

Les ciments expansifs et l'autocontrainte du béton

Autor(en): **Lossier, Henry**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-4093>

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.

IIa1

Les ciments expansifs et l'autocontrainte du béton

Die Schwellzemente und die Selbstvorspannung des Betons

Expanding cements and self-prestressing of concrete

HENRY LOSSIER

Paris

Les expériences effectuées depuis plus d'un demi-siècle sur des matériaux fragiles tels que le cristal, la fonte de fer, les produits céramiques et le béton, ont illustré les remarquables propriétés de résistance et de ductilité que leur confère la triple étreinte convergente.

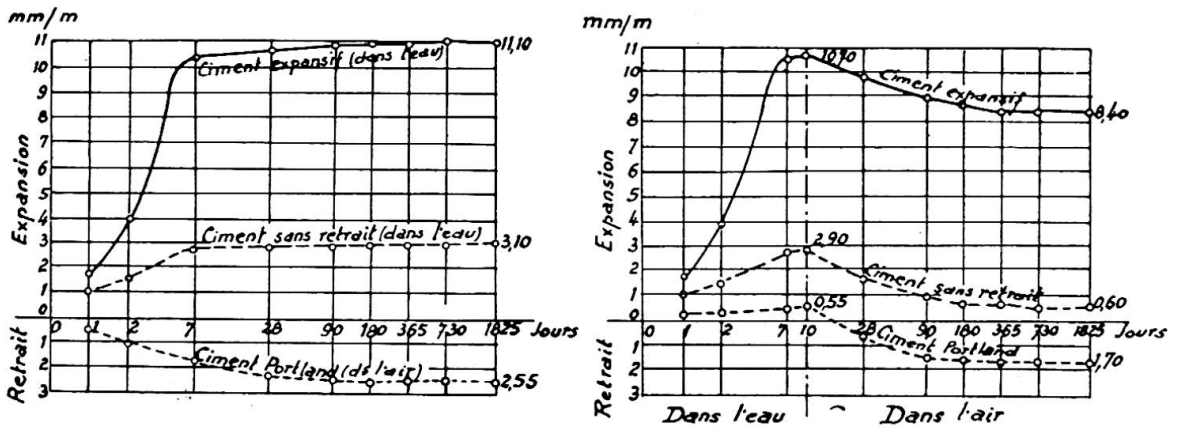
Après avoir, dès 1924, tenté d'utiliser les procédés d'Emperger pour obtenir la double et la triple étreinte du béton, j'envisageai, dès 1925, une méthode entièrement différente. Tandis que les divers procédés utilisés depuis 1888 consistaient à comprimer le béton par des contraintes agissant de l'extérieur, j'envisageai au contraire de *provoquer le gonflement du béton lui-même, dans toutes les directions, puis d'utiliser sa force expansive soit pour tendre des armatures, soit pour agir comme des vérins contre des maçonneries ou des terrains, soit de toute autre façon.*

Toutefois, l'idée en elle-même ne pouvait avoir d'intérêt pratique qu'autant que je disposerais de ciments subissant non pas seulement un retrait de durcissement comme les liants courants, mais au contraire une expansion nettement supérieure à ce retrait. Je m'orientai donc nettement vers les *ciments expansifs* et m'adressai à plusieurs firmes françaises dont l'une, les Etablissements Poliet et Chausson, voulut bien s'intéresser à la question et parvint à la solutionner.

Composition des ciments expansifs

Ces ciments sont obtenus, en principe, par le mélange de trois éléments connus et stables par eux-mêmes :

1. Un ciment Portland artificiel qui constitue la *base*.
2. Un ciment sulfo-alumineux qui joue le rôle de *facteur expansif*.
3. Un *élément stabilisateur* dont l'entrée en action, volontairement retardée, arrête l'expansion en absorbant le principal réactif, c'est-à-dire le sulfate de chaux. Cet élément stabilisateur est en général constitué par du laitier de hauts fourneaux.



