

Le traitement thermique des bétons

par H. MANCHE

Chef de la Section Cimenterie et Usine à Claveaux
du Charbonnage de Helchteren-Zolder.

Dans cette étude sont exposées les différentes recherches effectuées dans le but de déterminer l'influence de l'exposition à l'eau chaude sur les résistances des bétons et l'application de ce traitement à la fabrication des claveaux.

Les effets de la température, de la durée du chauffage, du mode de refroidissement, l'influence de la nature et de la qualité des ciments et des agrégats ont été étudiés.

Les résultats de ces recherches, faites en collaboration avec le Laboratoire du G.P.C., montrent que le traitement thermique des bétons est particulièrement intéressant en hiver, car il permet d'éviter l'arrêt de la fabrication tout en conservant au béton les résistances obtenues pendant la bonne saison.

Les conditions toutes particulières dans lesquelles se trouvent les terrains de Campine, ont obligé les charbonnages de ce bassin à étudier les méthodes nouvelles de soutènement.

Au début on essaya des revêtements en béton monolithe, mais devant les inconvénients de ce système, il fut abandonné et finalement remplacé par un revêtement circulaire en claveaux avec interposition de planchettes en bois. Malheureusement, ces revêtements coûtent cher, surtout s'ils doivent être fréquemment remplacés. Aussi a-t-on cherché par tous moyens à accroître la résistance des claveaux.

Après avoir effectué de nombreuses recherches concernant la qualité du ciment, la nature des matériaux, le dosage et finalement le serrage du béton, nous avons été amenés à étudier la conservation des claveaux immédiatement après leur fabrication non seulement pendant les périodes froides de l'année, mais également en toutes saisons.

Nous savons tous que l'immersion des bétons augmente leur résistance. Nos expériences l'ont largement confirmé.

Elles montrent également l'influence de la température sur les résistances à la compression. En effet, nos bétons donnent à l'âge de 24 heures une résistance de 225 kgs/cm². Or, en hiver, par suite du refroidissement des matériaux, cette résistance n'est plus que de 150 kgs/cm² et ce n'est qu'à sept jours d'âge qu'elle redevient normale.

D'autre part, chaque hiver nous sommes obligés de suspendre la fabrication de nos claveaux pour éviter d'utiliser des voussoirs dont les résistances seraient trop faibles. Mais même en période estivale, pour obtenir des résistances élevées, nous n'utilisons les claveaux qu'à 3 mois d'âge au mi-

nimum; ce qui nous amène à fournir à l'exploitation des claveaux âgés de 5 à 6 mois en fin d'hiver. Et qui dit stock important dit immobilisation considérable de capitaux.

Enfin, cet arrêt hivernal est très préjudiciable pour le personnel, nous sommes forcés de le répartir dans les différents services de la surface, quelque fois même d'en mettre une partie en chômage à une époque de l'année où il lui est très difficile de trouver un autre travail.

Aussi nous avons cherché à diminuer, si pas à supprimer ces inconvénients en accélérant le durcissement du béton.

Il y a déjà quelques années, nous avons entrepris des recherches sur le dégagement de chaleur des ciments au cours de leur prise, dégagement mesuré au moyen de la bouteille « Thermos ». Après 24 heures de séjour dans ces bouteilles, les éprouvettes avaient pris une telle dureté qu'il nous vint à l'idée de chauffer des blocs de béton dans la vapeur d'eau à la pression atmosphérique. Disposant d'un matériel rudimentaire, nous constatons que, chaque fois, soit que nous retirions l'éprouvette du bain de vapeur, soit même que nous arrêtons le chauffage, l'éprouvette se desséchait rapidement. Aussi nous pensâmes qu'il serait préférable d'immerger les éprouvettes dans l'eau chaude. Effectivement, les résultats furent encourageants et à partir de ce moment, nos essais d'accélération du durcissement du béton par chauffage furent tous réalisés en immergeant les cubes dans un bain d'eau chaude.

Malheureusement, pour des raisons qu'il serait trop long d'énumérer ici, ces recherches furent abandonnées, bien que les essais pratiqués aient donné de bons résultats.

Mais au cours de la guerre, par suite du manque de matériaux ayant comme résultat une forte dimi-

nution de nos stocks de claveaux, nous avons été amenés à reprendre les essais et à en appliquer les conclusions à l'accélération du durcissement des claveaux, afin de fournir dans un délai aussi court que possible les claveaux nécessaires à la construction et à l'entretien des bouveaux.

Deux systèmes se présentaient à nous :

- 1) chauffage dès que les claveaux ont atteint une certaine résistance,
- 2) chauffage immédiat après serrage.

1) *Chauffage dès que les claveaux ont une certaine résistance.*

On attend avant d'immerger les claveaux dans l'eau chaude qu'ils aient atteint une résistance suffisante pour éviter le délaïement du béton dans l'eau et même pour pouvoir subir certaines manipulations.

On peut les fabriquer soit dans les bassins mêmes servant au traitement, soit en chantier et les transporter dès qu'ils ont atteint une résistance suffisante.

Le premier mode demande beaucoup moins de main-d'œuvre; par contre, les claveaux n'étant pas mis en tas les uns sur les autres exigent des installations plus importantes, d'où plus d'eau à chauffer et une consommation plus grande de combustible.

Le second mode présente l'avantage de demander des installations plus petites, chaudières et bassins, et par conséquent une consommation plus faible de charbon, mais il faut plus de main-d'œuvre pour la mise en place des claveaux.

Le premier mode est surtout intéressant lorsqu'on a à manipuler des pièces lourdes et encombrantes, le second lorsque les blocs sont relativement légers.

