

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 34 (1908)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Application de la statique graphique aux systèmes de l'espace  
**Autor:** Mayor, B.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-26838>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.05.2026

**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: P. MANUEL, ingénieur, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction: D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE: *Application de la statique graphique aux systèmes de l'espace* (suite), par M. B. Mayor, professeur. — *L'Architecture moderne en Allemagne* (suite et fin), par M. A. Lambert, architecte. — **Divers**: Société suisse des ingénieurs et architectes: Circulaire du Comité central aux Sections. — Société tessinoise des ingénieurs et architectes: Procès-verbal de la XXXIII<sup>e</sup> assemblée. — Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne: Offres d'emploi.

## Application de la statique graphique aux systèmes de l'espace.

Par M. B. Mayor, professeur.

(Suite)<sup>1</sup>.

### 90. Application III. (Planche C).

La coupole qui fait l'objet de l'application précédente est constituée de manière que, parmi les diverses barres issues de l'un quelconque de ses nœuds, trois d'entre elles sont toujours contenues dans un même plan. En conséquence, dans la figure formée par les droites représentatives des conjuguées de toutes les barres, trois des côtés de chacun des polygones qui correspondent aux différents nœuds passent par un même point et il est manifeste que la méthode suivie pour la recherche des tensions repose toute entière sur ce fait spécial. Cette particularité ne se présente plus dans la coupole dont la figure 1 de la planche C représente les projections horizontale et verticale, les plans méridiens qui passent par les nœuds de deux couronnes consécutives n'étant plus confondus deux à deux. Cependant, nous allons montrer que, dans ce cas encore, le procédé de représentation dualistique permet d'obtenir, sans aucune peine et à l'aide de constructions régulières, les tensions produites par des charges quelconques.

Conservons, dans ce but, les notations générales fixées dans l'application précédente; de plus, faisons encore coïncider le plan *II* avec le plan horizontal de projection et le point *O* avec le centre de symétrie de la projection horizontale du système, la circonférence directrice étant décrite, de ce point comme centre, avec un rayon arbitraire *a*.

Pour obtenir, en premier lieu, la figure formée par les droites représentatives des conjuguées des barres du système, il suffit, comme nous le verrons, de chercher les lignes représentatives des nœuds ( $A_7$ ), ( $A_8$ ) et ( $A_{16}$ ). Mais la dernière de ces lignes, à savoir  $A'_{16}$ , passe par *O*, puisque le nœud correspondant est dans le plan *II*. Quant aux deux autres, on détermine d'abord leurs distances  $d_7$  et  $d_8$  au point *O*, puis leurs positions, à l'aide du procédé déjà

utilisé au paragraphe précédent. On obtient ainsi les droites  $A'_7$  et  $A'_8$  de la figure 1 et l'on peut immédiatement tracer les lignes représentatives  $7'8'$  et  $8'16'$  des conjuguées des deux barres ( $l_{7,8}$ ) et ( $l_{8,16}$ ): la première passe nécessairement, en effet, par le point de rencontre de  $A'_7$  et de  $A'_8$  et la deuxième par l'intersection de  $A'_8$  et  $A'_{16}$ . D'autre part, les barres ( $l_{17}$ ), ( $l_{89}$ ) et ( $l_{8,14}$ ) étant horizontales, les droites correspondantes  $1'7'$ ,  $8'9'$  et  $8'14'$  passent toutes par le point *O* et sont, en conséquence, déterminées.

Il est avantageux de déplacer maintenant et parallèlement à lui-même le système formé par le point *O* et les droites qu'on vient de tracer. On obtient ainsi une partie de la figure 2 qu'il est ensuite bien simple d'achever.

Les barres ( $l_{17}$ ), ( $l_{78}$ ) et ( $l_{18}$ ) étant en effet contenues dans un même plan, la droite  $1'8'$  est déterminée puisqu'elle doit passer par le point de rencontre de  $1'7'$  et de  $7'8'$ .

D'autre part, les droites  $1'7'$  et  $15'16'$  coïncident puisque les barres correspondantes sont parallèles. Et comme ( $l_{15,16}$ ), ( $l_{8,16}$ ) et ( $l_{8,15}$ ) sont encore dans un même plan, il devient possible de placer  $8'15'$  qui passe par l'intersection de  $8'16'$  et de  $15'16'$ .

Actuellement on possède donc les figures qui correspondent à deux des triangles de la coupole, l'un de ces triangles appartenant d'ailleurs à la couronne supérieure et l'autre à la couronne inférieure. Il est alors évident qu'en raison de la constitution régulière du système considéré, une série de rotations opérées autour du nouveau point *O* donne sans aucune peine les droites représentatives des conjuguées de toutes les barres.

Comme nous l'avons déjà observé, la figure obtenue de cette manière va jouer dès maintenant un rôle prépondérant. Alors même qu'elle ne représente pas complètement la coupole considérée, elle la caractérise cependant d'une façon absolue au point de vue des tensions que peuvent y produire des forces extérieures quelconques, puisque la recherche de ces tensions ne dépend plus du tout de ses autres éléments représentatifs. Pour cette raison et dans le but de faciliter le langage, nous le désignerons dorénavant sous le nom de *figure fondamentale*.

