

Le béton chauffé électriquement

Autor(en): **Kunz, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **60 (1934)**

Heft 6

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-46370>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Des interrupteurs et rhéostats permettent à l'usager de chaque pièce de mettre en circuit ou hors circuit le haut-parleur et, à sa convenance, de régler le volume du son.

De plus, il est permis à celui qui, le dernier, utilise le réseau, d'arrêter de sa chambre le poste central.

Dans le grand hall, il est prévu trois haut-parleurs que, par un dispositif stéré-acoustique, on peut spécialiser dans une gamme de fréquences déterminée pour produire, dans cette vaste pièce, l'illusion d'un véritable orchestre.

Distribution de l'heure. — Une pendule-mère reliée à un réseau de 20 pendules électriques donne l'heure dans les différentes pièces. Ces pendules et leurs canalisations sont encastrées.

Conclusions.

Cette installation constitue un véritable répertoire des applications de l'électricité à l'éclairage et aux besoins domestiques. Tout en facilitant la tâche du personnel, elle contribue, de la façon la plus moderne, à la réalisation du confort et du bien-être.

H. LEPERS,
Ingénieur-électricien
de la Société « Gaz et Electricité
de la Banlieue de Roubaix ».

Le béton chauffé électriquement

par C. KUNZ,

ingénieur au Bureau central de coordination des travaux,
Direction des constructions fédérales, à Berne.

Sommaire. *Les influences fâcheuses du gel sur le béton éliminées par le chauffage électrique. Exposé de deux méthodes permettant de bétonner jusqu'à -20° C en activant la prise du béton préparé avec du ciment ordinaire. L'avantage réside dans le fait qu'il est pratiquement possible d'exécuter des travaux en hiver, d'occuper de la sorte la main-d'œuvre et d'avoir la sécurité d'amener à bonne fin une entreprise commencée.*

Introduction.

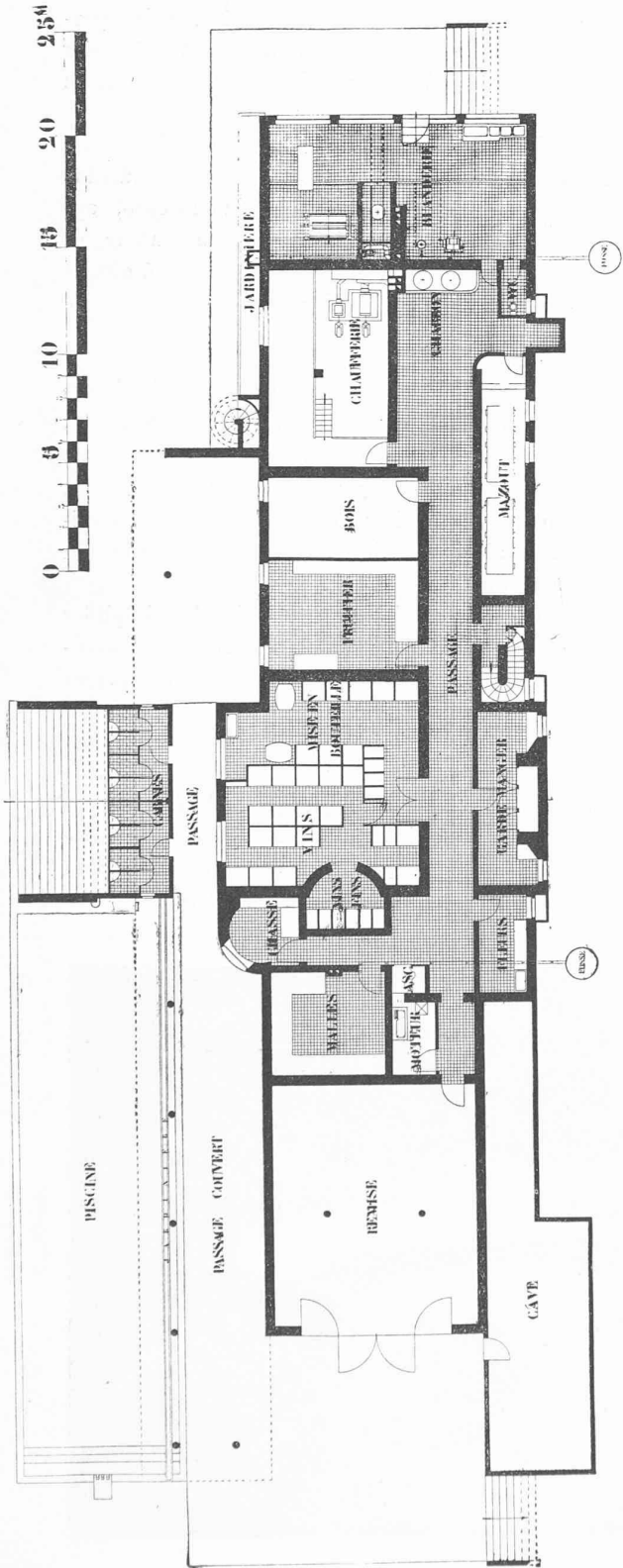
Les maçonneries et le bétonnage des bâtiments et constructions civiles sont généralement exécutés en été, car dans la mauvaise saison ils sont contrariés par les intempéries et rendus très difficiles par le gel. Dans les périodes de prospérité économique, l'ouvrier du bâtiment gagnait sa vie en hiver, soit en se déplaçant dans les régions favorisées par le climat, soit en se contentant d'une occupation accessoire.