Le dosage judicieux des trois constituants, la base, le *facteur expansif* et l'*élément stabilisateur*, permet de régler l'expansion à la fois en intensité et en durée avec une précision remarquable en pareille matière.

Propriétés des ciments expansifs

La caractéristique principale de ces liants est leur propriété d'*acquérir un gonflement stable en milieu constant, gonflement qui est pratiquement réglable en intensité et en durée.*

L'*intensité de l'expansion* peut atteindre, en pâte dure, jusqu'à 50 mm par mètre, soit le vingtième de la longueur initiale.

Sa *durée* peut être réglée entre un minimum de vingt-quatre heures et un maximum de trente jours environ.

Pratiquement, pour simplifier la fabrication, nous réalisons deux qualités principales qui sont les suivantes :

a) *Ciment faiblement expansif* dénommé « sans retrait », c'est-à-dire dont l'expansion initiale de 3 à 4 mm par mètre en pâte pure est sensiblement égale au retrait dans le temps, qu'elle compense;

b) *Ciment expansif proprement dit*, dont l'expansion en pâte pure est en général de l'ordre de 10 à 25 mm par mètre.

La durée de l'expansion, c'est-à-dire le temps pendant lequel elle croît progressivement en milieu humide avant de se stabiliser en milieu cons-

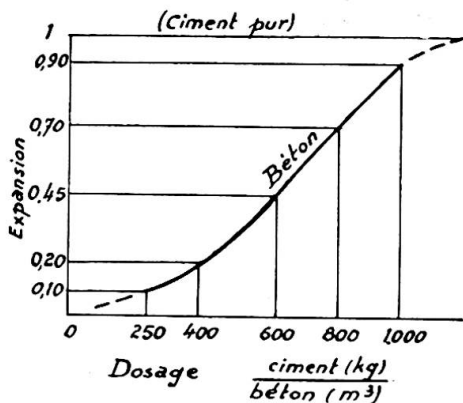


Fig. 3. Expansion en fonction du dosage.

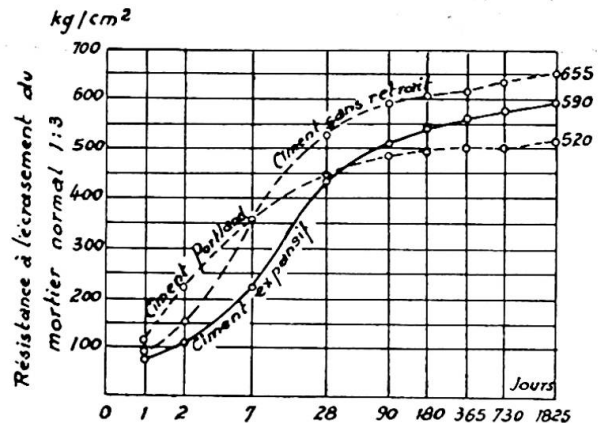


Fig. 4. Résistance des cubes d'essai en fonction du temps.

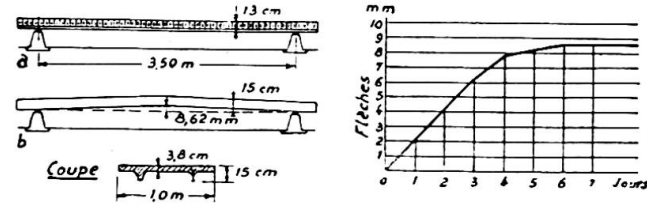
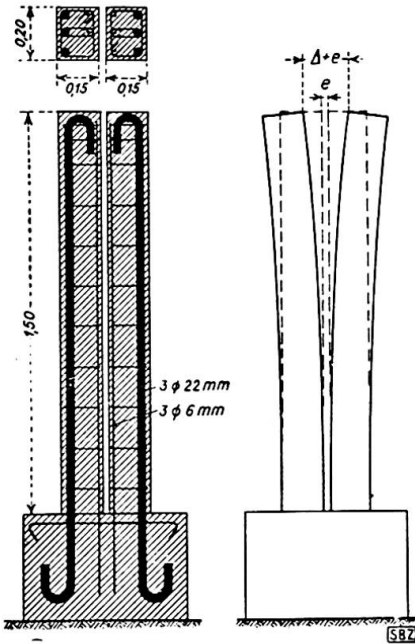


Fig. 6 (ci-dessus). Dalle d'essai avant (a) et après (b) expansion du béton.