Comme dans le cas d'une coupole Schwedler le calcul des tensions se simplifie notablement par l'application du principe de la superposition des effets des forces et nous

<sup>1</sup> Voir N° du 24 décembre 1907, page 285.

supposerons, en premier lieu, que seuls les nœuds de la partie supérieure, c'est-à-dire ceux dont les indices caractéristiques se succèdent de 1 à 7, sont sollicités par des forces extérieures. Ces forces étant d'ailleurs quelconques, leurs projections n'ont pas été indiquées sur la figure 1; en revanche, elles sont complètement définies par les forces représentatives de leurs conjuguées dont les lignes d'action et les sens ont été indiqués dans la figure 2, tandis que leurs intensités sont données par les côtés du polygone des forces  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_7$  qui va servir de base à toute la figure 3. Il est presque superflu d'ajouter qu'ici encore, les notations générales précédemment fixées ont été utilisées et que  $F'_1$  par exemple désigne la force représentative de la conjuguée de l'action extérieure qu'on suppose appliquée au nœud ( $A_1$ ).

Pour obtenir les tensions engendrées dans l'hypothèse faite, un artifice est nécessaire, car quatre barres sont issues de chacun des nœuds de la couronne supérieure. Nous verrons du reste, dans un autre chapitre, que la méthode que nous allons suivre est une conséquence toute naturelle de la forme spéciale que prend le principe des travaux virtuels lorsqu'on fait usage du procédé de représentation dualistique.

Considérons alors le nœud ( $A_1$ ): en vertu d'une propriété bien connue, les forces  $F'_1, T'_{12}, T'_{17}, T'_{18}$  et  $T'_{19}$  se font équilibre et la somme de leurs moments par rapport au point de rencontre  $m_1$  (fig. 2) des lignes d'action  $1'8'$  et  $1'9'$  de  $T'_{18}$  et  $T'_{19}$ , doit être nulle. Si donc on désigne par  $\delta$  la valeur commune des distances de  $m_1$  aux lignes d'action  $1'2'$  et  $1'7'$  de  $T'_{12}$  et de  $T'_{17}$ ; si de plus on convient de regarder ces dernières forces comme positives lorsque leurs sens concordent avec ceux des flèches placées sur les droites  $1'2'$  et  $1'7'$ , on aura

$$\delta T'_{17} - \delta T'_{12} + M_1 = 0,$$

où l'on a représenté par  $M_1$  le moment de  $F'_1$  par rapport à  $m_1$ . Si donc on pose

$$\mu_1 = \frac{M_1}{\delta}$$

l'équation précédente peut s'écrire

$$T'_{12} - T'_{17} = \mu_1.$$

En appliquant successivement le même raisonnement à tous les nœuds de la couronne supérieure, on est conduit au système d'équations

$$(I) \quad \begin{aligned} T'_{12} - T'_{17} &= \mu_1 \\ T'_{23} - T'_{21} &= \mu_2 \\ T'_{34} - T'_{32} &= \mu_3 \\ T'_{45} - T'_{43} &= \mu_4 \\ T'_{56} - T'_{54} &= \mu_5 \\ T'_{67} - T'_{65} &= \mu_6 \\ T'_{71} - T'_{76} &= \mu_7. \end{aligned}$$

Imaginons alors qu'on multiplie la première de ces relations par  $+1$ , la deuxième par  $-1$ , la troisième par  $+1$  et ainsi de suite jusqu'à la dernière qui se trouvera multipliée par  $+1$  puisque la couronne supérieure renferme un nombre impair de nœuds. En les additionnant ensuite

membre à membre on obtient, après des simplifications évidentes et en tenant compte du fait que  $T'_{ik} = -T'_{ki}$ , la relation

$$(II) \quad T'_{71} = \frac{1}{2} (\mu_1 - \mu_2 + \mu_3 - \mu_4 + \mu_5 - \mu_6 + \mu_7).$$

Il suffira dès lors, pour calculer  $T'_{71}$ , de déterminer préalablement les quantités  $\mu$ .

Reprenons à cet effet la première des équations I. D'après la façon même dont on l'a obtenue, elle doit être vérifiée non seulement par les forces  $T'$  qui correspondent aux tensions réelles produites par les charges données dans les barres issues du nœud ( $A_1$ ), mais encore par tout système de quatre forces qui, en admettant respectivement pour lignes d'action les droites  $1'2'$ ,  $1'7'$ ,  $1'8'$  et  $1'9'$ , fait équilibre à  $F'_1$ . Ces systèmes sont en nombre simplement infini et il est manifeste que l'on peut choisir arbitrairement l'intensité de l'une des forces  $T'$ , les intensités des trois autres pouvant toujours être déterminées de manière à vérifier les trois conditions d'équilibre de tout système plan. Or si l'on imagine pour un instant que la force  $T'_{17}$  s'annule, l'équation considérée se réduit à

