

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 17

Artikel: Nouveaux systèmes de construction en béton armé
Autor: Considère, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23504>

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: 13.10.2024

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

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef: M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

SOMMAIRE : *Nouveaux systèmes de construction en béton armé*, par M. A. Considère, inspecteur général des Ponts et Chaussées, à Paris. — *L'arc élastique sans articulation* (suite), par M. C. Guidi, professeur, à Turin. — **Divers**: Tunnel du Simplon. Etat des travaux au mois d'août 1903. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. XL^e Assemblée générale. — Concours pour l'utilisation des terrains du Cercle de Beau-Séjour, à Lausanne. Rapport du Jury. — Concours pour la construction d'un pont sur l'Arve, à Genève. — Concours sur l'application industrielle des forces électriques du Canton de Vaud. — Note de la rédaction.

Nouveaux systèmes de construction en béton armé.

Les études que je poursuis depuis longtemps sur les constructions armées, m'ont amené à reconnaître les avantages que présente, dans certains cas, l'emploi de deux procédés nouveaux. Ils consistent, l'un dans le fretage, par des hélices métalliques, des pièces qui doivent supporter des pressions longitudinales, l'autre dans la mise en tension des armatures des pièces soumises à des tractions longitudinales avant le coulage du béton.

J'ai publié dans le *Génie civil* une étude complète du béton fretté qui a été résumée avec soin dans le *Ciment*. La mise en tension préalable n'a fait encore l'objet d'aucune publication. Je vais donner un aperçu de ces deux questions en mettant à profit les enseignements qu'a donnés l'expérience, dans la construction d'un pont de 20 mètres d'ouverture qui sera soumis, en octobre, à des essais de chargement poussés jusqu'à rupture.

I. — ÉTUDE DU BÉTON FRETTÉ

Quoique les plus importantes applications du béton armé aient été faites dans les poutres et les planchers travaillant par flexion, ce nouveau matériau a été employé également avec succès dans les pièces soumises à des efforts de compression et il est intéressant de rechercher s'il ne peut pas être amélioré à ce point de vue.

Armatures longitudinales. — L'armature la plus usitée pour les pièces comprimées se compose de barres longitudinales réunies, de distance en distance, par des entretoises ou des liens métalliques de forme quelconque.

En multipliant ces liens et en leur donnant une résistance suffisante, on arrive graduellement au frettage du béton, qui constitue le procédé spécialement étudié dans cette note. On ne saurait rien dire de général sur les combinaisons multiples qu'on peut ainsi réaliser et, avant de les étudier, il faut considérer le cas simple du béton armé seulement de barres longitudinales.

On sait qu'exposé à l'air, le béton tend à prendre des retrait importants qui le mettent en tension dans les pièces armées et imposent des compressions aux barres métalliques. On a constaté, récemment au laboratoire

de l'Ecole des Ponts et Chaussées, des pressions comprises entre 4 kg. 60 et 10 kg. dans les poutres ayant 2 à 4 mètres de longueur et des sections de 1 à 8 décimètres carrés, dont le béton renfermait la quantité habituelle de 300 kg. de ciment par mètre cube mis en œuvre.

La pression que fournit une armature dont le coefficient d'élasticité est E , lorsque la pièce qui la renferme, a subi un raccourcissement i , sous l'action d'une pression longitudinale, est donc égale non pas à Ei comme on l'admettait généralement, mais à Ei augmenté de la pression préalable et importante qu'à produite le retrait. Il en résulte que les barres longitudinales prennent une large part des pressions qui sont imposées aux pièces comprimées dans les constructions armées, et que souvent la limite d'élasticité du métal y est atteinte avant la rupture par écrasement du béton, si celui-ci est de très bonne qualité.

Cette limite ne peut pas être sensiblement dépassée, parce que le coefficient d'élasticité du métal subit une énorme diminution dès qu'elle est atteinte, et par suite les efforts n'augmentent plus qu'avec une extrême lenteur et ne varient pas sensiblement du fait des faibles déformations que le béton peut encore supporter avant de s'écraser.

On peut dire, en résumé, que dans les pièces armées de barres longitudinales réunies ensemble par des entretoises ou des liens trop faibles ou trop espacés pour fretter efficacement le béton, la résistance totale à l'écrasement s'écarte peu de la somme de la résistance à l'écrasement du béton et de la résistance fournie par les armatures longitudinales travaillant à la limite d'élasticité du métal.