Fig. 5 (à gauche). Prismes d'essais sur dalle commune après coulée (à gauche) et après séchage (à droite).

tant, est réglée en général entre dix et quinze jours pour des éprouvettes en pâte pure conservées dans l'eau.

Applications des ciments expansifs

Les applications des ciments expansifs, auxquels, en particulier, la Société nationale des Chemins de fer français a fait une large place, peuvent être multiples.

Les principales et les plus typiques que nous ayons réalisées sont les suivantes :

1. Fondations par reprise en sous-œuvre par pieux

Il s'agissait de la reprise d'un mur d'un bâtiment historique, le Palais Rihour, à Lille, dont les fondations montraient des signes de faiblesse. Le système choisi était le pieu « Méga », de la firme Franki.

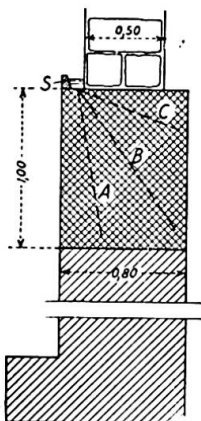


Fig. 7 (à gauche). Reprise en sous-œuvre du bâtiment du Ministère colonial de Paris.

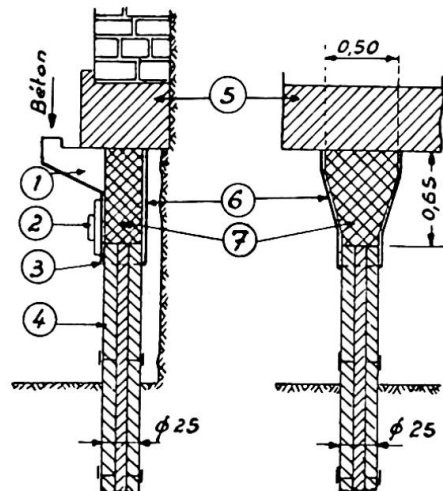


Fig. 8 (à droite). Reprise en sous-œuvre du Palais Rihour, à Lille.



Fig. 9 à 11. Armatures, bétonnage et têtes de pieux achevées pour le Palais Rihour, à Lille.

Ce pieu est constitué par un ensemble d'éléments en béton armé moulés à l'avance et assemblés sur place. Ils sont enfoncés au vérin. Le point délicat consiste, lorsque la profondeur de fonçage est atteinte, à mettre le pieu en charge sous le mur en assurant son contact parfait avec ce dernier. On y parvient en général en utilisant un élément spécial en forme de U, un vérin, des dispositifs de calage, puis un calage au matoir sous la poutre.

L'emploi du ciment expansif a permis de simplifier considérablement cette opération.

Sur la tête du dernier élément de chaque pieu Méga, on a disposé un moule métallique démontable muni d'un entonnoir pour l'introduction du béton et d'un vibreur.

Une armature légère ayant été placée dans le moule, on a rempli et vibré celui-ci jusqu'à ce que la laitance du béton reflue entre le moule et la poutre. Après la prise et le démoulage, on humidifia le tronçon coulé pendant les quelques jours nécessaires pour obtenir la poussée initiale désirée sous le mur, soit environ vingt tonnes par pieu.

Ce procédé, comparé au premier, a permis d'obtenir une meilleure solidarité de la tête et du corps des pieux et de réaliser une économie d'environ 20 kg d'armature très façonnée par élément.

2. Reprise en sous-œuvre par massifs ou puits

Il s'agit du dispositif de reprise d'un mur en sous-œuvre au Ministère des Colonies à Paris.