Actuellement, les possibilités de trouver du travail sont restreintes et les autorités voient les charges augmenter considérablement par l'allocation de secours ; il est donc nécessaire de chercher des moyens techniques pour combattre la crise.

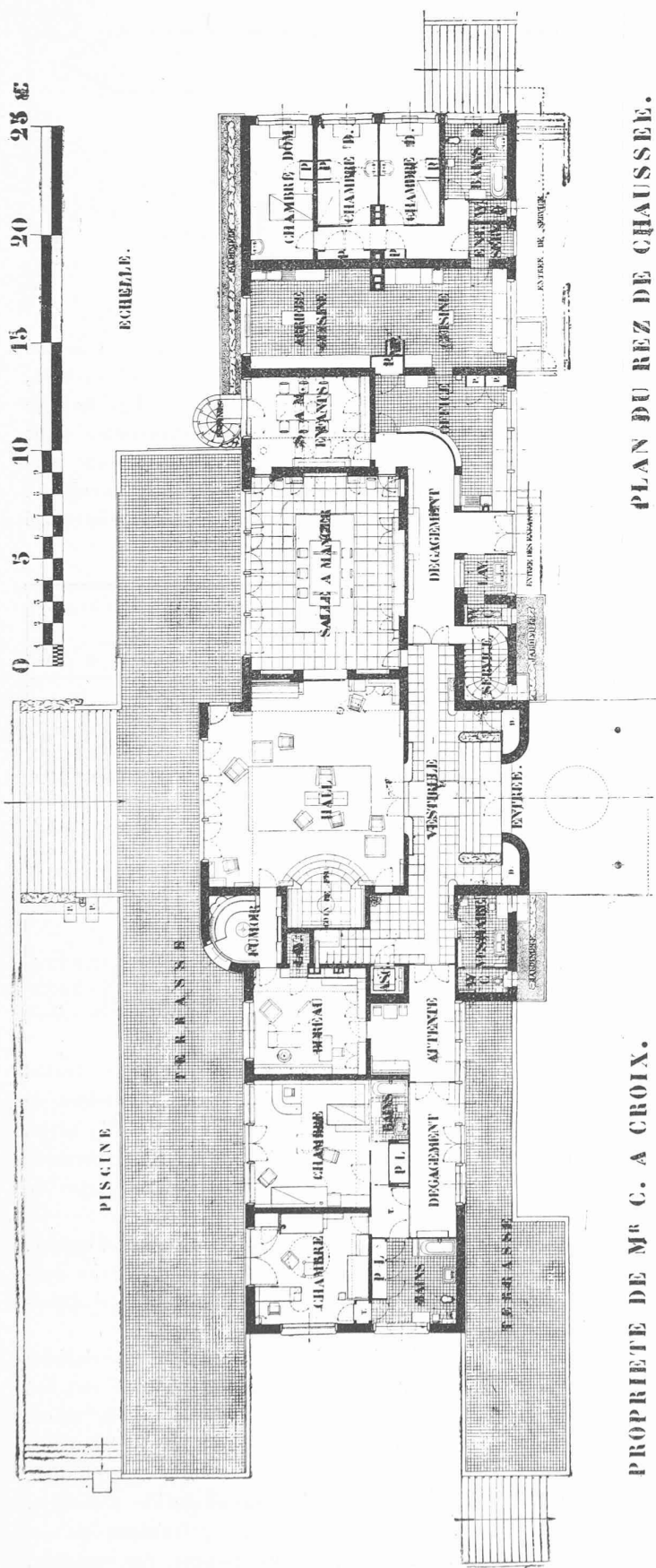
Le Bureau central de coordination des travaux¹ a proposé de répartir les travaux sur une plus grande partie de l'année, afin d'éviter le manque de main-d'œuvre nationale en été et la surabondance en hiver.