2) *Chauffage immédiatement après serrage.*

Le traitement s'effectuant avant démoulage, ce système permet d'obtenir en quelques heures des résistances relativement très élevées, mais il demande une immobilisation importante de moules et par conséquent ne pourra être utilisé que dans des cas très rares.

On peut en outre envisager soit d'élever progressivement la température de l'eau du bassin, soit de plonger le béton avant de le démouler dans l'eau portée à la température du traitement.

De nombreux essais furent d'abord faits au laboratoire de notre usine de claveaux; toutefois, désirant être parfaitement documenté sur ce mode de traitement, nous avons demandé à Monsieur DUTRON, Directeur du laboratoire du G.P.C., d'étudier ce problème pendant que nous-mêmes nous poursuivions nos recherches.

L'objet des recherches du laboratoire G.P.C. a été d'établir « l'influence du traitement à l'eau » chaude et de rechercher les meilleures conditions » à remplir pour ce traitement en ce qui concerne » la température, la durée de séjour dans l'eau, » ainsi que l'âge du béton au moment de sa mise » en chauffage ».

Il a paru intéressant de se rendre également compte de la manière dont se poursuit, avec l'âge, le durcissement du béton chauffé, étant donné que les claveaux peuvent séjourner en magasin jusqu'à six mois avant l'emploi.

D'autre part, par suite des circonstances, nous utilisons indifféremment comme agrégats, des porphyres, des grès et des laitiers concassés et comme ciment, normalement du ciment métallurgique fabriqué au charbonnage même, mais également du H.F.N. et du C.P.N.N. Les recherches ont donc porté également sur l'influence éventuelle de la nature des agrégats et des ciments.

Enfin, comme les claveaux ne sont pas conservés à la température normale de 20°, le programme comprend également des essais sur bétons conservés dès le début du durcissement à des températures inférieures à 18°, soit à 10° et à 5°, et sur d'autres conservés aux intempéries.

Recherches préalables.

a) *Au laboratoire du G.P.C. :*

Les recherches préalables ont consisté à déterminer le *temps nécessaire pour amener le béton de la température initiale (20°) à la température désirée* et, une fois le traitement terminé, le *temps nécessaire pour ramener le béton à la température de départ* et cela suivant divers modes de chauffage et de refroidissement.

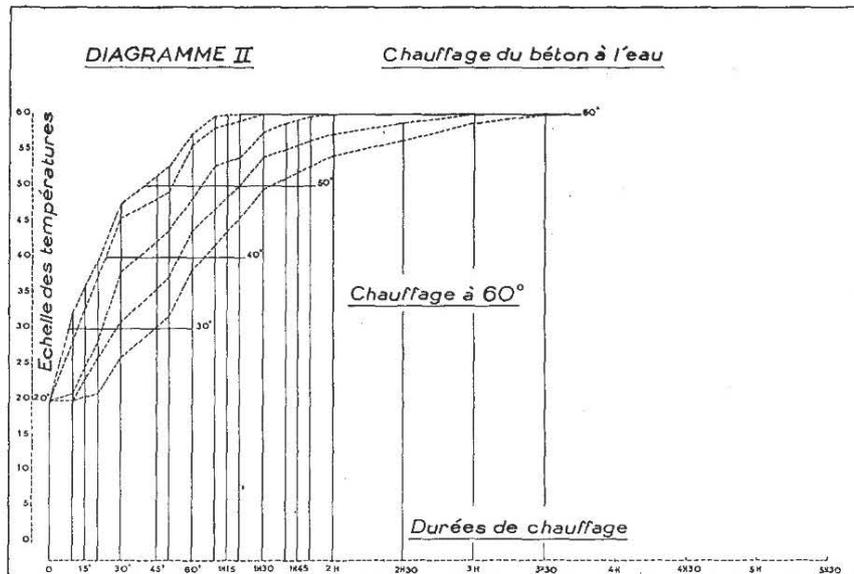
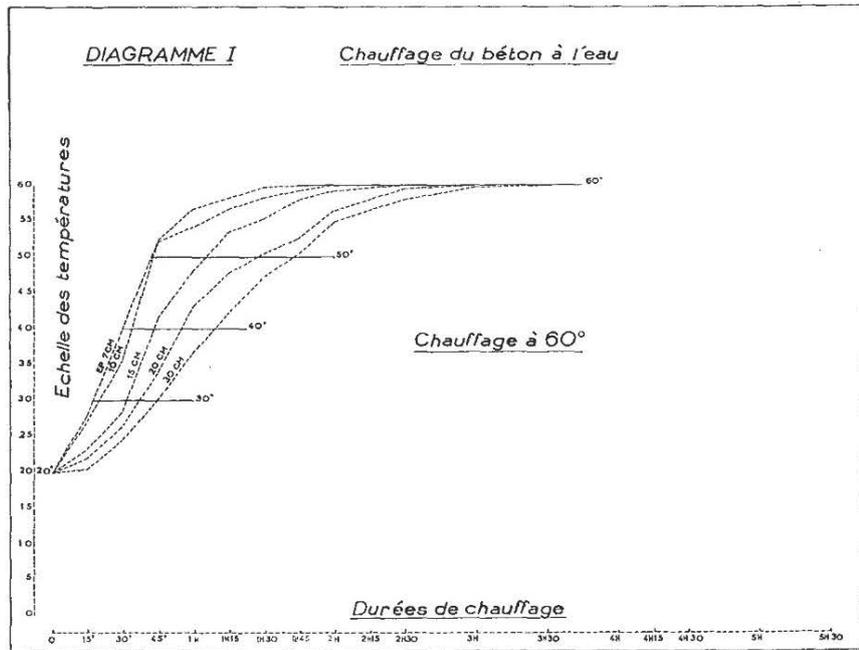
Deux modes de mise en chauffage ont été utilisés :

- 1) Le béton et l'eau sont tous deux à 20° au moment de la mise en chauffage.
- 2) L'eau a été préalablement portée à la température du traitement, soit 40°, 60°, 80° et 95°, avant d'introduire le béton qui est à la température de 20°.