Sur chaque puits en béton ordinaire, on exécuta une tête en béton expansif de 1 m de hauteur. Les trous d'humidification, de 30 mm de diamètre, espacés de 20 cm, réalisés en disposant provisoirement des barres d'acier que l'on retirait au moment de la prise, communiquaient avec une nappe d'eau maintenue par un simple solin en plâtre.

La force expansive assura la mise en charge des puits sous le mur, sans l'aide de vérins.

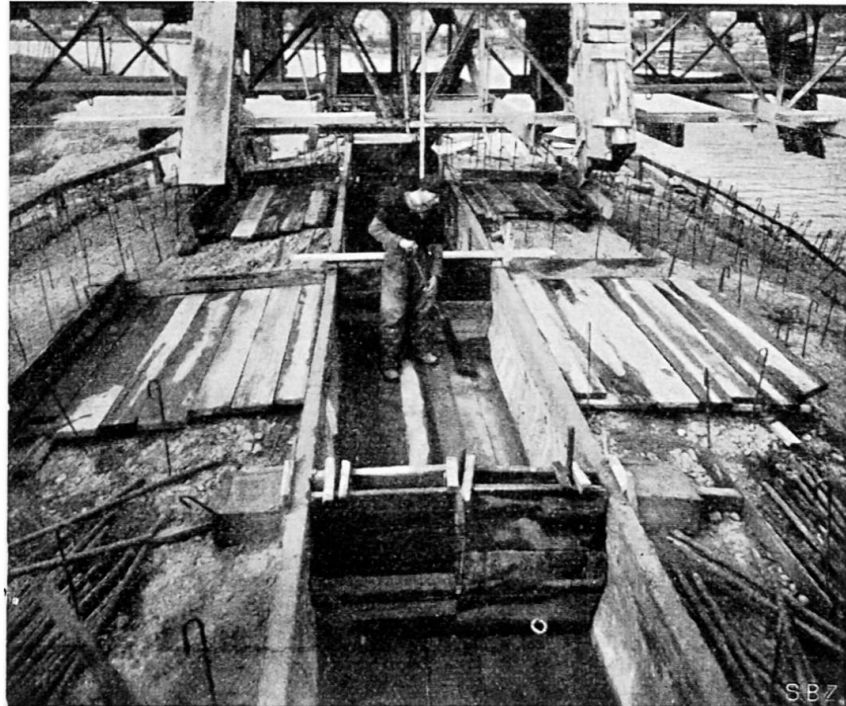


Fig. 12. Coffrage E, pour le bétonnage du viaduc de Laroche (voir fig. 13).

3. Décintrage et clavage de voûtes en béton et maçonnerie

Chacun connaît le procédé classique de décintrage d'une voûte à l'aide de vérins que l'on fait agir à la clef avec une force égale ou légèrement supérieure à la poussée horizontale de la voûte au moment de l'opération.

Cette opération comporte alors quatre phases principales :

La mise en charge des vérins;

Le remplissage en béton entre ceux-ci;

Après durcissement suffisant de ce béton, l'enlèvement des vérins;

Le remplissage du joint à l'emplacement qu'occupaient ces derniers.

Or, avec le *ciment expansif*, ces quatre phases de l'opération sont ramenées à une *phase unique*.

Il suffit d'exécuter, dans une rainure ménagée à la clef et après durcissement du corps de la voûte, un *voussoir en béton de ciment expansif* qui joue le rôle d'un vérin intégré dans la masse même de l'ouvrage et qui permet de compenser notamment :