Mais comment bétonner dans la saison où le gel est à craindre? Par l'adjonction de produits chimiques connus et peu onéreux, ayant fait leurs preuves, mais présentant des inconvénients ; en chauffant les matériaux (eau, sable), en couvrant le béton avec des sacs, etc. ou encore en élevant la température au moyen du courant électrique. Dans ce domaine, une revue technique suédoise, «Byggnadsvärlden, Stockholm» (le monde des

¹ *Bulletin technique*, n° 6 du 18 mars 1933 et n° 11 du 27 mai 1933.



Cliché de « L'Architecture d'aujourd'hui ».



PLAN DU REZ DE CHAUSSEE.

PROPRIETE DE M^r C. A. CROIX.

Cliché de « L'Architecture d'aujourd'hui ».

travaux) a publié un article de M. le professeur *H. Bohling* et de M. l'ingénieur *A. Bründ* donnant les résultats d'essais effectués en Suède. Nous extrayons les données et arguments en faveur de ce procédé, en les complétant pour l'étude de notre problème.

Le durcissement du béton est ralenti par les températures basses et la chaleur dégagée pendant la prise ne suffit pas à compenser le froid ambiant ; il faut donc y remédier, au moins pendant la première partie du durcissement, en faisant appel à un apport de chaleur.

L'apport et la répartition de l'énergie électrique.

Pour que le chauffage du béton par l'électricité puisse concurrencer avantageusement d'autres procédés, le coefficient de rendement des appareils doit être relativement élevé, l'énergie électrique étant plus onéreuse que les combustibles ordinaires.

Comme une masse de béton fraîchement coulée a la propriété d'être un bon conducteur pour un