A l'aide des résultats obtenus au cours de ces recherches préliminaires, il a été dressé une série de tableaux traduits en diagrammes, mais nous nous sommes limités aux diagrammes se rapportant au traitement à 60°, cette température semblant donner les meilleurs résultats tant pour les bétons chauffés progressivement de 20° à 60°, que pour ceux immergés dans l'eau à 60°.

Les *conclusions* sont identiques quelle que soit la température de chauffage, à savoir :

- 1) La durée de chauffage nécessaire pour atteindre la température désirée dans tout le bloc de béton augmente évidemment avec l'épaisseur de celui-ci.
- 2) Mais les durées nécessaires pour amener la température voulue à cœur croissent moins vite que les épaisseurs.
- 3) Il en est de même pour les durées comparées en fonction des températures à atteindre; elles augmentent également avec la température du traitement, mais pas d'une manière proportionnelle à cette température du fait que les calories sont distribuées à la demande du thermostat, d'autant plus abondamment que la température à atteindre est plus éle-



vée. D'autre part, il faut tenir compte de l'échauffement naturel du béton dû à la chaleur dégagée au cours de la prise.

Refroidissement.

Le refroidissement peut se faire à l'air ou sous eau. Pour ce dernier mode, l'eau peut être refroidie lentement à partir de la température du traitement, ou maintenue à une température inférieure à celle-ci.

Les essais de refroidissement se sont faits :

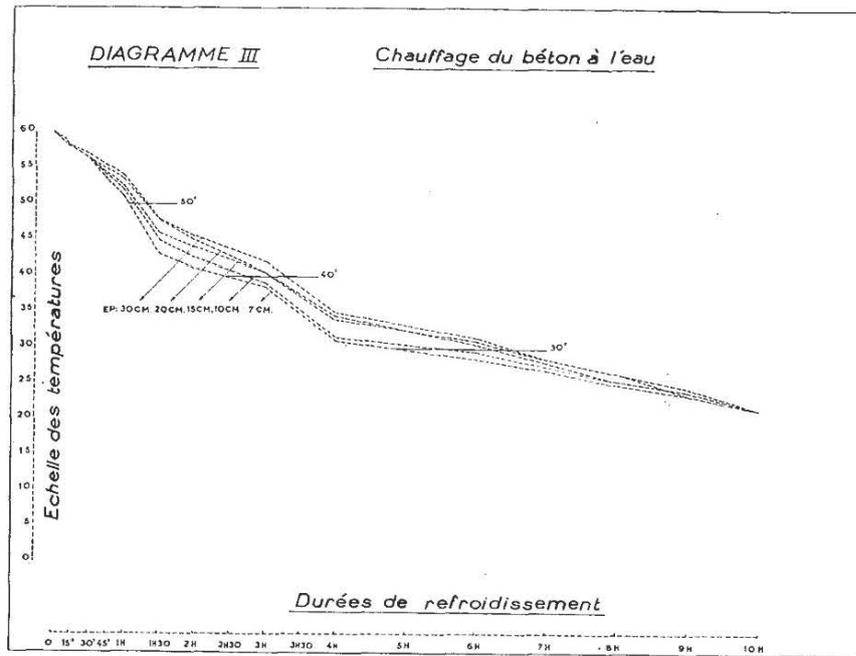
- 1) En partant de la température du traitement, l'eau, contenue dans un bac métallique non calorifugé, se refroidissant lentement.
- 2) En maintenant la température de l'eau à 20° par un apport extérieur.

- 3) De la même façon, l'eau d'apport étant à la température de 13°.

Le refroidissement sous eau maintenue à basse température demande de grandes quantités d'eau de circulation, et n'est guère pratique. Quant au refroidissement à l'air libre, on peut craindre un départ important d'eau sous forme de vapeur et dû retrait. Aussi avons-nous, en pratique, pour la réalisation de ce programme, adopté le refroidissement sous eau à partir de la température du traitement.

Toutefois quelques essais ont été réalisés en refroidissant les cubes sous eau refroidie et à l'air à 20°.

Les observations sont réunies dans trois tableaux et trois diagrammes, dont nous ne donnons que quelques extraits, à savoir : le refroidissement lent à partir de 60° (diagramme III).



On constate que le refroidissement sous eau chaude est très lent. Suivant la température, elle varie de 8 heures à une quinzaine d'heures pour reprendre la température de 20°. L'allure du refroidissement est différente également avec l'épaisseur du bloc, ce qui est logique, mais dans une mesure relativement peu marquée par suite de la longue durée du refroidissement.

Dans l'eau renouvelée à 20° et à 15°, les différences sont mieux marquées en fonction de la température de départ et surtout de l'épaisseur du bloc. C'est ainsi que pour retomber à 20°, il faut de 2 à 5 heures dans l'eau à 20° et de 15 minutes à 2 h. 15 dans l'eau à 15°.

Pour une épaisseur de 15 cm, elle est de 3 à 4 h à 20° et de 1 h 15 à 1 h 45 à 15°.

En conclusion.

Si la durée du traitement est de 11 heures, la durée totale du chauffage est calculée comme suit :
 a heures pour amener le béton à la température du traitement,
 n heures pour la durée du traitement,
 b heures pour la durée du refroidissement.

Recherches proprement dites.

CHAPITRE I.

