

Du comportement au feu de poutres en béton

Autor(en): **Adam, Michel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **10 (1976)**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-10437>

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.

IIIc

Du comportement au feu de poutres en béton

Brandverhalten von Betonträgern

On Fire Behaviour of Concrete Beams

MICHEL ADAM

Ingénieur des Arts et Manufactures

U.T.I.F.N.B.T.P.

Paris, France

1. CONCEPTION D'UNE STRUCTURE EN BETON FACE AU FEU.

1.1. CONTEXTE ACTUEL.

Il est très difficile de pouvoir apprécier le comportement au feu d'une structure car la sanction de la tenue effective au feu n'est pas réalisable sur les ouvrages réels, sauf à provoquer un incendie dont les conséquences sont sans commune mesure avec le but recherché.

A défaut, un certain nombre de précautions sont prises concernant, par exemple, la protection de la structure, ou l'étude sur une partie de celle-ci de son comportement lors d'essais dans des fours.

En France notamment, jusqu'à la fin de l'année 1975, la seule justification admise légalement [1] était l'essai dans un four chauffé selon un programme respectant la courbe de température définie par l'ISO :

$$(1) \quad T - T_0 = 345 \log_{10} (8 t + 1)$$

T : température en degrés Celsius au voisinage de l'échantillon

T₀ : température initiale

t : temps en minutes

d'un ou plusieurs éléments de la construction concernée.

Compte tenu du nombre restreint de laboratoires possédant des fours équipés à cet effet (dimensions, capacités de chauffe et de contrôle importantes), seule une proportion extrêmement faible des constructions existantes a bénéficié de ce genre d'essais.

Encore devons-nous préciser que, même dans ce cas, l'élément pris isolément est rarement représentatif de son homologue situé dans le contexte de la construction réelle, les conditions de liaisons hyperstatiques ne pouvant être respectées au fur et à mesure que la température s'élève.

En plus, pour le béton, les essais sont en général effectués sur des éléments ayant à peine plus de trois mois d'âge alors que ce matériau continue à évoluer avec le temps de manière considérable, notamment en ce qui concerne sa

teneur en eau libre, laquelle joue un rôle très important dans la tenue au feu.

C'est pourquoi les représentants, aussi bien des administrations concernées que des constructeurs, ont estimé qu'il convenait de repenser les modes de conception de la sécurité face à l'incendie et ont établi une *METHODE DE PREVISION PAR LE CALCUL DU COMPORTEMENT AU FEU DES STRUCTURES EN BETON*, dit plus simplement "D.T.U. FEU", dont le texte initial établi en 1972 a fait l'objet d'une refonte en octobre 1974 et d'additifs en mai 1975. |²|

Cette orientation diffère notablement de la plupart des positions prises actuellement |³, ⁴, ⁵| qui consistent à définir, en se basant sur des essais, des dimensions hors tout des pièces, des enrobages et des dispositions constructives concernant les armatures en fonction des matériaux utilisés, et à tenir compte des protections éventuelles.

1.2. RECOURS AU CALCUL.

Afin d'introduire l'action du feu dans les calculs, il convient de partir d'un certain nombre d'hypothèses et de s'assurer de leur fiabilité.

Certaines de celles-ci ne peuvent être qu'arbitraires, faute de pouvoir standardiser les incendies qui dépendent :

- du potentiel calorifique des matériels et matériaux existant dans les locaux concernés,
- des conditions de ventilation,
- des locaux environnants,
- de la structure et de sa géométrie ;

ainsi, nous avons admis comme hypothèse de base la courbe ⁽¹⁾ de montée en température en surface des éléments calculés. En fonction du flux de chaleur défini de la sorte, il est possible de déterminer la distribution des températures dans les éléments en utilisant l'équation de Fourier qui, pour des problèmes plans, peut être facilement transformée en équation aux différences finies.