$$T'_{12} = \mu_1$$

et il est permis de dire que la quantité  $\mu_1$  est égale à la valeur que prend la force  $T'_{12}$  lorsqu'on annule  $T'_{17}$ . Si donc on décompose  $F'_1$  en trois composantes ayant pour lignes d'action  $1'2'$ ,  $1'8'$  et  $1'9'$ , la composante agissant suivant  $1'2'$  donne précisément  $\mu_1$  lorsqu'on change son signe. Joignons en conséquence le point  $m_1$  (fig. 2) au point de rencontre de  $F'_1$  et de  $1'2'$ ; menons ensuite par le point  $a_0$  de la figure 3 une parallèle à cette dernière droite et par le point  $a_1$  de la même figure une parallèle à  $1'2'$ . On constitue de cette manière un triangle  $a_0 a_1 a'_1$  dans lequel le côté  $a_1 a'_1$  représente précisément, lorsqu'on le décrit dans le sens qui va de  $a_1$  vers  $a'_1$ , la quantité  $\mu_1$ . On peut remarquer, en particulier, que  $\mu_1$  est négatif en vertu des conventions faites sur les signes des forces  $T'$ .

Des constructions semblables permettent de déterminer les quantités  $\mu_2, \mu_3, \dots, \mu_7$  qui sont représentées par les segments  $a_2 a'_2, a_3 a'_3, \dots, a_7 a'_7$  de la figure 3 et il est ensuite bien facile d'obtenir la force  $T'_{71}$ .

Portons, en effet, sur la droite  $a'_2 a_2$  (fig. 3), à partir de  $a'_2$  et dans le sens qui va de  $a'_2$  vers  $a_2$ , une longueur  $a'_2 a''_2$  égale au segment  $a'_1 a_1$ . On vérifie immédiatement que le point  $a''_2$  ainsi déterminé est tel que la longueur  $a''_1 a_2$ , parcourue dans le sens qui résulte de l'ordre de ces deux lettres représente, en grandeur et signe, la différence  $\mu_1 - \mu_2$ .

Si l'on porte ensuite sur  $a'_3 a_3$ , à partir de  $a'_3$  et dans le sens qui va vers  $a_3$ , une longueur égale à  $a''_2 a_2$ , on détermine un point  $a''_3$  tel que le segment  $a_3 a''_3$  représente, en grandeur et signe l'expression  $\mu_1 - \mu_2 + \mu_3$ .

En portant encore sur  $a'_4 a_4$  et à partir de  $a'_4$  une longueur égale à  $a''_3 a_3$ , on définit un point  $a''_4$  tel que  $a''_4 a_4$  représente  $\mu_1 - \mu_2 + \mu_3 - \mu_4$ . En continuant toujours de la même manière on obtient successivement les points  $a''_5, a''_6$  et  $a''_7$  dont, en particulier, le dernier est tel que

Fig. 1.

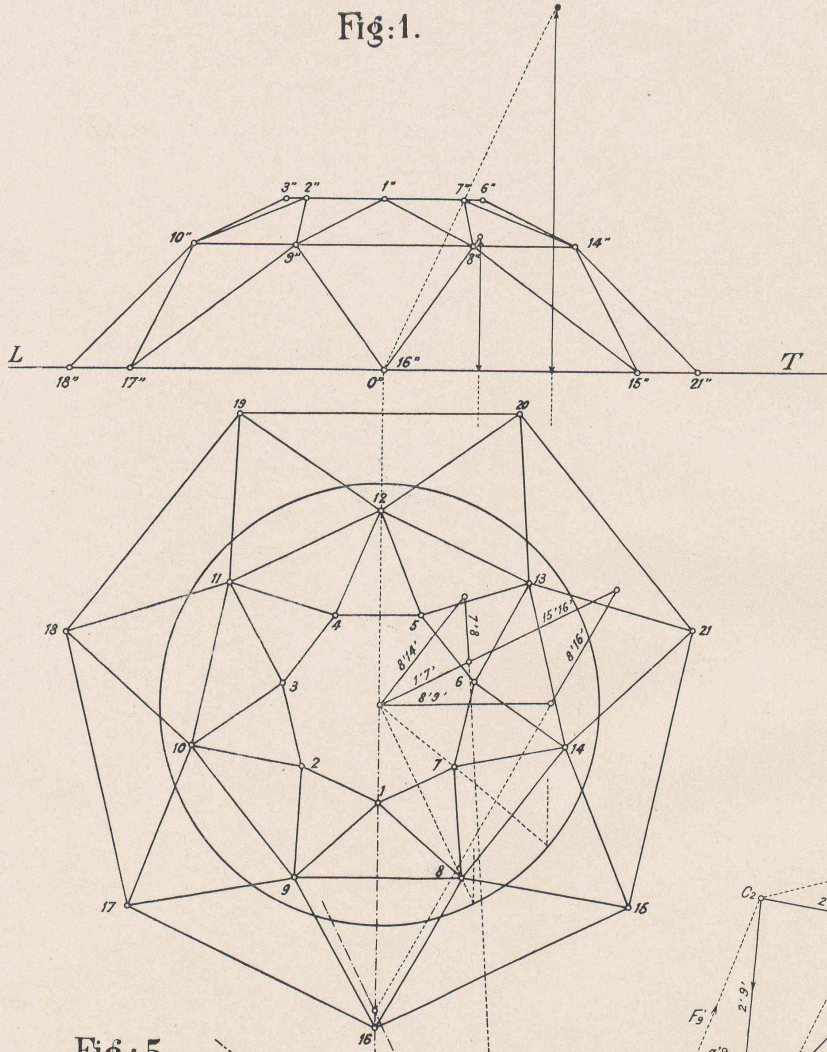


Fig. 2.