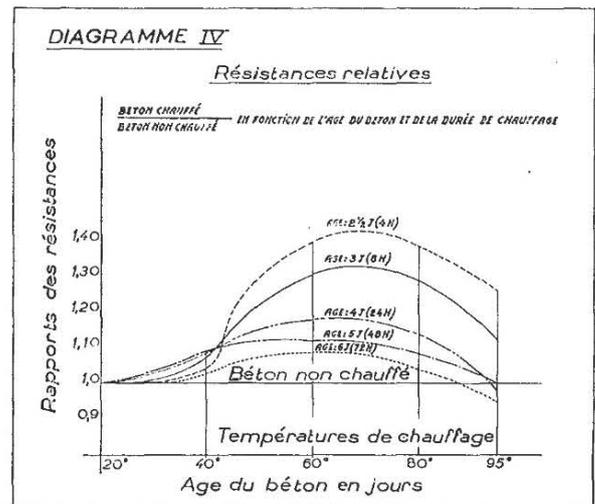
Influence du chauffage sur les résistances initiales.

A. — Effet de la température et de la durée du chauffage.

Les éprouvettes de béton ont été immergées à l'âge de 48 heures et chauffées respectivement pendant 4, 8, 24, 48 et 72 heures aux températures de 40°, 60°, 80° et 95°.

En même temps des éprouvettes ont été conservées sous eau à 20°. Les résistances ont été déterminées aux premiers jours et les valeurs relatives

portées au diagramme IV, où nous avons fait figurer quelques résultats provenant de nos propres



recherches, résultats identiques à ceux trouvés par le laboratoire G.P.C.

Au tableau VII on trouvera les résistances des bétons traités ou non à 60°.

TABLEAU I

Ages	Bétons traités à 60°	non traités
2 1/2 jours	336	240
3 jours	358	274
4 jours	384	326
5 jours	406	360
6 jours	428	392

On constate, et ceci est confirmé par tous nos essais, que la température optima est située entre 60° et 80°. De plus, les résistances relatives sont d'autant plus élevées que le béton est plus jeune au moment des essais. Cela provient sans doute du fait que plus la durée du chauffage est longue, plus le béton est âgé au moment des essais et par conséquent plus haute est la résistance du béton de référence non traité, ce qui a comme résultat de diminuer les différences relatives. L'effet du chauffage se fait donc surtout sentir au cours des premières heures du traitement, puis le durcissement du béton traité progresse relativement plus lentement que celui du béton de référence, c'est-à-dire du béton conservé à la température normale de 20° pendant toute la durée de la conservation.

Dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire lorsque le traitement se fait à 60°, le chauffage sous eau permet d'obtenir dès la fin du traitement des résistances égales à celles du même béton non traité âgé de 1 à 2 jours.

B. — Effet de l'âge du béton au moment de la mise en chauffage.

Dans les essais précédents, les bétons sont invariablement âgés de 48 heures au moment de leur mise en chauffage. Nous avons choisi cet âge parce qu'en hiver nous devons attendre deux jours avant de pouvoir les transporter. Mais comme en été nous pouvons les manipuler à un âge plus jeune, nous avons effectué des essais sur des bétons âgés de 0, 8, 24 et 48 heures.

D'autre part, les durées de chauffage ont été de 4, 8, 24, 48 et 72 heures. Toutefois, pour ne pas

surcharger le programme des recherches et comme nos essais préliminaires semblent démontrer que la température optima est située entre 60° et 80°, seul le chauffage à la température de 60° a été retenu.

Les résultats de ces essais exprimés en valeur relative sont consignés au diagramme V.

On en conclut qu'il y a avantage à provoquer l'accélération du durcissement pendant la prise du ciment. Il est préférable d'attendre que la prise soit en développement au moment de la mise du béton en chauffe (8 h.) plutôt que de chauffer celui-ci immédiatement après serrage. Il semble qu'une partie du temps initial nécessaire à la mise en marche de la prise pendant les premières heures qui suivent le gachage du béton, n'est pas si bien mise à profit si l'on chauffe le béton frais.

Jusqu'à une certaine durée de chauffage les résistances à la compression augmentent avec cette durée. Au delà de cette durée et au fur et à mesure que croît l'âge du béton, les résistances relatives diminuent sans toutefois s'égaliser. C'est ainsi qu'entre les résistances relatives des bétons traités 24 et 48 heures il existe toujours une différence en faveur des premiers.

L'avantage du chauffage est très marqué quand celui-ci est effectué au cours de la prise. Il s'atténue donc avec l'âge du béton et la durée du traitement quand celui-ci est trop prolongé.

CHAPITRE II.

Influence du refroidissement.

Il a été fait également des essais pour rechercher l'influence de la vitesse du refroidissement sur les résistances, mais pour la même raison que précédemment nous avons utilisé uniquement des bétons âgés de 48 heures au moment de la mise en chauffage et traités pendant 4, 8, 24, 48 et 72 heures à 60°, le refroidissement ayant lieu :