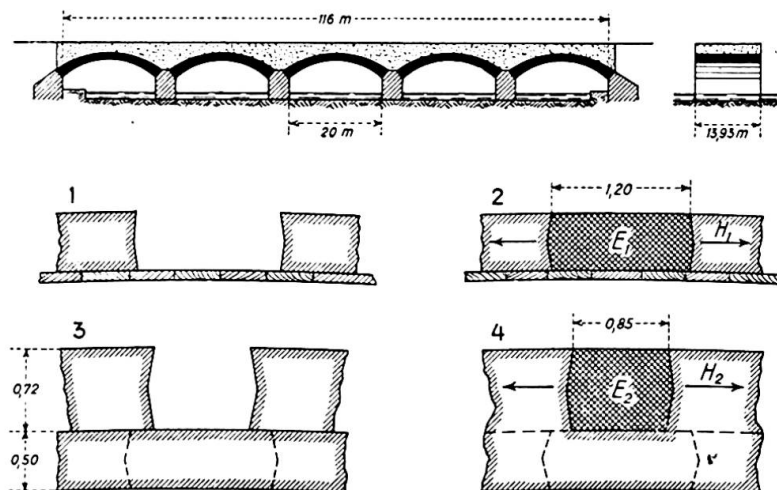


Fig. 13. Ordre de bétonnage du viaduc de Laroche.

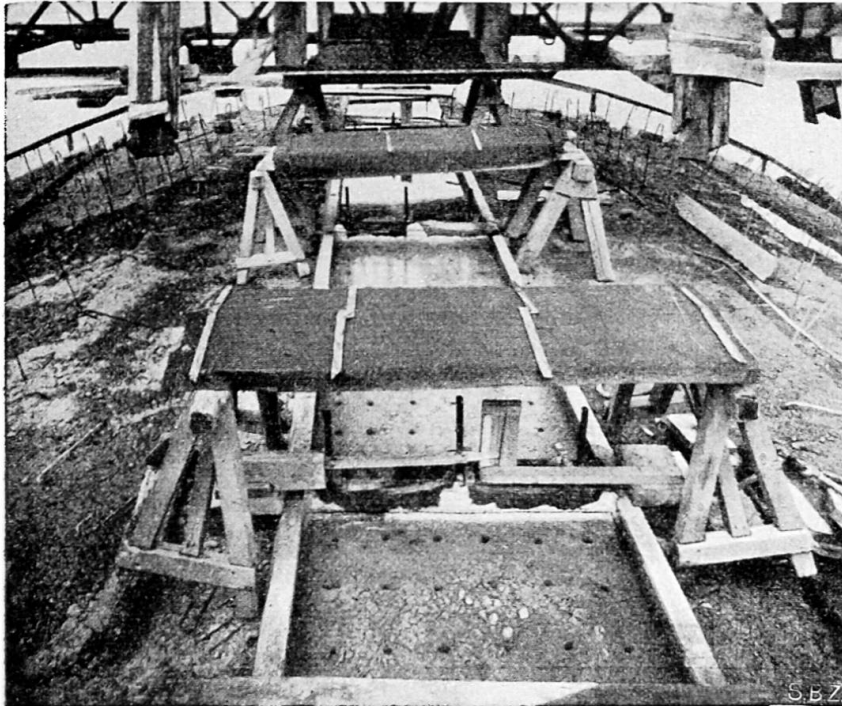


Fig. 14. Voussoir E, du viaduc de Laroche après bétonnage (voir fig. 13).

— Les raccourcissements élastiques du béton dus à la charge permanente;

— Tout ou partie des raccourcissements engendrés par le retrait et les déformations plastiques du béton dans le temps;

— Au besoin, tout ou partie des déformations dues aux poussées accidentelles.

Dans de grands ouvrages, on peut prévoir plusieurs voussoirs expansifs qui répartissent alors leur action sur toute la longueur de la voûte suivant un processus déterminé à l'avance.

Ce procédé a été l'objet de nombreuses applications relatives :

— Soit à la réparation d'ouvrages partiellement détruits par des bombardements (viaduc de Poix, d'Épinay-sur-Seine, etc.).

— Soit à la construction de voûtes entières (pont de Laroche sur la ligne Paris-Dijon — 5 travées de 20 mètres de portée et 1^m20 à 1^m80 d'épaisseur, en béton — exécution en 2 rouleaux).