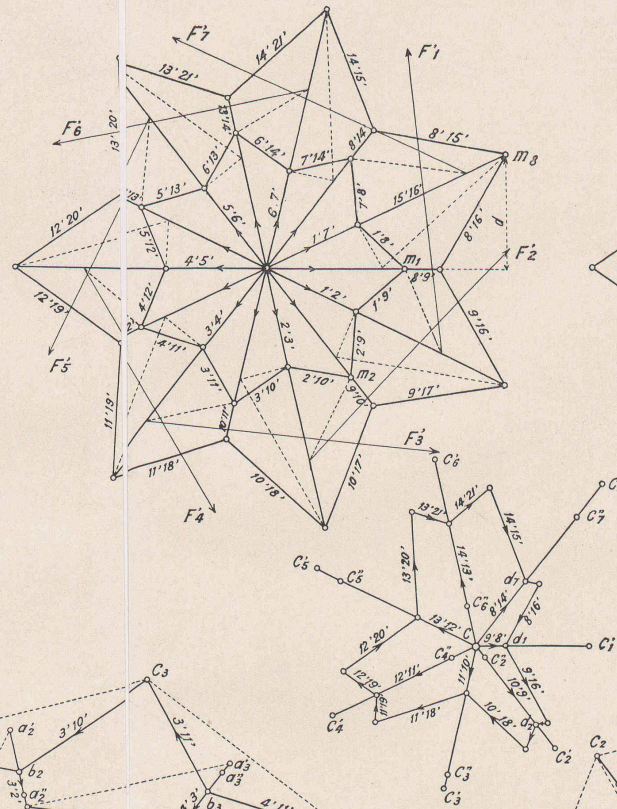


Fig. 7.

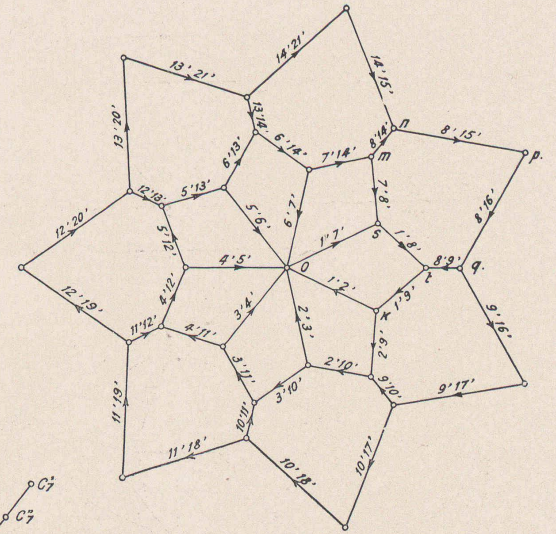


Fig. 4.

Fig. 6.

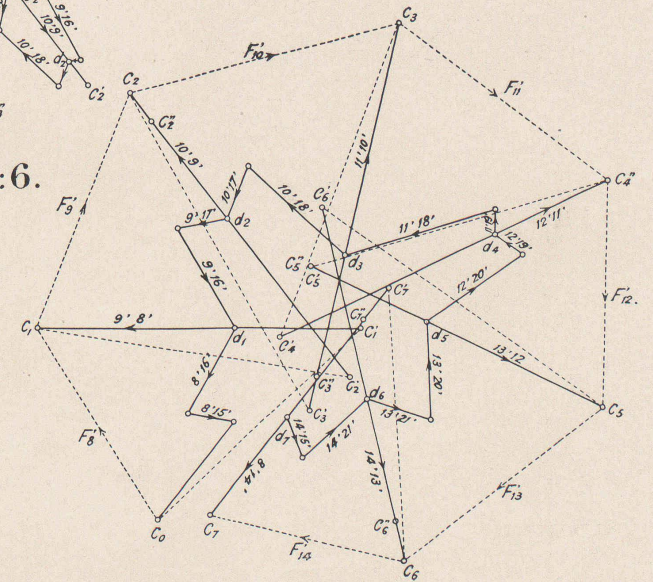


Fig. 5.