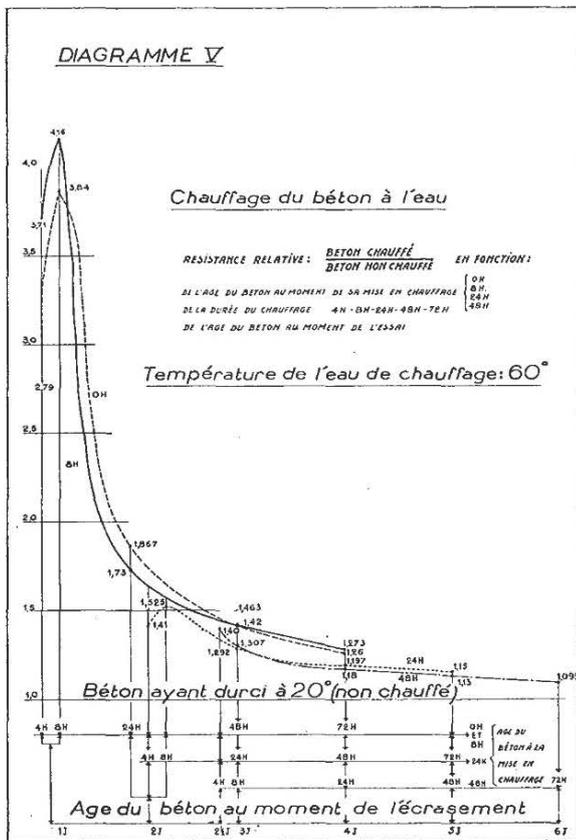
- 1) lentement sous eau, la température initiale de cette eau étant celle du traitement, soit 60°, et la durée du refroidissement 12 h,
- 2) rapidement en maintenant l'eau à la température de 20°, la durée étant de 3 h,
- 3) de la même façon la température de l'eau étant maintenu à 13°, la durée étant 1 h.

Nous avons également effectué au charbonnage des essais sur l'influence du refroidissement. Nous avons traité pendant 24 heures à 40°, 60°, 80° et 95° des cubes de 10 cm de côté.

Une première partie des éprouvettes fut refroidie sous eau maintenue à 20°, la deuxième à l'air et la troisième lentement sous eau.

Les résultats obtenus au laboratoire du G.P.C. concluent au peu d'influence du mode de refroidissement, sauf peut-être sur les bétons chauffés pendant un court laps de temps, c'est-à-dire quatre et huit heures.

Par contre, nos essais tentent à démontrer que le refroidissement a une influence appréciable surtout s'il se fait à l'air. Cette différence dans les conclusions provient sans doute de ce que nous avons laissé refroidir les cubes sous eau pendant



24 heures au lieu de 12 heures, comme l'a fait le G.P.C.

Pour les essais qui vont suivre, les bétons ont été refroidis lentement. En effet, les autres modes de refroidissement sous eau semblent conduire à une diminution des résistances, et demandent en outre la consommation de grandes quantités d'eau, ce qui est un inconvénient.

Chapitre III.

Influence du chauffage sur l'allure du durcissement ultérieur du béton.

A. — Première série d'essais. Effet de l'âge du béton au moment de sa mise en traitement et de la durée du chauffage.

Les éprouvettes à l'âge de 0, 24 et 48 heures ont été traitées pendant 4, 24 ou 72 heures à la température de 60°.

Les claveaux étant utilisés à l'âge de 3 à 6 mois, les résistances ont été observées jusqu'à l'âge de 182 jours. Les cubes après traitement ont été conservés sous sable humide à 18°. Les résultats, traduits en valeurs relatives, sont consignés au diagramme VI.

Le maximum de résistance est donné par un béton mis en chauffage à l'âge de 48 heures pendant 4 heures à la température de 60°.

Il se confirme que le gain des résistances des bétons traités est d'autant plus élevé que l'on con-

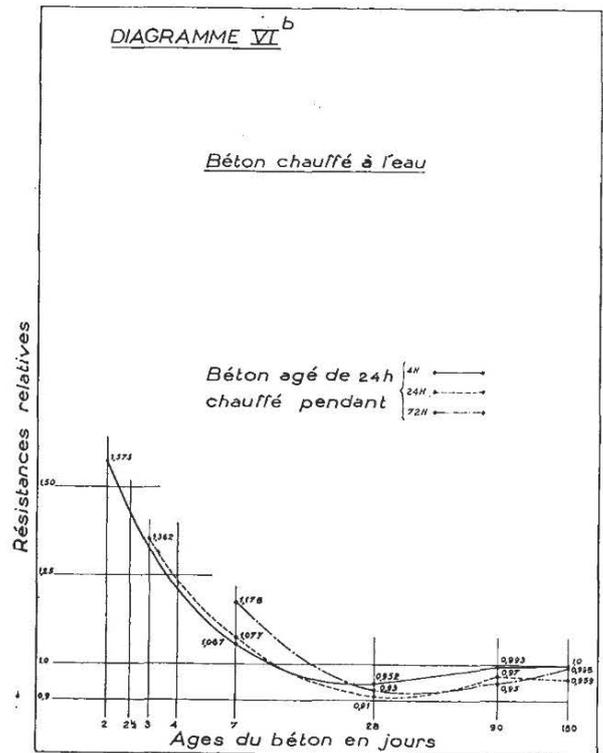
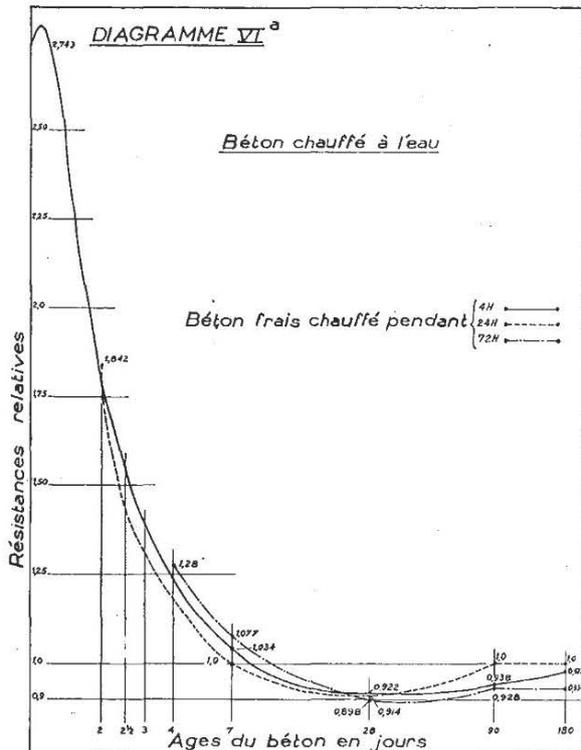
sont qu'un peu plus élevées (quelques % à 10 %) que celles des bétons dont le chauffage a cessé après 4 ou 24 heures.