Pendant la période élastique du début, le métal comprimé d'avance par la tendance du béton au retrait produit des résistances importantes.

Armatures transversales. — L'idée d'employer des armatures transversales de forme quelconque, a été exprimée, dès l'année 1892, par MM. Koehnen & Wayss, puis par M. Harel de la Noé qui a expliqué théoriquement l'utilité des armatures transversales rectilignes et en a fait et inspiré de très intéressantes applications.

L'auteur a expérimenté l'emploi de treillis orthogonaux et de toiles métalliques disposées transversalement

et a obtenu ainsi des résultats supérieurs à ceux que donnent les armatures longitudinales, mais inférieurs de près de moitié à ceux du frettage. Il a cru devoir, en conséquence, réserver toutes ses études ultérieures à ce dernier mode de consolidation du béton.

Causes des effets du frettage. — Les deux idées qui ont conduit à ces recherches permettront de donner aux conclusions une forme facilement intelligible. Il importe donc de les formuler.

Le sable enfermé dans des boîtes de faible résistance est souvent employé sous les cintres pour supporter des charges très lourdes, et une formule connue de la poussée des terres explique ce fait qui est la conséquence du frottement développé entre les grains de sable.

Si P représente la pression par centimètre carré qu'on exerce sur la base supérieure d'un cylindre vertical formé d'une matière sans cohésion dont le complément de l'angle de frottement est égal à f et dont le poids est négligeable en regard des pressions extérieures, on sait que, pour empêcher l'écrasement, il faut appliquer sur la surface latérale une pression par centimètre carré $\frac{P}{K}$, K étant

$$\text{égal à } \frac{1}{\tan^2 \frac{f}{2}}$$

L'expérience a prouvé que, pour le sable, la valeur de K est égale à 4,8 et on en déduit, par un calcul élémentaire, que le métal donne une résistance 2,4 fois plus forte si on l'emploie à fretter du sable que s'il supporte directement la pression.

D'autre part, un tube métallique de 19 cm. de diamètre ayant été ployé par les vagues suivant un rayon de 55 cm., on a constaté que le ciment dont il était rempli n'était pas désagrégé. Il était donc probable que le béton, conservant sa cohésion dans les déformations qu'il subirait à l'abri des frettages, ajouterait sa résistance propre à celle que produit le frottement, et il était, en tout cas, certain que le béton fretté présenterait, quelle que fût sa qualité, le minimum de résistance déjà très élevé que possède le sable fretté. L'expérience seule pouvait éclaircir davantage la question.

Recherches expérimentales. — Dans les premières expériences qui ont été faites à Quimper, de petits cylindres de 40 mm. de diamètre où le pourcentage en volume du métal employé en frettes était de 0,020—0,034—0,035—0,040, ont supporté des pressions par centimètre carré dépassant la résistance propre du mortier de quantités égales aux résistances d'armatures longitudinales dont le poids serait égal à celui du frettage multiplié par 2,6—3,0—2,0—2,4.

L'augmentation de résistance que le frettage a donnée au mortier a donc été voisine, en moyenne, de la résistance totale que le même frettage donnerait au sable sans

cohésion et dont le coefficient, on vient de le voir, serait 2,4.

Le seul de ces prismes qui fût formé de mortier ayant fait une prise complète, a donné une résistance à l'écrasement de 740 kg. par centimètre carré de section totale. En tenant compte de ce fait que la densité de ce cylindre était 3,2 fois plus faible que celle du fer, on reconnaît qu'un prisme du même mortier qui aurait le même poids qu'un prisme de fer d'un centimètre carré de section, supporterait $740 \times 3,2 = 2,370$ kg. C'est presque, à poids égal, la résistance des constructions rivées qu'affaiblissent les trous de poinçon.

Un cylindre de mortier à faible dosage fretté au médiocre pourcentage de 0,034 avait donc une résistance peu différente que celle que donnerait une pièce rivée de même poids. C'est assurément un fait digne d'attention.

Une seconde série d'expériences a été faite à Paris sur des prismes de 150 mm. de diamètre formés de béton renfermant, en général, 300 et quelquefois 450 ou 600 kg. de ciment pour 0 m³ 800 de gravier de 5 à 25 mm. et 0 m³ 400 de sable tamisé à 5 mm. Leurs déformations ont été mesurées et ont permis de déterminer les propriétés élastiques du béton fretté.