Dès lors, la méthode permet d'apprécier :

. les températures atteintes sur la face non exposée d'un élément, et en conséquence d'en connaître le comportement en tant qu'isolation thermique (*notion de coupe-feu*),

. les températures atteintes dans la masse même des éléments et, en fonction des coefficients de dilatation thermique des matériaux, les effets complémentaires provoqués dans la structure. En tenant compte des connaissances actuelles concernant l'incidence de la température sur les diverses caractéristiques mécaniques des matériaux (contrainte nominale de rupture, allongement, module d'élasticité...), on peut également à chaque instant calculer les conditions de rupture d'une section droite quelconque.

La comparaison, pour tout ou partie de la structure, de la charge de rupture qui en découle avec la charge de service permet de déterminer le moment à partir duquel *la stabilité au feu n'est plus assurée*.

1.3. JUSTIFICATION DU CALCUL.

Parmi les méthodes de justification possibles d'après le document D.T.U. FEU, plusieurs solutions **existent** :

- Soit le respect de *règles simples* très analogues à celles que l'on retrouve dans les Recommandations FIP-CEB |⁴| qui sont essentiellement des dispositions constructives complémentaires du calcul à froid où les dimensions des pièces ou des enrobages sont imposées en fonction de la durée envisagée pour la stabilité au feu. Soulignons toutefois que, pour des données géométriques éga-

les, le D.T.U. FEU est plus pessimiste quant à la durée de tenue au feu que les Recommandations FIP-CEB.

- Soit *des calculs à rupture* à partir des résultats de température trouvés.
- Soit *des calculs de température et de rupture*.

Dans ces deux derniers cas, il a fallu vérifier la bonne représentativité des méthodes proposées, ce qui était aisé pour certains éléments tels que :

- les dalles homogènes,
- les poteaux,

pour lesquels de nombreux essais sont relatés avec détails dans la littérature spécialisée, mais bien plus difficile dès que les éléments concernés sont composés de plusieurs couches ou comportent des profils complexes, tels que les poutres à talon ou les poutres en T.

- Soit enfin *par des essais*.

2. PROGRAMME DE RECHERCHE.

C'est donc pour contrôler le bien fondé des méthodes proposées qu'un programme d'étude a été décidé, lequel a porté au cours d'une première phase, aujourd'hui achevée, sur la distribution des températures dans des poutres rectangulaires en T et à talon, puis se poursuit actuellement avec :

- l'étude des bicouches (dalles constituées d'une prédalle de 5 cm préfabriquée et d'une couche de 6 à 10 cm de béton coulé en place),
- l'étude de l'éclatement des dalles chauffées sur une seule face et soumises à divers gradients de contrainte,
- l'étude de la redistribution des contraintes au cours de la formation de rotules sur les appuis des poutres continues,
- ainsi que l'étude du rôle de l'eau libre.

Ces diverses études, aujourd'hui entamées, feront l'objet de publications ultérieures et seule l'étude de la distribution des températures dans les poutres est ici abordée.^[6]

2.1. PROFILS ETUDIÉS.

24 poutres ont été étudiées représentant 12 cas différents :

- 5 poutres en T rectangulaires de dimensions (en cm) :

Type	aile		â m e	
	largeur	épaisseur	largeur	hauteur
1	100	6	12	30
2	150	8	15	40
3	200	10	20	50
4	250	12	25	60
5	300	14	30	70

- 3 poutres du type 3 précédent protégées par une couche de plâtre spécial contenant notamment de la vermiculite, de 1, 2 et 3 cm ;