Le durcissement accéléré initialement par le chauffage ne se poursuit ensuite à la température normale qu'à une allure ralentie, de telle sorte qu'à 28 jours les résistances ne valent plus que 90 à 95 % des bétons ayant durci en permanence à 18°.

Ce ralentissement dans le développement des résistances entre 7 et 28 jours n'est que passager, les courbes de durcissement reprennent une allure croissante de 28 jours à 182 jours. En effet, à 3 mois et à 6 mois les résistances atteignent en moyenne 95 à 100 % des résistances des bétons de référence non traités.

On peut dire qu'il y a pratiquement équivalence entre les résistances finales des bétons traités ou non quelle que soit la durée du traitement. Nous verrons plus loin que cette conclusion n'est pas toujours vraie en pratique. Les bétons fabriqués en hiver et traités ont toujours donné des résistances supérieures à celles des mêmes bétons non traités et conservés aux intempéries.

B. — Deuxième série d'essais. — Effet de la température.



sidère la résistance à un âge plus jeune et que, dans une certaine mesure, le traitement a été moins long.

A l'âge de 4 ou 7 jours les bétons chauffés pendant 72 heures ont en effet des résistances qui ne

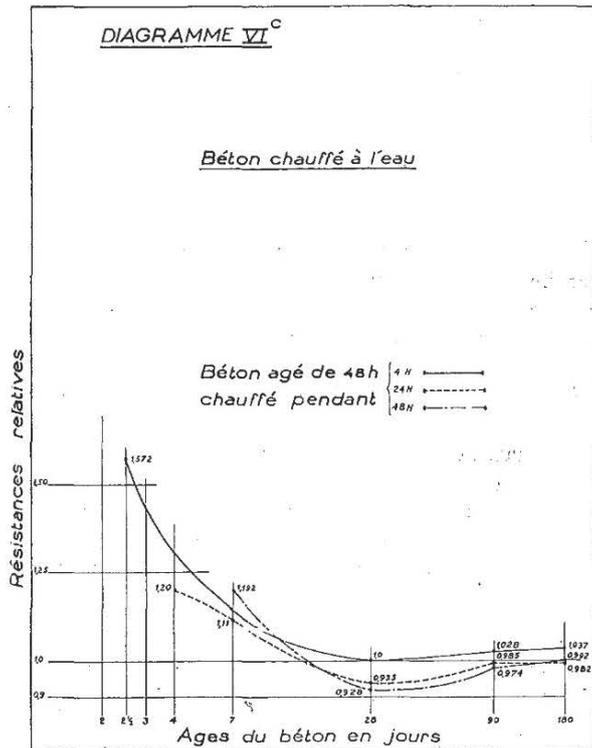
Au cours de ces essais, les bétons âgés de 48 h ont été traités aux températures de 40°, 60° et 80° pendant 24 heures. Les résistances ont été observées jusqu'à 182 jours.

Dans son rapport, le laboratoire G.P.C. conclut comme suit : « Il apparaît que les températures élevées de chauffage sont moins favorables au développement ultérieur des résistances. La température optimum semble donc être, pour les résistances d'un grand âge, de 40° »

Ces recherches confirment que pour toutes les températures de chauffage il se présente un ralentissement du durcissement ultérieur entre 7 et 28 jours suivi d'une reprise du durcissement après 28 jours.

C. — Effet de la conservation initiale à basse température.

Ces recherches ont eu comme but de se rapprocher de ce qui se passe en chantier, la température de conservation y étant souvent inférieure à 18°. Les températures choisies ont été + 10° et + 3°.



Aussitôt après fabrication, les bétons ont été plongés dans un bain d'eau froide pendant 48 h ou 7 jours. Une partie des éprouvettes conservées pendant 48 heures à basse température a été ensuite traitée à 60° pendant 24 heures.

En conclusion, le laboratoire G.P.C. constate que :

1) Les bétons conservés initialement à basse température pendant 48 heures se montrent très sensibles au froid aux âges jeunes; en effet, à 2 jours on n'obtient à 10° que la moitié de la résistance à 18° et à 3° le quart seulement. Mais un durcissement ultérieur à 18° amène rapidement (en 10 à 15 jours) les résistances à être équivalentes à celles des bétons ayant durci en permanence à 18°.

Si l'on porte à 60° pendant 24 heures le béton qui a commencé son durcissement à basse température, on augmente ses résistances dans des proportions importantes dans les premiers jours qui suivent (4 à 7 jours). Les résistances sont au moins

de l'ordre de celles des bétons que l'on a traités, également pendant 24 heures à 60° après 48 heures de premier durcissement à la température normale de 18°.

Le traitement à l'eau chaude est donc particulièrement efficace pendant la période hivernale. Si, après quelques jours de durcissement à température basse, on peut porter à 18° la température de conservation de ces bétons, on leur assure déjà une résistance normale au bout de 3 à 4 semaines.

Mais le chauffage intermédiaire à 60° pendant 24 heures accélère fortement le développement des résistances.

2) Pour les bétons conservés initialement pendant 7 jours à température basse, la conservation ultérieure à 18° semble être particulièrement favorable à un rapide développement des résistances.