4. Réparation d'ouvrages en béton armé sinistrés

Citons :

Le pont à double voie normale dit « de Moscou », près de Montereau (4 travées de 26 mètres en poutre tubulaire continue);

Les silos du port de Bône (Algérie), etc.

5. Pieux moulés dans le sol

L'expansion, à la base élargie des pieux, améliore à la fois la compacité du terrain et le frottement sur le terrain.

Des pieux d'un type spécial sont actuellement en cours d'essai.

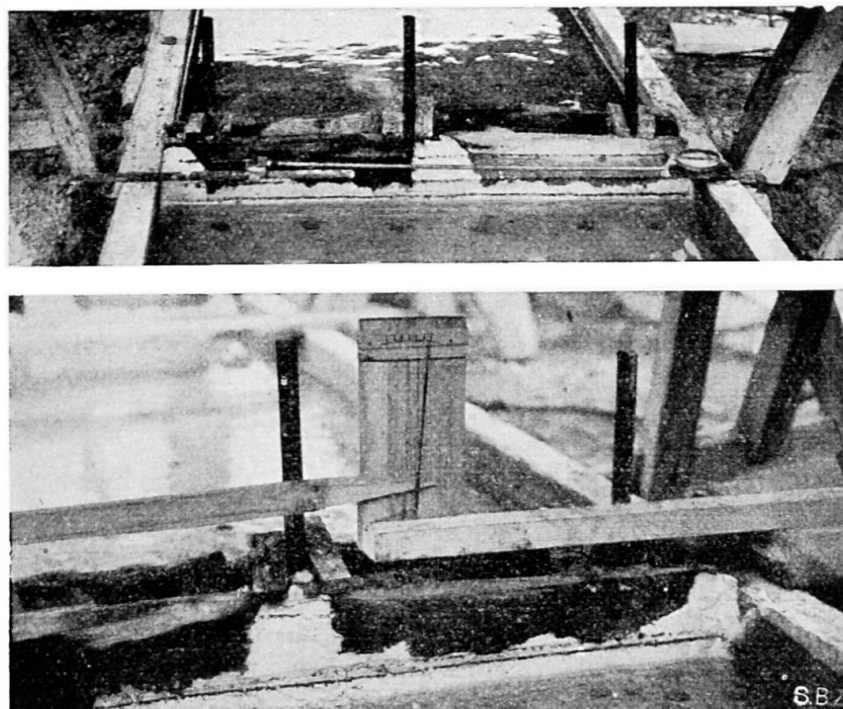


Fig. 15 et 16. Détails du dispositif de mesure de l'expansion utilisé pour le viaduc de Laroche.

6. Canalisations et tuyaux

En armant les canalisations et tuyaux suivant les génératrices et directrices, pour entraver l'expansion, on peut provoquer une *mise en compression automatique du béton dans les deux sens*, moins intense d'ailleurs, dans l'état actuel, que celle qui peut être réalisée avec la précontrainte mécanique, mais qui se révèle cependant suffisante dans certains cas.

Une *enveloppe extérieure en fibro-ciment*, utilisée comme coffrage, provoque également, *sans aucune armature*, cette compression à double étreinte.

La supériorité des ciments expansifs au point de vue de l'*imperméabilité* sera par ailleurs toujours un facteur important.

7. Tunnels et galeries

Pour les *tunnels et galeries* de toutes sortes, les ciments expansifs peuvent être heureusement utilisés d'une part pour le clavage des voûtes et, d'autre part, pour le bourrage entre ces dernières et le terrain à perforer.

Le *bourrage de consolidation des galeries de mines* offre des cas d'applications particulièrement intéressants.

8. Revêtements de routes et de pistes d'avions

Le retrait de durcissement du béton, plus encore que les variations de la température, conduit les constructeurs de routes ou de pistes bétonnées à disposer, de distance en distance, des solutions de continuité ou *joints* pour éviter des fissures de traction.