Ductilité. — On a expérimenté concurremment des prismes frettés et des prismes du même béton non armés ou armés de barres longitudinales réunies, de distance en distance, par des liens ou ceintures en fil de fer suivant un type très répandu dans les constructions.

On a constaté, à nouveau, dans tous les prismes frettés, la grande supériorité de résistance qu'avaient dénotée les expériences de Quimper et on a reconnu qu'ils présentaient une supériorité plus grande encore au point de vue de la ductilité et de la sécurité.

Tandis que le béton non armé ou armé de barres longitudinales, insuffisamment reliées par des ceintures trop espacées transversalement, s'est brisé sans que rien l'annonçât et avec des raccourcissements très faibles qui, dans les essais en question, n'ont pas dépassé 1 mm. 03 par mètre, le béton fretté a supporté, avant de s'écraser, des raccourcissements au moins 20 ou 30 fois plus grands. L'écaillage de la couche extérieure au frettage, qui ne joue, dans la résistance, qu'un rôle presque négligeable, a annoncé le commencement de grandes déformations lorsque la charge a atteint une limite égale ou inférieure à la moitié de la charge de rupture.

On a constaté des faits plus surprenants encore dans les pièces qui ont péri par flambement. Ainsi un prisme de 15 cm. de diamètre a pris, sous la pression de 557 kg. par centimètre carré, une flèche de 10 mm. mesurée sur une longueur de 330 mm. dont la courbure était si inégalement répartie qu'on doit évaluer à 0^m,60 seulement le rayon de courbure de la partie la plus déformée. Il est probable que bien peu de pièces rivées, ayant le même

diamètre de 15 cm., pourraient supporter, sans se briser, une courbure aussi grande.

Le béton fretté doit donc prendre place dans la série des matériaux de construction, non pas à côté des maçonneries et du béton armé longitudinalement, qui sont fragiles, mais près des métaux ductiles.

Propriétés élastiques. — Dans les pièces comprimées, la résistance au flambement est proportionnelle au coefficient d'élasticité. Par suite, il importe d'étudier ce coefficient et la limite d'élasticité à partir de laquelle il subit une diminution considérable.

On observe d'abord que tandis qu'on obtient une résistance à l'écrasement très satisfaisante, même avec des frettes assez éloignées les unes des autres, la limite et le coefficient d'élasticité n'ont des valeurs élevées que si les frettes, combinées avec des armatures longitudinales appuyées contre leur surface intérieure, ont des écartements, d'axe en axe, voisins du $\frac{1}{7}$ au $\frac{1}{10}$ du diamètre. Il ne sera question désormais que de prismes remplissant cette condition.

Pendant le premier chargement on a constaté de grandes différences dans les coefficients d'élasticité de prismes de même composition qui ne différaient que par la proportion d'eau de gâchage et le soin apporté au pilonnage. La limite d'élasticité et la résistance à l'écrasement étaient, au contraire, presque indépendantes de ces circonstances de fabrication, mais elles variaient beaucoup avec le dosage de ciment qui influait peu sur le coefficient d'élasticité. Ces faits sont d'accord avec ceux qu'on observe dans le béton non armé.

Telles sont les constatations faites dans le premier chargement. Il importait plus encore d'étudier les faits qui se produisent dans les déchargements et rechargements exécutés dans les limites d'une charge d'épreuve une fois subie, c'est-à-dire dans les conditions où se trouvent toutes les constructions.

On a observé les faits suivants que l'épure ci-contre rend sensibles aux yeux.