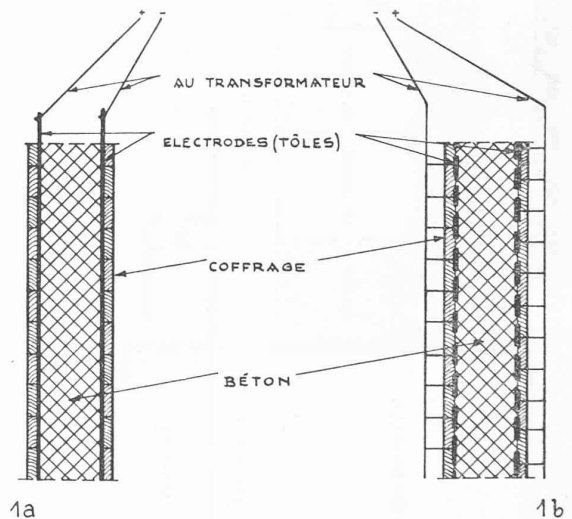


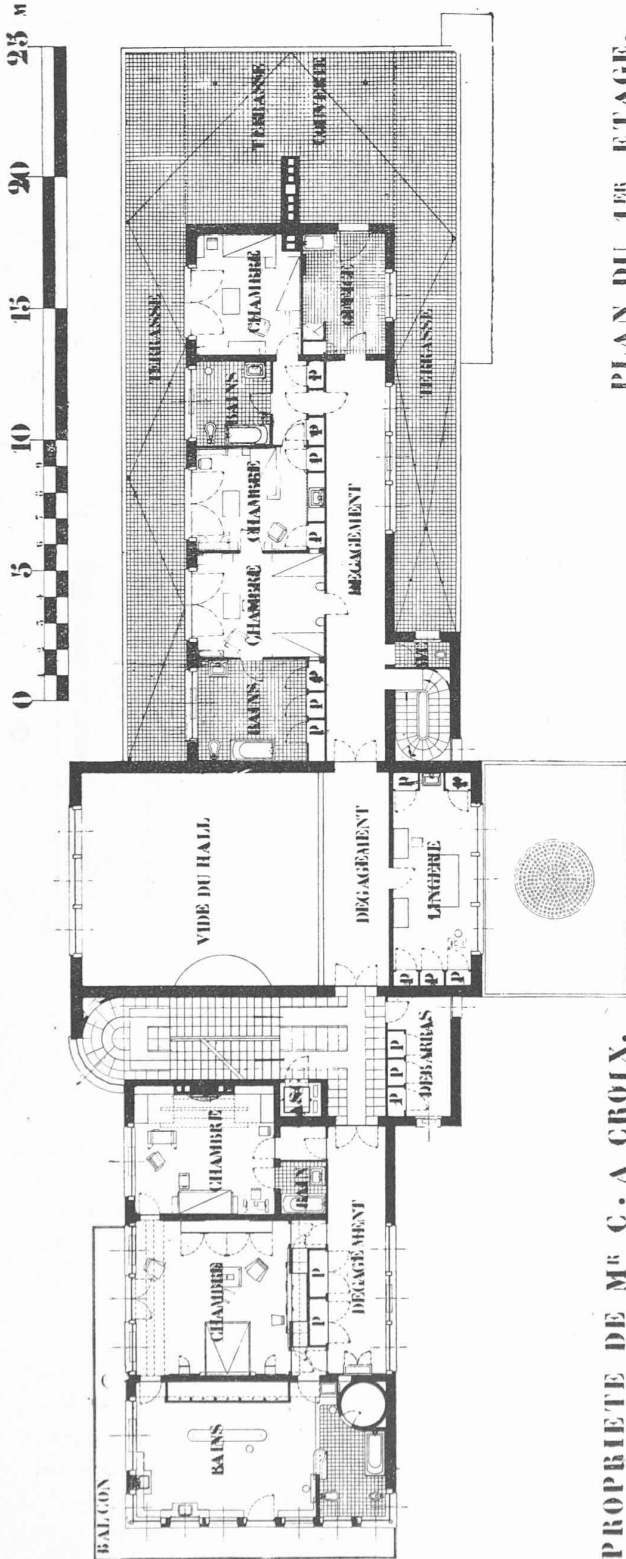
Fig. 1.

courant alternatif de faible tension, il est possible d'obtenir un chauffage économique sans installations compliquées ; le béton offre une certaine résistance électrique et il se dégage de la chaleur. La perte de calories cédées au milieu ambiant est minimale, car le coffrage forme une isolation calorifique avantageuse dans notre cas, où la source de chaleur est à l'intérieur du béton ; par contre, cette isolation est un obstacle lorsque la chaleur vient de l'extérieur.

Le courant peut être amené par des électrodes sous forme de tôles ordinaires en fer. Elles sont placées en contact immédiat avec le béton coulé et sont reliées par des fils à la source du courant alternatif. La façon de placer les tôles varie suivant le type de construction ; nous allons décrire quelques exemples pratiques.

La figure 1 représente la coupe d'un mur en

béton non armé. Les tôles formant électrodes sont disposées contre le coffrage, à l'intérieur ; le courant passe donc directement au travers du mur. On peut ne pas recouvrir complètement les surfaces par des tôles, mais, pour économiser, utiliser seulement des bandes espacées (fig. 1 b). Toutes les tôles situées d'un côté sont reliées à un pôle du transformateur.



PLAN DU 1ER ETAGE.

PROPRIETE DE M^r C. A. CROIX.

Cliché de « L'Architecture d'aujourd'hui ».

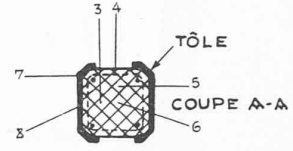
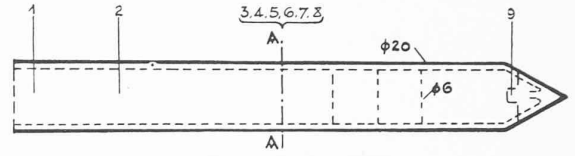


Fig. 2.

La figure 2 montre un pieu armé. Le courant est amené par des tôles placées sur deux côtés opposés et recouvrant, cette fois-ci, toute la surface du coffrage. Les fers de l'armature diminuent la résistance électrique, mais n'occasionnent dans le passage du courant aucune perturbation lors de l'élévation de la température. Le tableau N° I indique la répartition de la température, l'intensité

Tableau I.