En fait, les recherches conduisent à cette conclusion, plutôt inattendue mais confirmée par plusieurs essais effectués avec des ciments différents, que dans ces conditions les résistances à 28 jours, 3 mois et 6 mois deviennent supérieures à celles qu'ont données aux mêmes âges tous les autres modes de conservation.

Et ceci peut paraître paradoxal, en été il serait préférable d'immerger initialement les claveaux dans de l'eau dont la température serait maintenue à 18°, puis de les conserver à l'extérieur à une température qui variera de 15° à 20°.

Il serait donc du plus haut intérêt de voir confirmer ces observations.

Effet du chauffage sur les résistances des bétons conservés aux intempéries.

Ces essais ont eu comme but de comparer les résistances de bétons fabriqués en chantier, traités ou non, et conservés sur ce même chantier, exposés de la sorte aux intempéries, vents secs, gelées, etc...

Nous avons donc réalisé toute une série d'essais en utilisant le béton de chantier servant à la fabrication des claveaux. Une première partie des éprouvettes fut traitée puis conservée en chantier, la seconde, non traitée, étant conservée comme la première.

Les essais ont été faits aux températures de 40°, 60°, 80° et 95°.

En outre, nous contrôlons la qualité des bétons fabriqués en prélevant chaque jour dix-huit échantillons de béton que nous vibrons en cubes de 10 cm de côté. Ces éprouvettes sont conservées 1/3 sous eau à 19°, un 1/3 traité comme les claveaux et après refroidissement conservé en chantier comme eux, enfin le dernier 1/3 est exposé directement aux intempéries.

Au tableau II figurent à titre d'exemple les résistances moyennes bimensuelles obtenues pour les mois de janvier et février 1944.

On constate que, quel que soit l'âge, les bétons, fabriqués en hiver et traités, présentent toujours des résistances supérieures à celles des mêmes bétons non traités. Par contre, en été c'est l'inverse qui se produit à partir du septième jour.

TABLEAU II

Comparaison des résistances des bétons du chantier Helchteren et Zolder, suivant traitement et condition de conservation.

Age au moment des essais	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION EN :							
	JANVIER				FEVRIER			
	1/15		16/31		1/15		16/28	
	chauf	non	chauf	non	chauf	non	chauf	non
24 h	—	26	—	35	—	56,8	—	43,5
3 j	369,3	90,4	403,0	99,0	437,6	199,4	344,5	145,2
7 j	378,9	176,5	416,3	268,6	460,6	322,7	367,0	262,7
28 j	623,3	515,5	862,5	567,1	690,0	627,0	600,0	565,0
91 j	774,0	706,6	784,0	725,8	851,0	827,0	837,0	817,7

CHAPITRE IV.

Influence de la nature et de la qualité du ciment.

Des essais effectués en utilisant un ciment Portland normal (P.N.) et un ciment de haut-fourneau (H.F.N.) ont montré que :

- 1) Le chauffage est surtout efficace au jeune âge et d'autant plus que le ciment est à prise plus lente,
- 2) malgré cela et quel que soit l'âge du béton au moment des essais, les résistances du béton de H.F.N. restent toujours inférieures à celles du P.H.R.,
- 3) après quelque temps, les effets du chauffage ne se font plus sentir. A partir de 28 jours, les résistances sont inférieures à celles des bétons non traités.

Pour autant qu'après traitement, le durcissement se poursuive en permanence à 18°, nous pouvons conclure que :

- 1) Si l'on chauffe à 60° des bétons dont le premier durcissement s'est effectué sous eau à basse température, on constate aux premiers jours une augmentation importante des résistances, mais dans la suite cette augmentation n'est pas maintenue et l'on voit les résistances relatives se rapprocher rapidement de l'unité, voire lui être inférieures, surtout pour la période s'étendant de 28 à 91 jours.
- 2) Les essais confirment également les conclusions avantageuses tirées des essais faits sur béton conservé 48 heures ou 7 jours à basse température, mais dont le durcissement s'est effectué à la température de 18°.

Il serait intéressant de poursuivre ces essais et voir jusqu'à quel degré la « jarovisation » du béton peut être poussée et quelle est son influence sur les résistances à longue échéance.

Comme l'influence de la nature des matériaux est nulle ou tout au moins négligeable, nous passerons immédiatement à la dernière partie de notre exposé.

CHAPITRE V.

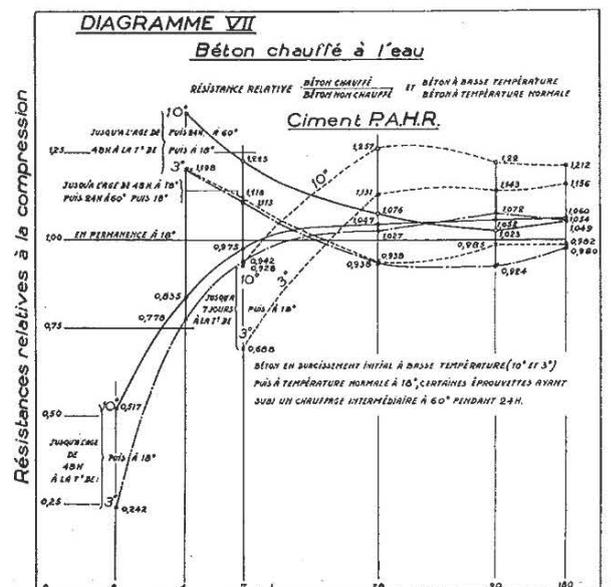
Chauffage et refroidissement brusque.

