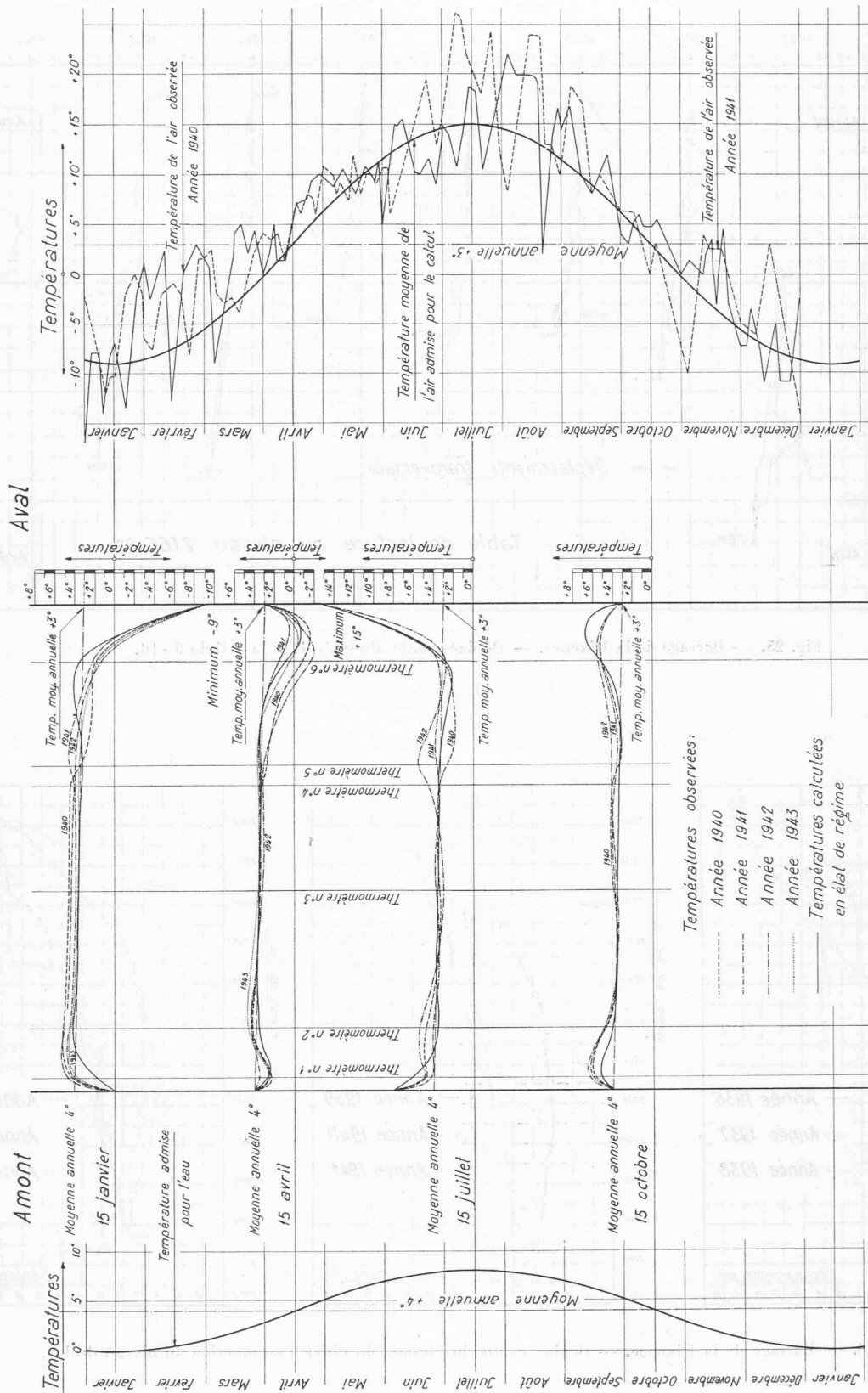


Fig. 24. — Barrage de la Dixence. — Comparaison entre les variations de température annuelles calculées et les observations effectuées à la base du pilier 9, de 1940 à 1943.

(alors que les essais effectués par différents auteurs donnent une moyenne de 0,3 mm/m dans les conditions usuelles et que l'ordonnance fédérale demande de calculer avec 0,4 mm/m) on calcule aisément que les voussoirs devraient subir, pour le barrage de la Dixence par exemple, les déplacements suivants, avant d'entrer en contact :

Rayon de courbure en plan	140 m	287 m	450 m
Ecartement des joints	24 m	24 m	26 m
Ouverture des joints	4,8 mm	4,8 mm	5,2 mm
Déplacement nécessaire pour amener les voussoirs en contact	28 mm	58 mm	90 mm