Heure	Amp.	Volts	Watts	Température relevée par les thermomètres placés en différents points								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
17.15				17.5	17.5	17.5	17.8	17.8	17.8	18.0	17.5	17.5
18.30	24.5	22.3	550	17.5	17.5	17.5	17.8	17.8	17.8	18.0	17.5	17.5
19.30	28.0	22.0	616	22.0	21.7	22.8	24.0	22.2	21.5	21.9	23.8	24.5
20.30	29.5	22.0	650	30.0	30.2	30.3	31.6	30.0	29.0	33.0	30.5	31.0
21.30	31.0	22.0	682	37.2	38.5	37.2	38.2	37.0	36.2	40.0	37.0	37.0
22.30	31.0	21.0	651	48.6	52.0	48.0	48.0	48.0	47.5	48.0	44.2	42.4
23.30	26.0	21.5	560	54.0	58.8	54.3	55.3	55.0	54.0	55.0	51.5	48.0
0.30	21.0	22.0	462	59.8	65.4	61.0	61.5	62.0	61.0	61.4	57.1	52.5
2.00	16.0	22.0	352	65.3	72.3	68.5	68.3	69.2	69.0	67.7	62.5	57.0
Courant arrêté				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.00	—	—	—	53.5	60.0	59.0	52.7	60.0	60.5	56.4	52.5	45.5
11.00	—	—	—	44.5	50.0	50.2	49.4	51.4	52.0	48.4	45.2	39.0
17.40	—	—	—	37.7	38.1	39.5	39.0	40.0	40.5	38.5	36.5	31.5

du courant, la tension et la puissance. Ce procès-verbal n'accuse aucune température anormale, ni pendant le chauffage, ni lors du refroidissement. Le volume du béton était de 0,125 m³ et l'on a utilisé 5 kWh pour l'opération complète. Aucune isolation pour empêcher les pertes de chaleur en plus du coffrage normal.

Environ 24 heures après la coulée, le coffrage fut enlevé. A ce moment déjà, les coups frappés contre le béton donnaient une bonne résonance, indice d'une dureté appréciable.

Des poutrelles de dimensions variables, des fondations de machines et d'autres formes de béton armé ont été traitées en disposant les électrodes suivant le même système ; la répartition de la température a été satisfaisante dans tous les cas ; nous indiquerons ci-après quelques chiffres relatifs à la consommation d'énergie.

Enfin, certaines constructions ne présentent qu'une seule surface facilement accessible comme, par exemple, planchers, parois, certaines poutrelles, etc. ; on place les

électrodes alors seulement sur une face et ceci après le bétonnage. Cette disposition s'applique à des planchers avec poutrelles. Les tôles impaires sont reliées à l'un des pôles du transformateur, les paires à l'autre ; de la sorte, le flux passe d'une électrode à la voisine par la masse du béton, suivant un trajet ayant la forme d'arcs et il provoque une élévation de température. Dans ce cas, on choisit des bandes de tôle ayant 10 à 15 cm de largeur ; l'avantage de ce système réside dans le fait que le bétonnage peut être exécuté normalement, sans se préoccuper de la pose des électrodes qui se fait ultérieurement. Les électrodes peuvent être préparées une fois pour toutes avec une bâche imperméable qu'on déroule et au-dessous de laquelle les tôles sont fixées (fig. 3).

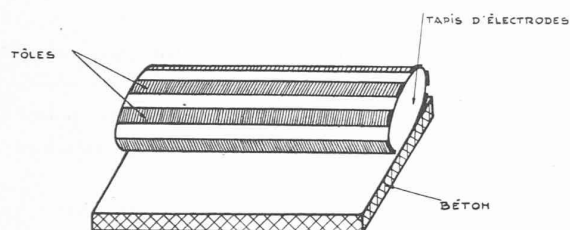


Fig. 3.

Pour la préparation d'un grand nombre d'objets semblables, comme, par exemple, des pieux de fondation, il y aura avantage à les relier électriquement en série ; la place sera économisée, ainsi que le courant.

Après le durcissement du béton, on enlève facilement les tôles sans endommager les parements. Ces tôles pourront être utilisées plusieurs fois, même si elles ont été clouées à l'intérieur du coffrage.

Quantité d'énergie électrique nécessaire.