Nous avons complété ce programme par des recherches sur l'influence du chauffage et du refroidissement brusque des bétons. Les éprouvettes dans leur moule ont été plongées dans un bain d'eau chaude (40°, 60°, 80° et 95°) immédiatement après serrage. La durée du traitement a été de 1, 2 et 4 heures.

Le chauffage terminé, les moules ont été retirés du bain et les éprouvettes démoulées immédiatement. Une partie de ces éprouvettes a été écrasée aussitôt cette opération terminée. L'autre partie a été conservée aux intempéries jusqu'au moment des essais.

Nous constatons que :

- 1) Les résistances obtenues par ce traitement immédiatement après démoulage augmentent rapidement avec la température de l'eau d'immersion et la durée du traitement. En 4 heures, à 100°, on arrive déjà à des résistances importantes;



- 2) en hiver, le chauffage brusque permet d'obtenir quelques heures après fabrication des résistances égales à celles des mêmes bétons non traités âgés de 3 jours;
- 3) seules les éprouvettes traitées à 40° présentent toujours des résistances ultérieures supérieures à celles des mêmes bétons non traités; pour les autres températures, les résistances sont d'autant plus faibles que la durée du chauffage est plus courte.

Ce mode opératoire par durcissement initial accéléré est utilisé au contrôle de la fabrication de nos bétons. Des éprouvettes de béton du chantier sont immergées dans un bain d'eau portée à la température de 100° pendant deux heures, puis, sitôt le démoulage terminé, écrasées. Les variations de résistance observées correspondent bien à celles constatées dans la suite sur les éprouvettes conservées normalement.

CONCLUSIONS GENERALES

1. — L'immersion du béton dans l'eau chaude accélère fortement les résistances initiales. Elle les augmente de 3 à 4 fois à 24 heures, et même déjà avant 24 heures, et encore de 30 à 40 % à l'âge de 3 jours, par rapport aux résistances des mêmes bétons conservés en permanence à 18°. En fait, aux premiers âges, le chauffage du béton fait avancer de quelques jours le durcissement du béton comparativement à son durcissement normal à 18°. Mais, comparées aux résistances atteintes en fabrication hivernale, les résistances du béton chauffé sont plus élevées d'au moins 4 fois à 3 jours, et d'au moins 2 fois à 7 jours. Dans les mêmes conditions, à 24 heures, l'accélération du durcissement est encore plus fortement marquée.

2. — Le gain de résistance des bétons chauffés puis conservés dans la suite à 18° ne se maintient pas avec l'âge. Les bétons fabriqués à température basse puis chauffés, et ensuite mis en stock à découvert en période hivernale montrent une amélioration sensible de leurs résistances avec l'âge (de 16 à 20 % à 90 et à 180 jours) par rapport à celles des mêmes bétons conservés en permanence sur le chantier.

3. — Le traitement thermique des bétons est donc particulièrement intéressant en hiver pour le

travail en chantier, car il permet de fabriquer quelle que soit la température ambiante tout en évitant une diminution des résistances.

Comme autres conséquences heureuses, ce traitement permet :

- a) de supprimer le chômage hivernal du personnel affecté à la fabrication des claveaux et d'assurer à ce dernier la même stabilité d'emploi qu'aux autres ouvriers;
- b) d'utiliser le matériel pendant toute l'année, d'où, pour une même production, moins de tables vibrantes, moins d'aires de fabrication, etc., et, par conséquent, moins de frais d'amortissement;
- c) de supprimer les stocks destinés à assurer à l'exploitation les claveaux nécessaires pendant les arrêts de fabrication en hiver, stocks qui immobilisent des sommes parfois considérables;
- d) en cas d'urgence, et en toute saison, de permettre immédiatement la mise en œuvre de tous agglomérés sans nécessiter la constitution de stocks plus ou moins importants.

4. — La température optima du chauffage est de 60 à 80° C pour accélérer le durcissement initial et de 40° si l'on envisage le meilleur durcissement ultérieur.

5. — Il est préférable de ne mettre les bétons en chauffage que 8 heures au moins après leur fabrication. Des conditions favorables et économiques consistent à chauffer pendant 4 heures le béton âgé de 2 jours.

6. — La nature du ciment a une grande influence, surtout sur les résistances initiales.

7. — La nature des agrégats est sans influence.

8. — Un béton conservé, immédiatement après serrage, à basse température (3° à 10°) pendant 7 jours et ensuite à 18° atteint des résistances supérieures à celles du même béton traité quel que soit le mode de traitement.

9. — Il est conseillé de procéder, après chauffage, au refroidissement lent sous eau.

10. — En résumé, le chauffage des bétons est intéressant en toutes périodes, pour atteindre des résistances initiales élevées et en période hivernale pour poursuivre les fabrications tout en maintenant de bonnes résistances.

De thermische behandeling van beton

SAMENVATTING.

In deze studie worden de verschillende opzoekingen uiteengezet die uitgevoerd werden om de invloed na te gaan, welke de onderdompeling in warm water uitoefent op de weerstand van het beton en de toepassing van deze behandeling op het vervaardigen van betonblokken voor de bekleding der ondergrondse steengangen, besproken.

De uitwerking van de temperatuur, de verwarmingsduur, de wijze van afkoeling, de invloed van de aard en de hoedanigheid van het cement en de kiezel werden bestudeerd.

De uitslagen van deze opzoekingen, verricht in samenwerking met het Laboratorium van het G.P.C., tonen aan dat thermische behandeling van beton bijzonder van belang is tijdens de winterperiode, omdat de stilstand in de fabricatie hierdoor voorkomen wordt, terwijl aan het beton een weerstand verzekerd wordt die onder alle oogpunten gelijk is aan deze bekomen tijdens het goede seizoen.