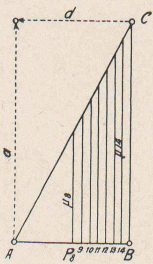
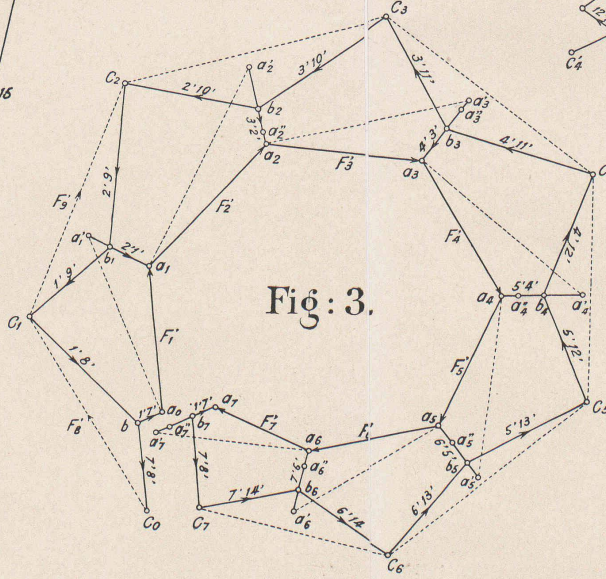


Fig. 3.



Seite / page

leer / vide /  
blank

$a_7 a''_7 = \mu_1 - \mu_2 + \mu_3 - \mu_4 + \mu_5 - \mu_6 + \mu_7$ ,  
et l'on aura, en vertu de la formule (II),

$$T'_{71} = \frac{a_7 a''_7}{2}$$

Ayant déterminé  $T'_{71}$ , on en peut déduire toute une série de forces  $T'$ .

La première des équations (I) peut, en effet, s'écrire

$$T'_{12} = \mu_1 - T'_{71} = a_1 a'_1 - T'_{71}$$

puisque  $T'_{17} = -T'_{71}$ . Si donc on porte sur la droite  $a'_1 a_1$ , à partir de  $a_1$  et dans le sens qui va de  $a'_1$  vers  $a_1$ , une longueur  $a'_1 b_1$  égale à  $T'_{71}$ , le point  $b_1$  qu'on obtient ainsi sera tel que le segment  $a_1 b_1$ , parcouru dans le sens qui résulte de l'ordre des lettres, représentera en grandeur, direction et sens la force  $T'_{12}$ .

Soustrayant ensuite la deuxième des équations (I) de la première, on obtient

$$T'_{23} + T'_{17} = \mu_2 - \mu_1$$

ou, en tenant compte d'un résultat obtenu précédemment,

$$T'_{23} = T'_{71} - a''_2 a_2 = a_2 a''_2 + T'_{71}.$$

En conséquence, en reportant sur la droite  $a_2 a'_2$ , à partir du point  $a''_2$  et dans le sens qui va vers  $a'_2$ , une longueur  $a''_2 b_2 = T'_{71}$ , on obtient un point  $b_2$  tel que le vecteur qui admet  $a_2$  pour origine et  $b_2$  pour extrémité représente, en grandeur, direction et sens, la force  $T'_{23}$ .

On démontrerait ensuite, d'une manière analogue, qu'en portant sur  $a_3 a'_3$ , à partir du point  $a''_3$  et dans le sens indiqué sur la figure, une longueur  $a''_3 b_3$  égale encore à  $T'_{71}$ , on détermine un point  $b_3$  tel que  $a_3 b_3$  représente  $T'_{34}$ . En poursuivant donc ainsi, de proche en proche, on définit successivement les points  $b_4, b_5, b_6$  et  $b_7$  qui déterminent les forces  $T'$  relatives à toutes les barres réunissant les nœuds de la couronne supérieure.

Ces résultats obtenus, considérons, par exemple, le nœud ( $A_2$ ): les forces  $F'_2, T'_{21}, T'_{23}, T'_{29}$  et  $T'_{2,10}$  se font équilibre et leur polygone des forces qui doit se fermer peut facilement se construire. On connaît, en effet,  $F'_2$  qui est donnée,  $T'_{23}$  qui est représentée par le vecteur  $a_2 b_2$  et  $T'_{21}$  qui, étant égale et contraire à  $T'_{12}$ , est représentée par  $b_1 a_1$ . Il suffira donc, pour obtenir le polygone des cinq forces considérées, de mener respectivement par  $b_1$  et  $b_2$  des parallèles aux droites  $2'9'$  et  $2'10'$  de la figure 2. On obtient ainsi le pentagone  $b_1 a_1 a_2 b_2 c_2$ , dont les deux côtés  $b_2 c_2$  et  $c_2 b_1$  représentent les forces  $T'_{2,10}$  et  $T'_{29}$  lorsqu'on les décrit dans les sens indiqués par les flèches.

Des considérations semblables appliquées à tous les nœuds de la partie supérieure conduisent à la construction de sept polygones fermés analogues au pentagone précédent et qui donnent les forces  $T'$  relatives à toutes les barres qui aboutissent aux nœuds envisagés.

Pour achever le calcul relatif au mode de charge défini plus haut, il va nous suffire d'appliquer à la partie inférieure de la coupole une méthode analogue à celle qui précède. Les opérations nécessaires pourraient et devraient être effectuées sur la figure 3 qui, finalement, serait un peu surchargée de notations; aussi avons-nous préféré séparer

les constructions qui restent à exécuter de celles qui précèdent, ce qui nous a conduit à la figure 4, dont le mode de formation s'explique facilement.