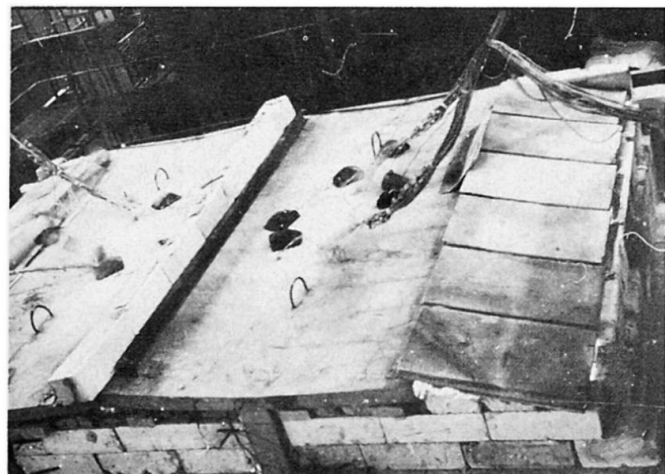
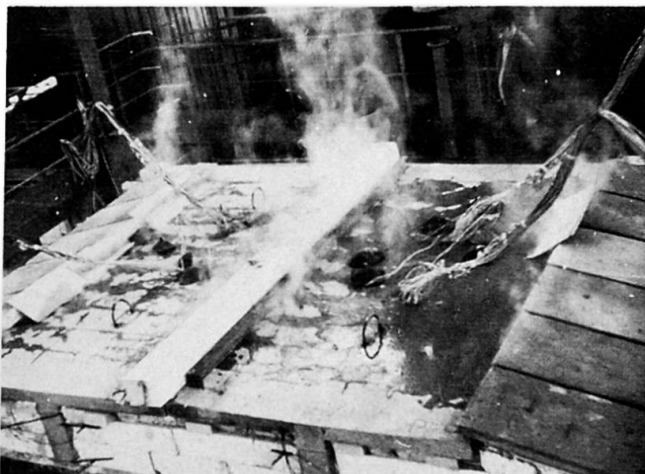
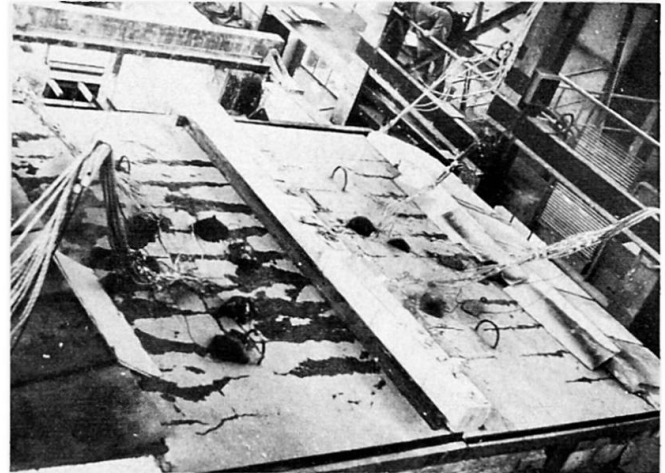
- 4 poutres en T à talon de dimensions (en cm) :

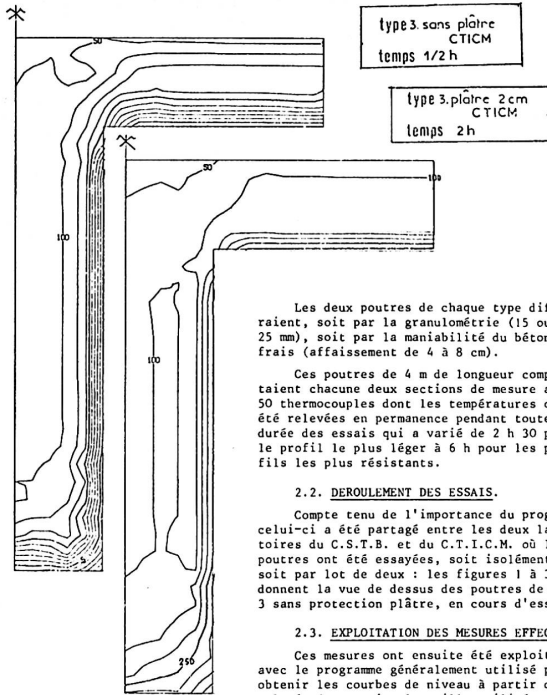
Type	aile		â m e			
	largeur	épaisseur	largeur		hauteur	
			talon	partie mince	totale	talon
1'	150	10	25	9	60	8
2'	150	10	25	9	60	15
3'	150	10	26	15	60	8
4'	150	10	25	15	60	15

Fig. 1. Vue 18 minutes après l'allumage, la poutre faite avec le béton à plus forte maniabilité "rend" beaucoup plus d'eau.

Fig. 2. Vue 21 minutes après l'allumage, la vapeur commence à apparaître.

Fig. 3. Vue 2 heures après l'allumage : le dessus des poutres est sec, il n'y a pratiquement plus dégagement de vapeur.