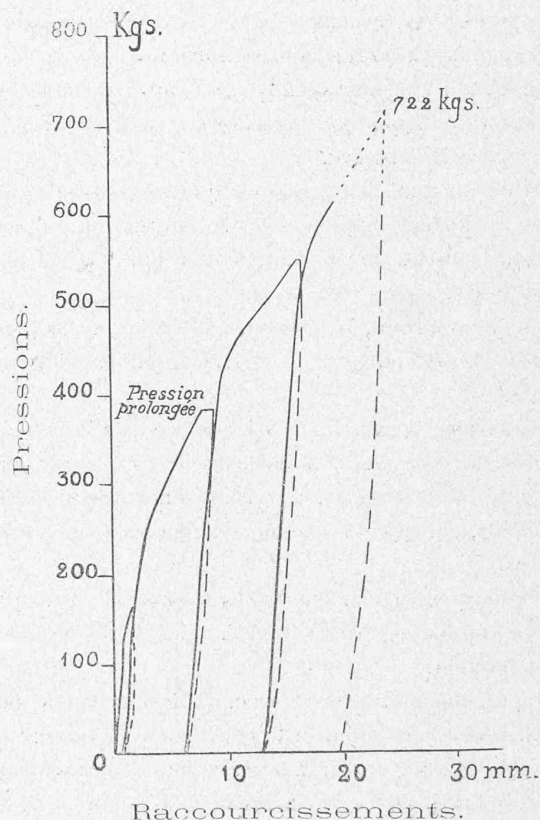
La limite d'élasticité s'élève jusqu'à la pression une fois subie, quelque forte qu'elle soit.

Le coefficient d'élasticité est augmenté de beaucoup dans les chargements et déchargements ultérieurs et présente un caractère particulier. Il est d'autant plus élevé que la pression est plus forte.

On s'en rend compte en remarquant que les courbes de déchargement et rechargement tournent leur concavité vers l'axe des pressions tandis qu'elle est dirigée en sens opposé dans les courbes de premier chargement de tous les matériaux dont les propriétés sont connues.

L'élément dont dépend la résistance au flambement augmente donc avec la charge tant qu'elle ne dépasse pas celle qui a été précédemment subie. C'est une circonstance exceptionnelle et éminemment favorable à la résistance.

Il importe d'ajouter que l'épreuve augmente l'élasticité du béton d'autant plus qu'elle était originairement moins satisfaisante. L'importance de la qualité du béton, qui est relativement faible dans le premier chargement des pièces frettées, par suite de la prédominance des effets du frottement sur ceux de la cohésion, est donc encore plus réduite après épreuve que dans le premier chargement.



Courbe des efforts pendant les chargements et déchargements.

Essai d'analyse des faits au point de vue de l'élasticité. — On a cherché à séparer les effets du frettage et ceux de la cohésion, de manière à les mesurer directement. Sans rendre compte de cette étude délicate, on fera connaître les résultats qui semblent en découler.

Au début du chargement, le frettage ne serre pas réellement le noyau qu'il entoure, parce que le retrait de prise du béton a diminué le diamètre du noyau. Il agit donc alors moins vite que dans les déchargements et rechargements succédant à une charge d'épreuve qui a produit le contact énergique du béton et du frettage.

Cette observation explique le fait suivant.

L'augmentation du coefficient d'élasticité que produit le frettage, est égale à celle que donnerait un égal poids de métal employé en armatures longitudinales multipliée par 0,90 dans le premier chargement et par 2,00 dans les déchargements et rechargements après épreuve.

Le métal des frettes ne commence à se fatiguer que lorsque celui des armatures longitudinales est à bout de

force. Ses déformations étant produites par le gonflement transversal, qui est très inférieur au raccourcissement, sa fatigue progresse lentement après avoir commencé tard.

C'est ainsi que s'expliquent les déformations énormes que le béton fretté peut supporter sans que le métal en souffre.

Résistance propre du béton fretté après épreuve. —

On a enlevé complètement les armatures de plusieurs prismes frettés qui avaient subi de très fortes pressions et on a soumis les noyaux ainsi désarmés à des pressions croissantes. On a alors obtenu une nouvelle courbe de déformation du béton qui présente un caractère qui n'a jamais encore été observé.

Après avoir subi des variations qu'il est inutile d'analyser, le coefficient angulaire de la tangente a diminué rapidement sous les fortes charges et a fini par devenir et rester égal à zéro.

En d'autres termes, la résistance du béton, après avoir augmenté longtemps avec la déformation, est devenue constante.

La résistance maximum ainsi atteinte par le béton à la suite de la compression subie sous le frettage a paru dépasser de 50 % environ la résistance normale des prismes témoins, formés du même mélange et moulés sans armatures.

On remarquera l'analogie de ces faits et de ceux que l'auteur a depuis longtemps signalés dans le béton soumis à la traction.