Imaginons, dans ce but, qu'on supprime de la coupole toutes les barres qui aboutissent aux nœuds supérieurs et dont on connaît actuellement les forces représentatives des conjuguées des tensions; supposons, de plus, que les effets produits par ces barres aient été remplacés par des tensions équivalentes.

Si nous considérons alors le nœud ( $A_8$ ), la résultante des deux forces  $T'_{87}$  et  $T'_{81}$  va jouer le rôle d'une force que nous devons désigner par  $F'_8$ . Du reste, cette force se détermine immédiatement: en grandeur, direction et sens, elle est, en effet, représentée sur la figure 3 par le vecteur  $c_0 c_1$ ; de plus, sa ligne d'action passe, dans la figure fondamentale 2, par le point de rencontre des deux droites  $1'8'$  et  $7'8'$ , de sorte qu'on peut la tracer.

En raisonnant de la même manière, à propos des nœuds ( $A_9$ ), ( $A_{10}$ ), ..., ( $A_{14}$ ), on est conduit à une série de forces  $F'_9, F'_{10}, \dots, F'_{14}$  qui admettent précisément, pour polygone des forces, le polygone  $c_0, c_1, c_2, \dots, c_7$  de la figure 3. C'est alors ce polygone que nous avons déplacé parallèlement à lui-même pour obtenir une nouvelle base qui, dans la figure 4, joue exactement le même rôle que le polygone  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_7$  de la figure 3. Il est donc inutile d'indiquer le détail des constructions exécutées, puisque nous aurions à répéter ce qui vient d'être dit; nous nous bornerons donc à remarquer que, d'une manière générale, les points  $c_i, c'_i, c''_i$  et  $d_i$  remplacent respectivement, dans la figure 4, les points  $a_i, a'_i, a''_i$  et  $b_i$  de la figure 3 et qu'ils s'obtiennent de la même manière; que, de plus, les pentagones tels que  $c_1 c_2 d_2 e_2 d_1$  jouent le rôle des pentagones  $a_1 a_2 b_2 c_2 b_1$  et définissent complètement les forces  $T''$  relatives aux barres de la partie inférieure du système étudié. Et puisque la connaissance des  $T'$  entraîne celle des tensions d'une manière simple, on peut considérer ces dernières comme déterminées dans le cas où seuls les nœuds supérieurs sont sollicités par des forces extérieures.

Il est presque superflu de faire remarquer que si l'on juxtapose, ainsi que cela est tout indiqué, les figures 3 et 4 de manière que les points désignés par les mêmes lettres entrent en coïncidence, la figure résultante est encore à peu de chose près la réciproque de la projection horizontale de la coupole.

Il reste encore à examiner les effets produits par les forces extérieures qui pourraient être appliquées aux nœuds de la deuxième couronne, forces dont il n'a pas été tenu compte jusqu'ici. Pour nous placer dans des conditions différentes de celles qui précèdent et traiter d'ailleurs un cas très fréquent dans les applications, supposons que ces forces se réduisent à des poids verticaux dont les intensités varient d'un nœud à l'autre. De légères modifications doivent alors être apportées à la méthode qui vient de réussir dans le cas de forces quelconques.

Tout d'abord il est évident que nous n'aurons pas à nous préoccuper des barres pour lesquelles le plus petit des deux indices caractéristiques est inférieur à 8, car il

est manifeste que les tensions qui s'y produisent sont nulles.

Considérons encore le nœud ( $A_8$ ) : les forces  $P'_8$ ,  $T'_{8-14}$ ,  $T'_{8-15}$ ,  $T'_{8-16}$  et  $T'_{89}$  se font équilibre et la somme de leurs moments par rapport au point de rencontre  $m_8$  des lignes d'action  $8'15'$  et  $8'16'$  de la figure fondamentale doit être nulle. Or la force  $P'_8$  se réduit à un couple dont le moment a pour valeur

$$- a P_8,$$

puisque  $P_8$  est une charge verticale descendante. Si donc on désigne par  $d$  la valeur commune des distances du point  $m_8$  aux droites  $8'14'$  et  $8'9'$  et si l'on fait usage, pour les signes des forces  $T'$ , de la même convention que plus haut, on aura

$$T'_{8-14} d - T'_{89} d - a P_8 = 0,$$

ou bien

$$T'_{8-14} - T'_{89} = \frac{a}{d} P_8 = \mu_8.$$

La quantité  $\mu_8$  qui figure dans cette équation est positive, ses dimensions sont celles d'une force et l'on peut facilement la construire.

Formons, en effet, un triangle rectangle  $ABC$  (fig. 5) dans lequel l'un des côtés de l'angle droit,  $AB$ , soit égal à  $d$  et l'autre,  $BC$ , au rayon  $a$  de la circonférence directrice. Portons ensuite, à partir du sommet  $A$  et sur le côté  $AB$ , une longueur égale à  $P_8$ ; si l'on mène alors par l'extrémité de cette longueur un parallèle à  $BC$ , on forme un deuxième triangle semblable au premier et dans lequel le côté homologue à  $BC$  donne précisément la quantité  $\mu_8$ .