Isothermes tous les 50 degrés

**ISOTHERMES
RESULTATS D'ESSAIS**

Fig. 4.

En un point donné de la section, en fonction du temps, nous retrouvons des paliers que nous donnons sur la figure 6 pour la poutre de type 2' ; il en est de même pour les poutres rectangulaires.

Les deux poutres de chaque type différaient, soit par la granulométrie (15 ou 25 mm), soit par la maniabilité du béton frais (affaissement de 4 à 8 cm).

Ces poutres de 4 m de longueur comportaient chacune deux sections de mesure avec 50 thermocouples dont les températures ont été relevées en permanence pendant toute la durée des essais qui a varié de 2 h 30 pour le profil le plus léger à 6 h pour les profils les plus résistants.

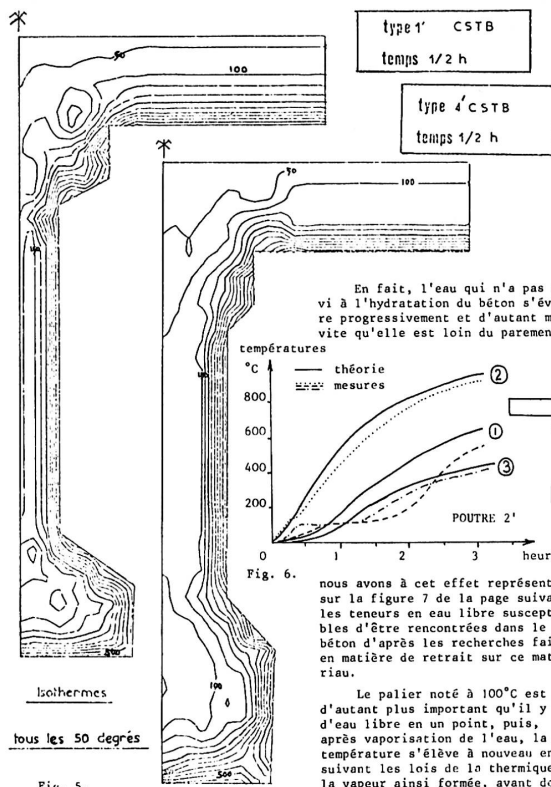
2.2. DEROULEMENT DES ESSAIS.

Compte tenu de l'importance du programme, celui-ci a été partagé entre les deux laboratoires du C.S.T.B. et du C.T.I.C.M. où les poutres ont été essayées, soit isolément, soit par lot de deux : les figures 1 à 3 donnent la vue de dessus des poutres de type 3 sans protection plâtre, en cours d'essai.

2.3. EXPLOITATION DES MESURES EFFECTUEES.

Ces mesures ont ensuite été exploitées avec le programme généralement utilisé pour obtenir les courbes de niveau à partir des relevés de terrain, la maille utilisée a varié selon les poutres de 12,5 à 25 mm.

Nous donnons sur les figures 4 et 5 quelques résultats ainsi obtenus ; on notera sur la figure 4 la très large plage correspondant à l'isotherme 100°C : la vaporisation de l'eau et son éventuelle recondensation jouent un rôle très important dans le comportement du béton.



Isothermes
tous les 50 degrés

Fig. 5.

**ISOTHERMES
RESULTATS D'ESSAIS**

En fait, l'eau qui n'a pas servi à l'hydratation du béton s'évapore progressivement et d'autant moins vite qu'elle est loin du parement ;

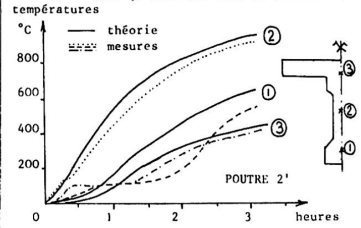


Fig. 6.

nous avons à cet effet représenté sur la figure 7 de la page suivante les teneurs en eau libre susceptibles d'être rencontrées dans le béton d'après les recherches faites en matière de retrait sur ce matériau.