Le rapprochement du premier et du dernier faits exposés dans ce résumé conduit à la conclusion suivante :

Le sable fretté a une grande résistance à l'écrasement, qui est produite par le frottement. Le béton, qui a subi de grandes déformations sous la protection du frettage, conserve, après enlèvement des frettes, une résistance supérieure à celle des prismes témoins.

Règles de calcul. — L'étude analytique dont il a été rendu compte ci-dessus, a permis de formuler les règles à suivre pour calculer le coefficient et la limite d'élasticité, ainsi que la résistance à l'écrasement d'une pièce de béton fretté de composition quelconque. On se bornera à dire ici que la résistance à l'écrasement dépasse la somme des trois éléments suivants :

- 1° Résistance propre à l'écrasement du béton ;
- 2° Résistance des armatures longitudinales travaillant à la limite d'élasticité ;
- 3° Résistance que produiraient, en travaillant à la limite d'élasticité, des armatures longitudinales fictives dont le volume serait égal à celui des frettes multiplié par 2,4.

Résistance au flambement. — La formule empirique de Rankine rend de bons services pour les matériaux de qualité sensiblement constante en vue desquels ses paramètres ont été calculés ; mais elle ne peut fournir aucune

indication pour les autres matériaux. On peut citer comme preuve, deux aciers pour lesquels la formule de Rankine a donné la même valeur de la résistance au flambement alors qu'en réalité, elle a différé du simple au double.

Au contraire, la formule d'Euler donne, dans tous les cas, des valeurs exactes de la résistance au flambement N , pourvu qu'on y attribue au coefficient d'élasticité E non pas la valeur qu'il a sous faible charge, mais celle à laquelle il est réduit quand la pression atteint la valeur N . Il est donc impossible de la résoudre sous sa forme habituelle $N = E\pi^2 \frac{r^2}{l^2}$, mais, pour en tirer parti en vue

de la formation de barèmes donnant les résistances au flambement de pièces de dimensions quelconques, il suffit de la mettre sous la forme $\frac{r}{l} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{N}{E}}$. l représente la longueur des pièces entre articulations et r est le rayon de giration minimum de leur section transversale.

Il est alors facile de déterminer expérimentalement la valeur de E qui correspond à chaque valeur de N , d'introduire simultanément dans la formule chaque groupe de valeurs correspondantes de N et de E et d'en tirer la valeur de $\frac{r}{l}$ pour laquelle la résistance au flambement N donne la valeur introduite dans la formule.

L'application numérique de cette formule a permis de constater qu'avec un dosage de 600 kg. de ciment par mètre cube et un pourcentage total de métal de 0,05, les pièces frettées ont des résistances au flambement égales ou supérieures à 230 kg. dans le premier chargement et à 450 kg., après épreuve préalable, pourvu que leur longueur ne dépasse pas 27 diamètres dans le premier cas et 22 diamètres dans le second. Il est très rare qu'on soit amené à employer des formes plus grêles dans les constructions.

Coefficient de sécurité. — La marge de sécurité qu'on conserve entre les charges de travail et les efforts dangereux, doit être déterminée en tenant compte d'une foule d'éléments : possibilité d'erreurs de calcul, éventualité d'augmentation des charges, effets dynamiques, malfaçons, altérations par le temps et les intempéries, etc. On ne saurait trouver là les causes de l'énorme différence que les praticiens ont été conduits à admettre entre les valeurs attribuées au coefficient de sécurité dans les ouvrages métalliques et dans les constructions en maçonnerie. L'élément le plus important à considérer a souvent échappé à l'attention ou, du moins, son importance sentie par tous les constructeurs expérimentés, n'a pas été mise assez nettement en lumière. C'est la ductilité, c'est-à-dire la propriété que les matériaux possèdent, à un degré très différent, de subir des déformations sans que leur résistance soit compromise.

Dans toutes les constructions, les efforts dépassent, en certains points, les valeurs moyennes ou normales qui seules, peuvent être calculées. Parmi les causes de fatigue anormale, on doit signaler les irrégularités de montage, de rivetage, de qualité et de serrage du mortier ou du béton, les mouvements des cintres, les inégalités de tassement des appuis et les écartements des piles et culées.

Si l'ouvrage est formé de matériaux très ductiles, ces irrégularités ne présentent pas de danger et le pis qui puisse arriver, est le dépassement local de la limite d'élasticité qui ne présente aucun inconvénient dans ce cas. On en trouve un exemple remarquable dans le fil de fer dont la grande résistance est obtenue précisément par le dépassement de la limite d'élasticité du métal.