Si l'on applique successivement le raisonnement qui précède à tous les nœuds de la deuxième couronne, on est conduit à un nouveau système de sept équations qu'il n'est plus nécessaire d'écrire complètement. Ces équations ont, en effet, même forme que celles qui constituent le système (I) et pourront, en conséquence, être résolues graphiquement par une méthode analogue dès qu'on aura déterminé, à l'aide de la figure 5, toutes les quantités  $\mu$  qui y figurent.

Cette résolution a été opérée sur la figure 6 qui s'explique immédiatement lorsqu'on la compare à la figure 5 et qu'on tient compte du fait suivant : les forces  $P'_i$  ayant des intensités nulles, puisqu'elles se réduisent à des couples, le polygone analogue à  $c_0 c_1 c_2 \dots$  se réduit à un seul point désigné par  $c$ . En conséquence, pour obtenir le point analogue à  $c'_1$  par exemple, il suffit de porter, à partir de  $c$  et parallèlement à la direction positive choisie sur  $8'9'$ , une longueur égale à  $\mu_8$ . Les points  $c'_2, c'_3, \dots$  se déterminent d'une manière analogue; on en déduit ensuite les points  $d_1, d_2, \dots$  comme dans le cas précédent et la figure 6 s'achève sans qu'il y ait lieu d'insister davantage. Les forces  $T'$  sont donc maintenant déterminées pour toutes les barres de la coupole et dans les deux cas de charge définis plus haut. Il est bien clair, de plus, que le principe de la superposition des effets des forces donne immédiatement ces mêmes forces lorsqu'on suppose que les deux systèmes de charges agissent simultanément.

91. Des remarques importantes doivent encore être faites.

Imaginons, en premier lieu, que la couronne supérieure, au lieu de posséder un nombre impair de nœuds, en comprenne un nombre pair, six par exemple.

Les équations (I) seront, alors, au nombre de six; de plus, la première et la dernière doivent être remplacées par les suivantes

$$\begin{aligned} T'_{12} - T'_{16} &= \mu_1, \\ T'_{61} - T'_{65} &= \mu_6, \end{aligned}$$

tandis que les autres ne subissent aucune modification. Dans ces conditions, la combinaison qui nous avait conduit à l'équation (II) donne

$$0 = \mu_1 - \mu_2 + \mu_3 - \mu_4 + \mu_5 - \mu_6.$$

Or les quantités  $\mu$  dépendent des forces extérieures et celles-ci ont été supposées quelconques : en général la relation ci-dessus ne sera pas satisfaite, ce qui indique que le système ne peut demeurer en équilibre. On sait, du reste, qu'un tel système est déformable et doit être soigneusement évité dans les applications.

92. Reprenons le système primitif, mais admettons qu'on applique simultanément sur chacun de ses nœuds des charges verticales. Supposons, de plus, que les poids appliqués sur les nœuds supérieurs soient égaux entre eux et aient  $P$  pour commune valeur; que, de même, les poids agissant sur les nœuds de la deuxième couronne aient une même valeur  $Q$ . Les forces  $T'$  engendrées dans ces conditions peuvent être obtenues bien facilement, à l'aide d'une seule figure et sans qu'il soit nécessaire de recourir au principe de la superposition, grâce au fait que toutes les forces  $P'$  et  $Q'$  ont des intensités nulles.

Considérons, tout d'abord, les nœuds supérieurs et procédons comme dans le cas relatif à la figure 6. On voit tout de suite que l'on est conduit à construire un diagramme (partie centrale de la figure 7) semblable à la région correspondante de la figure fondamentale. Quant au rapport de similitude, il dépend uniquement, l'échelle des forces étant fixée, de l'intensité de la charge  $P$ ; de plus, par un choix convenable de cette dernière quantité, ce rapport peut être rendu égal à l'unité.

Si l'on considère ensuite la série des nœuds sollicités par les charges  $Q$  et qu'on poursuive les constructions sur la figure 7 qu'on achève bien facilement, on obtient un nouveau diagramme qui, pour une valeur convenable de  $Q$ , devient encore égal à la région correspondante de la figure 2.

D'ailleurs, il est bien simple de déterminer les valeurs des charges  $P$  et  $Q$  qui rendent les deux parties en lesquelles on peut décomposer le diagramme 7 égales aux parties correspondantes de la figure fondamentale.

Les forces  $T'_{17}, T'_{18}, T'_{19}, T'_{12}$  et  $P'$  obtenues en envisageant le nœud ( $A_1$ ) sont, en effet, en équilibre. Mais les quatre premières sont données, en grandeur et position, par les côtés du quadrilatère fermé  $Ostk$  et se réduisent à un couple dont le moment est égal au double  $2S$  de la surface de ce quadrilatère. On aura donc, puisque la force

$P'$  se réduit elle-même à un couple dont le moment est égal à  $-aP$ ,

$$2S = aP$$

d'où

$$P = \frac{2S}{a}$$

On verrait de la même manière qu'en désignant par  $S'$  la surface de l'hexagone  $mnpqts$ , on a

$$Q = \frac{2S'}{a}$$

Si nous admettons alors que l'on ait précisément choisi ces valeurs pour  $P$  et  $Q$ , le diagramme 7 devient rigoureusement identique à la figure fondamentale. Nous aurions donc pu nous dispenser de le tracer si nous n'avions voulu mettre nettement en évidence ce fait, quelque peu surprenant, que la recherche des tensions produites par des charges absolument quelconques dépend uniquement de la considération d'une figure dans laquelle les divers côtés représentent déjà les tensions engendrées dans un cas très spécial.