Le palier noté à 100°C est d'autant plus important qu'il y a d'eau libre en un point, puis, après vaporisation de l'eau, la température s'élève à nouveau en suivant les lois de la thermique ; la vapeur ainsi formée, avant de s'échapper (figure 2), peut se condenser dans une zone froide dont elle élève prématurément la température à 100°C (courbe 3 expérimentale de la figure 6). Ce phénomène

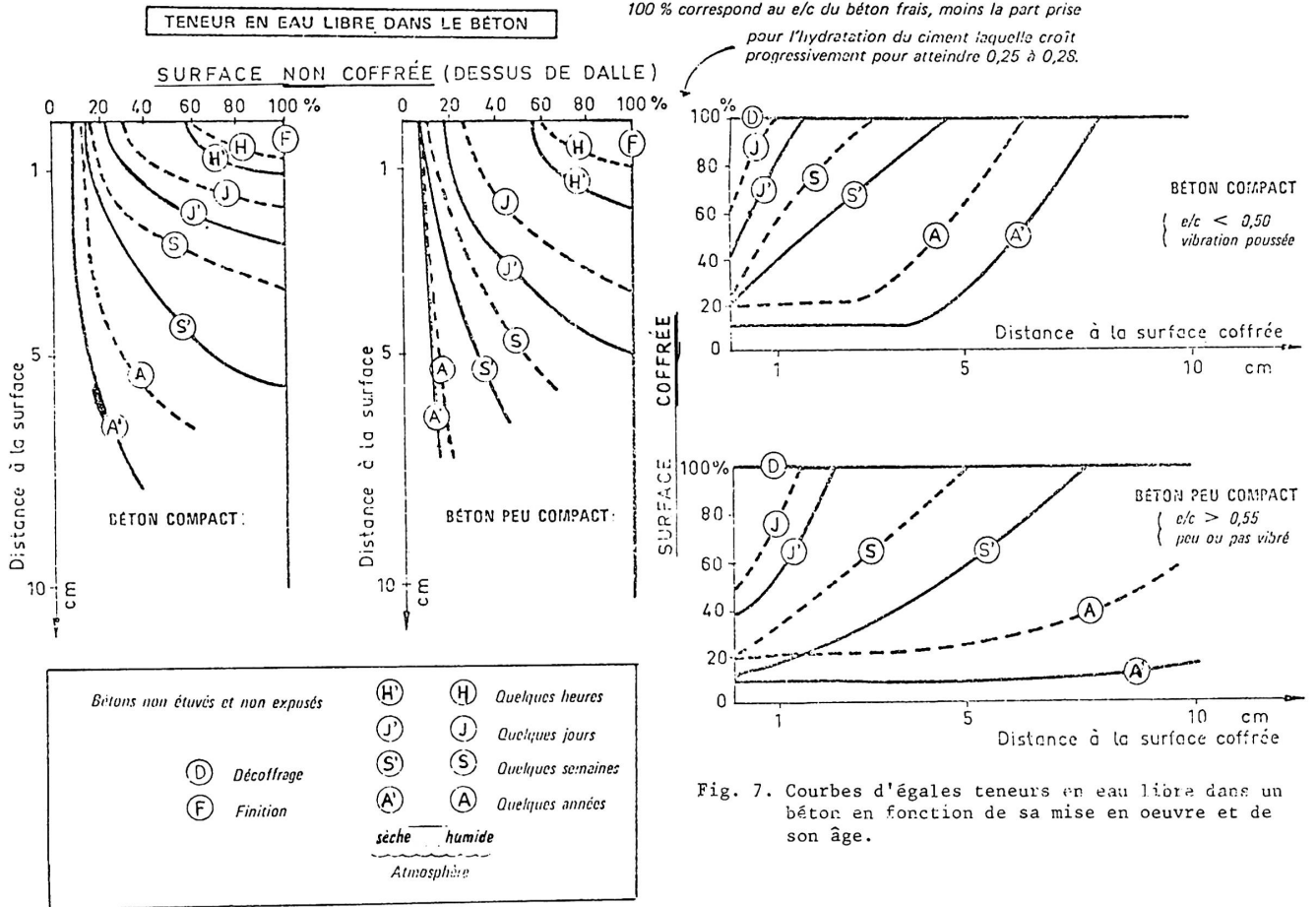


Fig. 7. Courbes d'égales teneurs en eau libre dans un béton en fonction de sa mise en oeuvre et de son âge.

est sans incidence sur le comportement du béton autre que les dilatations correspondantes.