Appelons P_c, P_s, P_g, P_e le poids des matériaux composant le béton (ciment, sable, gravier, eau) t_c, t_s, \dots leur température initiale et C_c, C_s, \dots la chaleur spécifique de chacun d'eux, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un degré centigrade par kg. La chaleur spécifique de l'eau à 15° et sous 760 cm de mercure est de 1 kcal, celle du ciment et du sable 0,19 et 0,20 pour le gravier. Celle du béton sera :

$$C_b = \frac{\sum P \cdot C}{\sum P} \text{ qui varie entre 0,25 et 0,27.}$$

La quantité de chaleur initiale des matières premières $Q_1 = \sum P \cdot t \cdot C$.

La quantité de chaleur finale, à la température désirée

t_f , sera

$$Q_2 = P_b \cdot t_f \cdot C_b$$

où P_b est le poids du béton.

L'apport nécessaire de chaleur sera

$$Q_3 = Q_2 - Q_1 \text{ en kcal}$$

(par m^3 et par degré = 570 à 590 kcal).

Or comme 1 kWh correspond à 864 kcal, nous trouvons

$$0,66 \text{ kWh par } m^3 \text{ et par degré.}$$

A l'occasion d'essais pratiques, on a mesuré la consommation d'énergie électrique ; cette dernière a été supérieure au chiffre théorique de 0,66, car les pertes de chaleur, la nature de l'isolation, les dimensions des surfaces et la température ambiante ont une influence assez sensible. Le tableau N° II présente quelques mesures effectuées.

Tableau II.

N°	Objet	Durée de l'opération en heures	Température maximum en degrés C	Température ambiante en degrés C	Consomm. kWh par degré C et par m^3 de béton
1	Pieu de fondation . .	7.5	68	15	0.72
2	Dalle avec poutre . .	8	35	15	0.97
3	Poutre	6.8	75	20	0.96
4	Fondation de machine	7	35	10	1.4
5	Fondations en béton en chantier (hiver) .	4.3	76	— 13	0.85
6	Fondations en béton en chantier (hiver) .	5.5	78	— 8	0.91

Dans tous ces essais, le coffrage constitue la seule isolation contre les pertes de chaleur. Nous signalons la consommation d'énergie relativement faible pour les épreuves Nos 5 et 6 exécutées par 8 et 13 degrés au-dessous de zéro, avec tempête de neige. La fondation d'une machine (N° 4) avait les 25 % de sa surface en contact avec le sol, d'où il résultait des pertes de chaleur relativement élevées.

On peut admettre pour des calculs préalables, une consommation de 1 kWh par degré et par m^3 . En couvrant les surfaces avec un matériel isolant au point de vue calorifique, la consommation serait notablement réduite. Les différentes épreuves ont démontré que l'utilisation de ce procédé est économiquement réalisable.

Transformateurs.

Afin d'éviter l'électrolyse de l'eau, il faut employer du courant alternatif seulement. La tension entre les électrodes doit être, en général, réglable ; d'une part, parce que les différentes formes de béton et la façon de disposer les électrodes impliquent des tensions diverses, et qu'il faut, d'autre part, tenir compte des modifications de la résistance spécifique du béton pendant la prise.

La tension primaire doit se mouvoir dans les limites des tensions normales des réseaux, par exemple 500 V, 380 V, 220 V ou 110 V. Le côté secondaire (électrodes), pour les constructions ordinaires en béton, se réglera par quelques bornes entre 20 et 50 V. La tension secondaire appropriée sera déterminée de la façon suivante : le transformateur sera branché sur la plus basse tension secondaire, on fermera le circuit et lira la consommation

d'énergie. Si celle-ci est inférieure au chiffre désiré, on branchera le transformateur sur la tension suivante (plus haute) et ainsi de suite.

La puissance du transformateur dépend du volume du béton à traiter, de l'élévation de température demandée et du temps nécessaire au chauffage ; d'où la formule

$$P = \frac{\nu \cdot t}{z}$$

dans laquelle

P = puissance du transformateur en kilowatts.

ν = volume du béton en m^3 .

t = différence de température en degrés centigrades.

z = durée en heures.

Par conséquent, pour $3 m^3$ de béton dont la température doit être élevée de 40 degrés en 15 heures, il faut un transformateur de 8 kW.

La consommation du courant sera

$$\frac{120 \text{ kWh}}{3} = 40 \text{ kWh par } m^3 \text{ à } 0 \text{ fr. } 05 \text{ le kWh} = 2 \text{ fr. par } m^3.$$

Un transformateur de 8 kW, avec interrupteurs, etc., pèse 100 kg et coûte environ 550 fr.