Ajoutons encore que l'origine de la figure fondamentale peut bien expliquer qu'elle donne directement les tensions qui prennent naissance dans un cas particulier ; en revanche, elle ne rend pas compte du fait que nous venons de signaler et qu'on aurait déjà pu remarquer dans les applications précédentes.

[A suivre].

## L'architecture moderne en Allemagne.

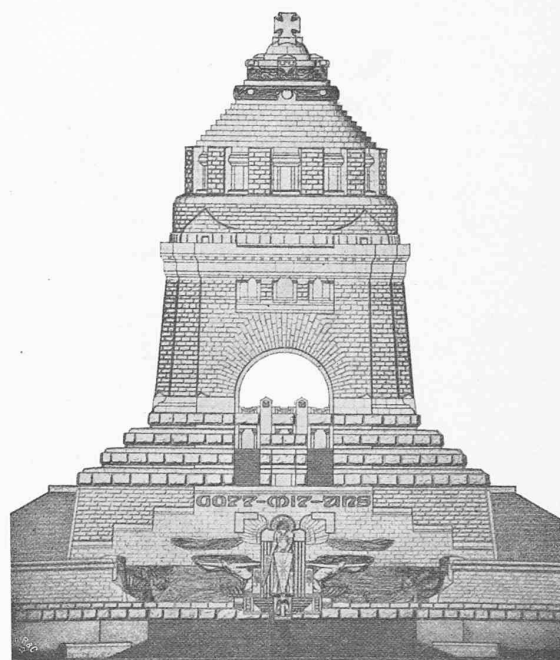
Par M. A. LAMBERT, architecte.

(Suite et fin)<sup>1</sup>.

### V<sup>e</sup> groupe. — Monuments commémoratifs avec formes préhistoriques.

De tous temps, les peuples se sont appliqués à perpétuer le souvenir des événements mémorables de leur histoire ou de leurs grands hommes au moyen de monuments. Ces édifices ont toujours reflété dans leurs formes le goût et la civilisation des hommes qui les avaient élevés ; c'est ainsi qu'à Rome, les arcs de triomphe, les colonnes ou les portiques destinés à proclamer aux générations à venir la gloire des Césars étaient traités dans le même esprit que les autres monuments. L'arc de Titus, avec la beauté de ses proportions, la correction de son architecture et la richesse de sa sculpture, est, pour nous, un type parfait de l'art romain, au commencement de l'ère chrétienne.

François Blondel, en élevant la porte St-Denis à Paris, en 1672, créait un monument d'une élégance et d'une ampleur qui caractérisent encore aujourd'hui l'époque de Louis XIV ; et l'époque napoléonienne n'est-elle pas admirablement symbolisée par l'arc de triomphe de l'Etoile, ce colosse étant d'une distinction parfaite de détails, tant dans sa sculpture que dans ses profils ?



Cliché de la « Deutsche Bauzeitung ».

Fig. 80. — Monument commémoratif de la bataille de Leipzig.  
Architecte : M. W. Kreis, à Dresde.

On pourrait multiplier à l'infini les exemples prouvant qu'en général les peuples ont cru pouvoir glorifier les faits historiques et les grands hommes au moyen de monuments exprimant le sentiment artistique de leur époque et de leur pays.

Depuis quelques années on a, en Allemagne, rompu avec cette tradition, on ne cherche plus à transmettre aux générations futures des souvenirs importants au moyen de formes caractéristiques pour l'architecture moderne, mais on s'évertue à donner l'impression de la force avec des masses plus ou moins informes, pouvant rappeler les formations primitives qui ne se dégagent pas encore entièrement de la nature. Nous ne parlons ici que du monument commémoratif architectural et non pas des innombrables statues qui, elles pour la plupart, ont conservé un aspect moderne.

Les monuments commémoratifs les plus importants sont destinés à consacrer le souvenir d'événements historiques tels que la fondation de l'unité allemande ou une bataille décisive dont dépendit le sort de la nation, mais ceux qui sont décernés à quelques grands hommes, et surtout à Bismarck, sont particulièrement nombreux.

Au lieu donc de célébrer la fondation de l'empire allemand ou la bataille de Leipzig ou le souvenir de Bismarck au moyen d'un édifice rappelant, par l'élégance de ses formes, qu'il a été élevé à une époque policée, héritière d'une culture ancienne, on tâche de se figurer comment l'homme primitif aurait bien pu résoudre le problème ; cette recherche donne lieu à des œuvres qui peuvent être saisissantes, grandioses, mais qui ont le grand défaut de ne pas être l'expression de sentiments modernes, et il peut paraître

<sup>1</sup> Voir N<sup>o</sup> du 10 novembre 1907, page 221.