En ce qui concerne les *poutres protégées par du plâtre*, les essais ont montré qu'il est très difficile d'énoncer une loi simple, mais que la proposition adoptée dans le D.T.U. FEU (équivalence de 2,5 cm de béton par centimètre de plâtre) est largement dans le sens de la sécurité; en effet on constate une équivalence plus forte dans les zones très exposées ($x < 25$ cm sur la figure 8), ces valeurs étant légèrement réduites lorsque l'on fait la correction correspondant au palier constaté à 100°C.

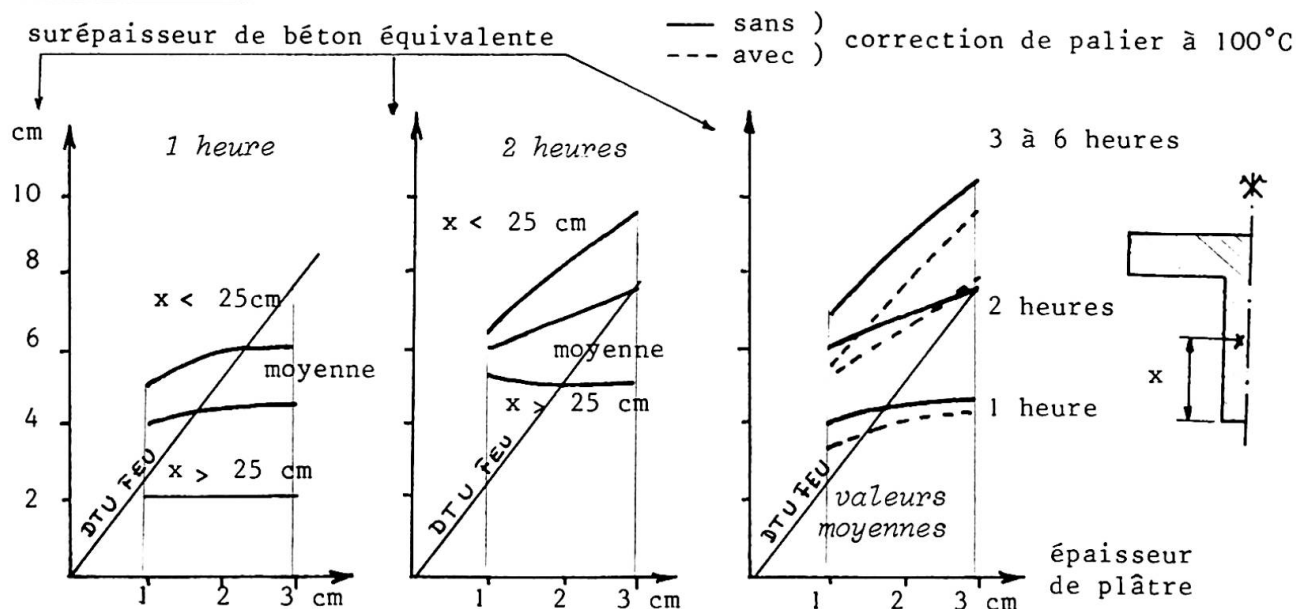


Fig. 8.

3. CONCLUSION.

L'étude de la concordance de la méthode de calcul proposée dans le D.T.U. FEU avec l'expérience montre que l'on peut considérer trois zones dans les poutres non protégées (figure 9) :

- la zone 1 constituée par une bande périphérique de 1 cm où les températures calculées sont légèrement inférieures aux valeurs mesurées;
- la zone 2 formée d'une bande de 5 cm environ où se trouvent en général les armatures et pour laquelle la concordance des températures mesurées et calculées est parfaite, et toujours dans le sens de la sécurité;
- la zone 3 au centre où les températures mesurées sont nettement inférieures aux valeurs de calcul en raison du décalage provoqué par la présence de l'eau libre.