9634

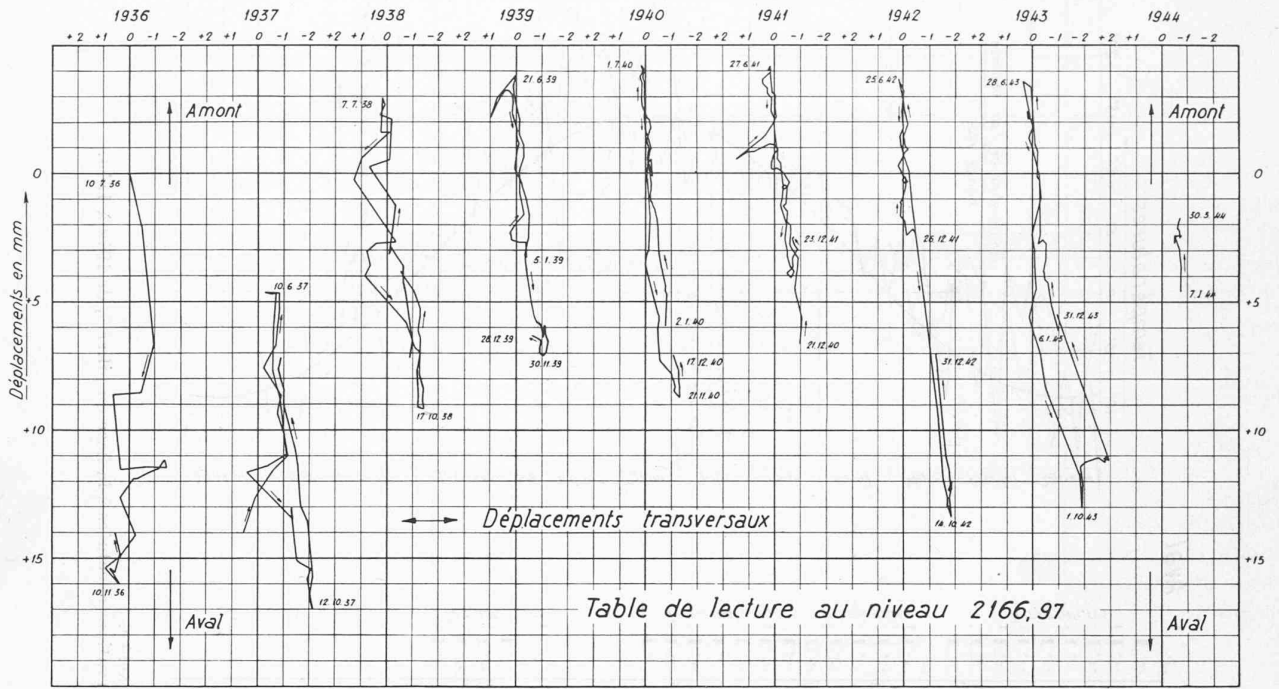


Fig. 25. — Barrage de la Dixence. — Déplacements observés dans la cellule 9-10.

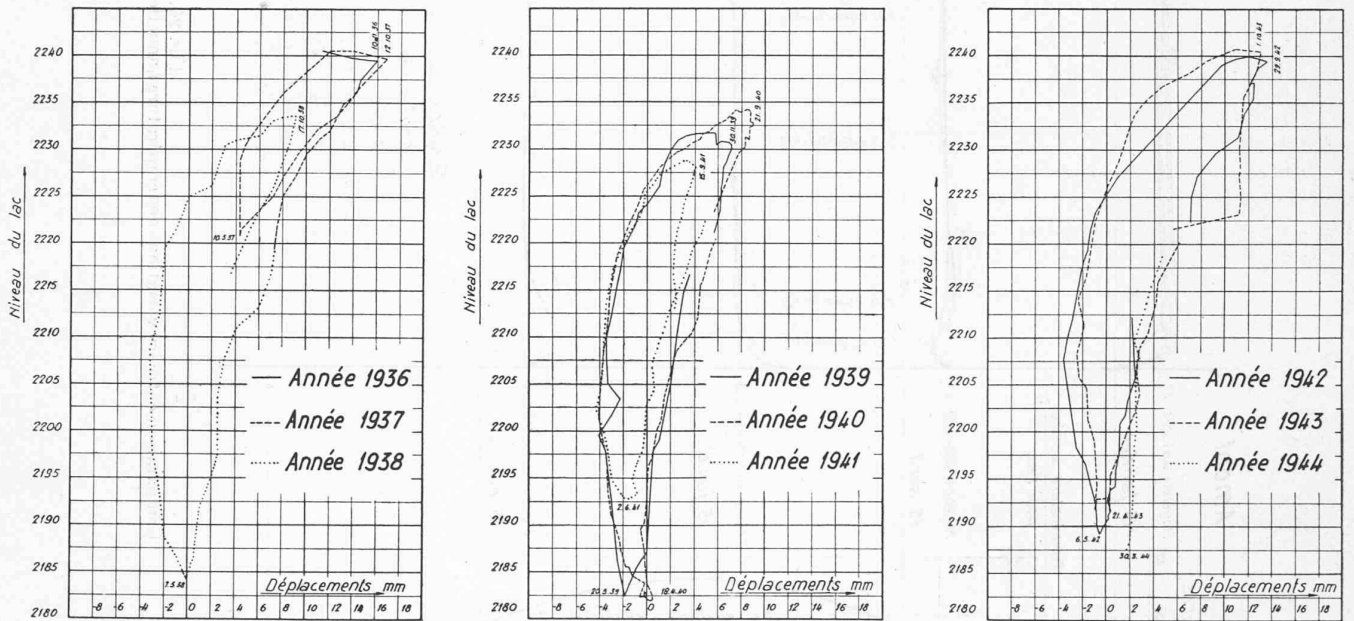


Fig. 26. — Barrage de la Dixence. — Déplacements du sommet du pilier 9 en fonction du niveau du lac.

Les déplacements mesurés, de 20 mm au maximum dans la zone de 140 m de rayon et de 22 mm au maximum dans la zone de 450 m de rayon, sont nettement insuffisants pour amener les voussoirs en contact.

Le calcul conduirait à des conclusions identiques pour les

barrages massifs, dont le rayon de courbure en plan ne descend généralement pas au-dessous de 200 m environ, et l'effet de voûte escompté par le moyen de cette faible courbure apparaît ainsi tout à fait illusoire.

(A suivre.)