Les risques d'accidents provoqués par les installations électriques sont minimes ; en effet, au primaire, la tension ordinaire des conduites pour les moteurs et la lumière présente le même danger que sur tous les chantiers normaux et, au secondaire, les tensions de 10 à 50 volts ne sont pas dangereuses.

Les installations à cet effet ne sont donc ni compliquées, ni difficiles à surveiller, ni onéreuses par rapport aux autres dispositifs mécaniques employés sur les chantiers modernes.

Résistance mécanique après chauffage électrique.

Le traitement calorifique par l'électricité agit sur le béton de la même façon que les autres traitements calorifiques.

Des éprouvettes identiques ayant été traitées, l'une par l'électricité et la seconde par une autre source de chaleur, à la même température et dans le même temps, présentent la même résistance à la compression. Par conséquent les lois connues au sujet de l'influence des températures élevées sur l'augmentation de résistance peuvent être adoptées aussi lorsque le chauffage a lieu au moyen du courant électrique.

La recherche exacte du rapport entre la température et l'accroissement de résistance a été poursuivie lors de nombreuses séries d'essais. La figure 4 démontre que, par le traitement électrique la résistance est non seulement portée à un chiffre élevé, mais qu'après avoir coupé le courant elle continue à monter. Même si le traitement électrique n'a pas commencé immédiatement après le bétonnage, il n'a pas été constaté d'influence fâcheuse sur la résistance.

Autres procédés.

a) Il a été question dans la presse technique d'un procédé dit « de congélation du béton » pour éviter les

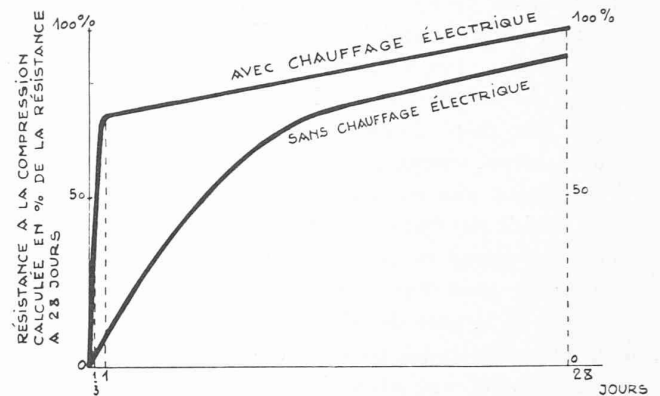


Fig. 4.

alternatives de gel et de dégel. Tous les matériaux utiles étaient gelés et maintenus dans cet état jusqu'au printemps. Un certain scepticisme a accueilli ce procédé, juste en théorie, mais sans utilité complète pour nos régions et dans la lutte contre le chômage pendant la morte-saison.

b) Par contre le courant électrique a été aussi expérimenté en U. R. S. S. avec fruit. Au lieu de tôles, comme dans le procédé suédois, on utilise comme électrodes des baguettes en déchets de fers ronds de 10-12 mm de diamètre qui sont enfoncées dans le béton frais tous les 50 cm, en évitant le contact avec les armatures. Une extrémité de ces baguettes est reliée au secondaire du transformateur. Après l'opération, la partie qui dépasse est brûlée au chalumeau. Le résultat a été appréciable : plus-value 9-13 % du coût normal, consommation d'énergie 80-150 kWh par m^3 de béton pour une température ambiante de $-20^{\circ}C$, soit de 0,8 à 1,6 kWh par m^3 et par degré, donc plus que le procédé suédois.

Conclusions.

Suivant la forme de la construction à traiter, il faudra choisir judicieusement les tôles ou les baguettes.

Pour contrôler si ces méthodes s'appliquent aux conditions de notre pays et peuvent contribuer à diminuer le chômage saisonnier, des essais sont exécutés actuellement en Suisse, au chantier et au Laboratoire fédéral d'essais des matériaux. Un rapport à ce sujet sera publié ultérieurement, mais nous pouvons en affirmer dès maintenant la réussite aux points de vue technique et économique.

Il est souhaitable que nos entreprises utilisent ce procédé afin de prouver qu'il est économiquement et techniquement possible de bétonner en hiver, surtout pendant les périodes sèches de gel, sans chutes de neige. De la sorte, nos maçons pourront suffire à la besogne, car les travaux publics et privés ne seront plus exécutés simultanément dans la belle saison, mais échelonnés sur une plus grande partie de l'année.

Berne, février 1934.