Pour tenir compte de ces faits, M. COIN a proposé un programme ^[6] applicable à la méthode aux différences finies dans laquelle on adopte pour chaque maille une teneur en eau libre pouvant varier de 0 à 150 litres/m³, qu'il est aisé de définir d'après la figure 7.

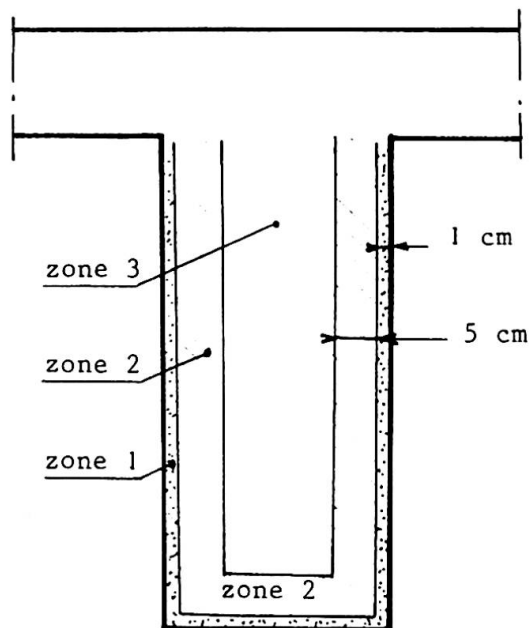


Fig. 9.

L'application de ce programme donne une excellente concordance de la théorie et de l'expérience pour les zones 2 et 3, seul le comportement de la peau sur 1 cm d'épaisseur reste difficile à déterminer mais a peu d'incidence sur la stabilité de la structure.

--

- BIBLIOGRAPHIE -

- |¹| Arrêté du 5 janvier 1959 du Ministère de l'Intérieur de la République Française.
- |²| METHODE DE PREVISION PAR LE CALCUL DU COMPORTEMENT AU FEU DES STRUCTURES EN BETON (D.T.U. FEU) - Document Technique Unifié publié dans les Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Octobre 1974 et Avril 1975).
- |³| Fire and Buildings, par T.T. LIE. Ed. Applied Sciences Ltd., Londres 1972.
- |⁴| Guide to Good Practice, FIP/CEB Recommendations for the design of reinforced and prestressed concrete structural members for fire resistance. Londres Juin 1975.
- |⁵| Fire resistance of concrete structures. The Concrete Society. Londres Août 1975.
- |⁶| Prévisions par le calcul du comportement au feu des structures et techniques actuelles de protection. Journées techniques des 28 et 29 octobre 1975 (à paraître en 1976 dans les Annales de l'I.T.B.T.P., Paris).

RESUME - La communication, après avoir rappelé le contexte dans lequel se situe traditionnellement l'étude des structures vis-à-vis de l'incendie, et notamment la justification du bon comportement d'un ouvrage à partir de celui d'un ou de plusieurs de ses éléments soumis à une exposition plus ou moins longue à la chaleur dans un four, indique la tendance actuelle qui consiste à faire ces mêmes justifications d'après le calcul de la structure. Pour justifier ces calculs, un important programme d'essais a porté depuis 1973 sur 24 grandes poutres dont l'exploitation des mesures fait ressortir la bonne concordance des calculs et des mesures ainsi que la nécessité de prendre en considération en chaque point des sections étudiées la teneur en eau libre du béton.

ZUSAMMENFASSUNG - Um das Brandverhalten von Bauwerken besser zu verstehen, wurde in Frankreich eine neue Methode entwickelt. Seit 1973 wurde ein breites Versuchsprogramm auf 24 grossen Trägern durchgeführt. Die Resultate gaben eine Uebereinstimmung der Berechnungen mit den Messungen, sowie die Notwendigkeit, in jedem Punkt der untersuchten Profile den Freiwassergehalt des Betons in Betracht zu ziehen.

SUMMARY - A method has been developed in France, in order to investigate thoroughly the fire behaviour of concrete beams. An important testing program was carried out from 1973 on 24 large beams. Results show a good correspondance between calculations and measures, as well as the necessity to consider the water contents of the concrete in every point of any profile considered.