Or, ces joints, comme ceux des rails de chemins de fer, présentent

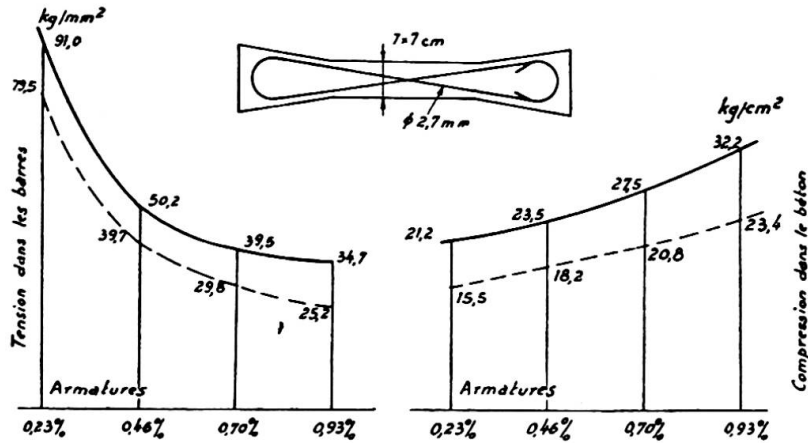


Fig. 17. Tensions dans les armatures et dans le béton des prismes d'essai.

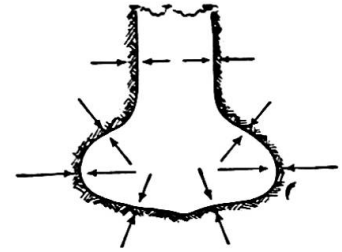


Fig. 18. Pied de pieu en béton auto-contraint.

de multiples inconvénients, bien connus d'ailleurs, tant pour l'usure locale des revêtements que pour la fatigue des véhicules et le confort de la circulation.

Au droit d'un joint, notamment, la pression locale unitaire sur le sol de fondation, au passage d'un essieu isolé, peut atteindre, dans certains cas, le *quadruple* de la pression qu'il subit en partie courante, ce qui explique bien des perturbations.

Les *goujons* ou barres d'acier destinées à maintenir les extrémités de deux panneaux de revêtement consécutifs au même niveau ne jouent, en général, qu'un rôle de semi-articulation, de telle sorte que la pression sur le sol, au droit des joints, atteint encore parfois près du *double* de la pression supportée en partie courante.

Aussi, pour éviter de recourir à des joints spéciaux, est-il apparu nettement intéressant de rechercher, sinon la suppression totale des joints, du moins une réduction notable de leur nombre.

Rappelons que certaines compagnies de chemins de fer ont obtenu déjà des résultats intéressants dans ce sens en ce qui concerne les rails.

Sous l'action de la chaleur, ceux-ci tendent à se mettre en compression et résistent si leur tendance au flambage est suffisamment entravée tant dans le sens vertical que dans le sens horizontal.

Avec les revêtements en béton, le problème est ramené à l'étude du flambage, dans le seul sens vertical, de dalles reposant sur une base stable et chargées par leur propre poids, lequel exerce une action compensatrice très importante dans le sens vertical. Il convient, de plus, de tenir compte du fait que, sous l'action du soleil, il peut se produire des différences de température de l'ordre de 30 à 35° *centigrades* entre les faces supérieure et inférieure du béton des revêtements.

Nous avons entrepris, en France, la réalisation d'un programme de recherches expérimentales concernant la possibilité de construire des chaussées et pistes d'avions en béton sinon sans joints, du moins avec un nombre de joints très réduit, en utilisant notamment les propriétés des ciments faiblement et fortement expansifs.

Ce programme, subventionné par le Ministère des travaux publics de France, comprend diverses séries d'essais, d'abord sur modèles en bois et en

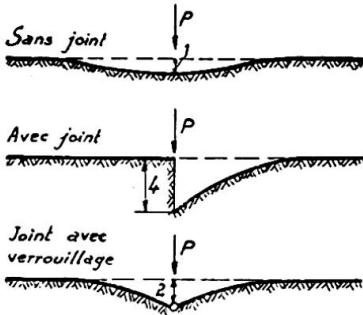


Fig. 19. Enfoncement du sol d'un terrain d'atterrissage sous une charge concentrée.