Au contraire, une déformation imposée à des matériaux qui ne sont pas ductiles, cause un danger immédiat que rien n'annonce et qui peut entraîner la ruine soudaine.

Tandis que la maçonnerie et le béton armé de barres longitudinales sont des matériaux fragiles, le béton fretté présente une ductilité égale à celle des constructions en métal rivé. Comme il paraît d'ailleurs l'emporter sur elles au point de vue de la résistance aux agents atmosphériques et aux effets dynamiques ainsi qu'à celui de la solidarité, il semble naturel d'adopter pour les constructions frettées, des coefficients de sécurité, par rapport à la limite d'élasticité, inférieurs à ceux de 2 et 2,5 qui résultent, pour les ouvrages métalliques, de l'application du règlement français du 29 août 1891.

Mais le béton fretté est un matériau nouveau et, par surcroît de prudence, je propose d'adopter un coefficient de sécurité variant de 3 à 3,5, et même de le porter à 4 pour les premières applications. J'estime qu'en raison du peu d'importance des inconvénients que les malfaçons peuvent avoir dans les constructions frettées, on aura ainsi un excès considérable de sécurité, qui pourra être réduit notablement après qu'on aura fait de nombreuses applications.

[A suivre].

A. CONSIDÈRE,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées
en France.

L'arc élastique sans articulation.

par C. GUIDI, professeur.

(Extrait de *Memorie della R. Acc. delle Scienze di Torino*,
Seria II, Tom. LII.)

Traduit de l'italien par A. PARIS, ingénieur.

[Suite]¹.

9. — Pour une position donnée de la charge, on peut ainsi déterminer les trois paramètres de la réaction. Ayant H , on trouve H_x' qui, avec A , donne la direction et la

grandeur de la réaction R_A . On calcule au moyen de M sa distance δ au centre de gravité G des poids élastiques :

$$\mathfrak{M} = 1 \cdot \gamma_0 = R_A \cdot \delta$$

$$\delta = \gamma_0 \frac{1}{R_A}$$

Un cercle de rayon δ et de centre G donne la position exacte de R_A , sa tangente.

Nous déterminons de même R_B en grandeur et en position. Pour vérification, les deux réactions se coupent sur la ligne de charge.

La figure 8 indique la construction complète pour une charge agissant au point 6.

10. — **Ligne d'intersection et ligne enveloppe.** Le lieu géométrique de l'intersection de R_A et R_B constitue la *ligne d'intersection*. Ces deux réactions en se déplaçant déterminent chacune une *courbe enveloppe*². Ces lignes sont d'un grand intérêt pour l'étude de l'arc.

La figure 8 indique la ligne d'intersection. Quant aux courbes enveloppes, elles ont été laissées de côté pour simplifier la figure. On en verra la construction dans les applications.

11. — **Lignes d'influence des efforts dans les barres.** Au moyen de la ligne d'intersection et des enveloppes, ainsi que de la ligne d'influence de H , on peut construire facilement la ligne d'influence des efforts dans une barre ou plutôt celle des moments rapportés à son pôle, moments proportionnels aux efforts cherchés. Suivant que la force est à droite ou à gauche du pôle on construit la réaction en A ou en B , et alors si h est la distance verticale du pôle à la réaction, le moment est $M = Hh$. On construit ainsi la courbe par points.

Comme vérification, les points déterminés sur la ligne d'intersection par les tangentes menées du pôle aux enveloppes, doivent correspondre verticalement, dans la ligne d'influence, aux points d'ordonnée nulle, ou *points de séparation des charges*.

L'application faite au N° 38 servira d'explication à la méthode.

12. — **Polygone des pressions pour charges verticales.** La construction exposée aux Nos 8 et 9 permet de déterminer aisément les réactions d'un système de forces verticales quelconques et de tracer leur *polygone des pressions*, c'est-à-dire le polygone des résultantes successives et dont le premier côté est la réaction de gauche.

Ce polygone est d'un grand intérêt pour l'étude statique de l'arc, car il met en évidence, dans chaque cas, son

¹ Voir N° du 25 août 1903, page 220.

² Winkler, F., *Die Lehre v. d. Elasticität und Festigkeit*, Prag, 1867.