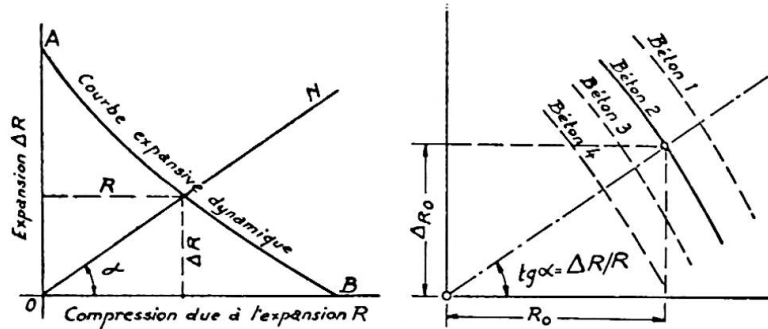


Fig. 20 et 21. Courbes d'expansion dynamique de divers bétons.

béton, avec chauffage électrique d'extrados pour reproduire l'action du soleil, puis ensuite sur ouvrages réels.

Nous avons exécuté et observons actuellement des revêtements conçus d'après diverses techniques, avec éléments de 100 mètres sans joints, dans le département de Seine-et-Oise. D'autres applications d'essai sont en cours.

Calcul des actions expansives

Ces calculs peuvent être ramenés aux méthodes courantes de la résistance des matériaux en faisant intervenir, pour chaque qualité de béton, sa « courbe expansive dynamique » qui représente le rapport des contraintes aux allongements correspondants.

Résumé

Les ciments expansifs, qui sont les derniers venus dans le domaine très étendu de la précontrainte des matériaux, sont actuellement l'objet d'études nombreuses concernant d'une part l'amélioration de leurs caractéristiques et, d'autre part, celle de leur mise en œuvre.

Les *nuances faiblement expansives* seront surtout destinées à compenser le retrait et s'appliqueront à bon nombre de travaux courants.

Les *nuances fortement gonflantes* seront réservées aux cas spéciaux qui utilisent, en l'entravant, la puissance expansive des ciments.

On peut prévoir qu'à côté des premiers liants expansifs qui ont ouvert la voie, d'autres, aux caractéristiques nettement plus intenses, apparaîtront encore, qui augmenteront le nombre et l'importance des applications dans le vaste domaine de la précontrainte des bétons.

Zusammenfassung

Die Schwellzemente, welche die neueste Entwicklung auf dem schon sehr ausgedehnten Gebiet der Vorspannung darstellen, sind gegenwärtig Gegenstand zahlreicher Studien. Diese betreffen einerseits die Verbesserung ihrer Eigenschaften, andererseits ihre Anwendung in der Praxis.

Die *schwach expansiven* Sorten sind vor allem dazu bestimmt, das

Schwinden zu kompensieren und können für eine grosse Zahl von Bauwerken angewendet werden.

Die *stark schwellenden Sorten* sind für die Spezialfälle, die die Expansivkraft brauchen, gedacht.

Man kann voraussehen das neben den ersten expansiven Bindemitteln, die den Anstoss zur Entwicklung gegeben haben, noch andere mit grösserer Wirksamkeit aufkommen, die die Zahl und die Bedeutung der Anwendungen im weiten Gebiet des vorgespannten Betons vergrössern werden.

Summary

Expanding cements, which are the most recent in the very extensive realm of pre-stressed materials, are at present the object of much research concerning, on the one hand, the improvement of their characteristics and, on another hand, that of their actual use.

The slightly expansive sorts will above all be intended to compensate shrinkage and will apply to a large amount of current works.

The much swelling sorts will be applied to special cases which use, by impeding it, the expansive power of cements.

It is foreseeable that in addition to these first expansive binding materials which have shown us the way, others with clearly more intensive characteristics will still appear, which will increase the number and importance of applications in the vast field of prestressed concretes.