Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 30 (1904)

Heft: 3

Artikel: Application de la statique graphique aux systèmes de l'espace

Autor: Mayor, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-24111

La constitution financière de la *Compagnie Châtel-Bulle-Montbovon* a eu lieu par gradation successive, allant du *routier* (novembre 1888) au chemin de fer indépendant, (juillet 1899) et au dit augmenté de diverses améliorations et extensions décidées en cours d'exécution (10 juillet 1902). A cette dernière date, le *capital-actions* était de Fr. 2 610 000 et l'emprunt par obligations prévu à . . . . » 1 800 000

Soit au total . . . . . . Fr. 4 410 000

sur lesquels figurent : l'Etat pour 1 300 000 fr., et les Communes pour 800 000 fr. environ.

Le compte de construction étant encore ouvert et le tronçon de Bulle inexécuté, il n'est pas possible de fixer le montant de la dépense réelle. Notre devis, augmenté des extensions décidées en cours d'exécution, portait au 1er mars 1902 :

Frais généraux et intérêts.	Fr.	227 370
Expropriations		371 130
Etablissement de la ligne (par km. 62 225 fr.) .		2 489 000
Traction électrique		856 200
Matériel roulant		355 450
Mobilier et ustensiles		55 000
Imprévu (ne portant plus sur l'ensemble) . .		35 850
	Fr.	4 390 000
ou par kilomètre.		115 230

La ligne Châtel-Bulle-Montbovon comporte, il ne faut pas l'oublier, trois gares terminus très coûteuses : *Châtel, Bulle* et *Montbovon,* dont *toute* la dépense figure à ce devis.

Au point de vue administratif, la haute main appartint dès le début aux organes de l'Etat ; l'éloquence des chiffres est là pour l'expliquer, et c'est sous la haute direction des Conseils de la Compagnie, comprenant notamment MM. les Conseillers d'Etat *Théraulaz, Python* et *Cardinaux,* qu'ont eu lieu la constitution des deux Compagnies et la réalisation pratique de leurs projets.

Exploitation. Ouvert le 29 avril 1901, le tronçon *Châtel-Palézieux* a « vivoté » jusqu'au jour où il a reçu le trafic assez important dont nous avons parlé, de la *Verrerie* de Semsales. Dès l'ouverture du tronçon *Châtel-Vuadens* (23 juillet 1903) et la fusion, l'amélioration a continué ; elle fera encore un *crescendo* sensible le jour où l'automotrice ira librement de Palézieux ou de Vevey à Montbovon, et où l'on aura organisé un service *direct* avec le grand réseau, brisant ainsi toutes les entraves dont le commerce souffre aujourd'hui.

Nous terminons par un tableau comparatif des conditions d'exploitation où vont se trouver les lignes fusionnées de la Gruyère avec leurs voisines concurrentes ou aboutissantes.

Il ressort assez clairement de ce tableau que, si l'afflux des touristes, notamment le courant Brünig-Oberland-Montreux, sera certainement acquis aux voies électriques tendant au Léman, en revanche le trafic commercial en transit restera au grand réseau des Chemins de fer fédéraux.

MM. les ingénieurs *Pazziani, Jambé, Junod,* anciens élèves de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne, et MM. *Chavannes, Andrey* et *Cretton,* conducteurs de travaux, ont collaboré principalement aux études, au piquetage et à la conduite des travaux de toute nature ; plusieurs élèves de l'Ecole d'Ingénieurs ont trouvé là l'occasion de faire leurs débuts de techniciens durant leurs vacances.

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

Par M. B. MAYOR,
ingénieur et professeur.

(Suite) [1].

CHAPITRE V

Les chaînes funiculaires.

69. Dans une note déjà citée et nécessairement très résumée, j'ai montré qu'il était possible d'étendre, à l'espace, la notion de polygone funiculaire dont l'extrême importance en statique graphique n'est plus à démontrer. Il suffit, pour atteindre ce but, d'envisager simultanément un ensemble de systèmes de forces, puis de faire jouer à chacun de ces systèmes, considéré comme formant un élément bien déterminé, un rôle analogue à celui que joue toute force faisant partie d'un ensemble plan. On est conduit ainsi à une configuration géométrique qu'il est naturel de désigner sous le nom de *chaîne funiculaire* et dont nous allons indiquer le mode de formation et les propriétés essentielles.

70. Deux résultats préliminaires et d'ailleurs très simples nous seront indispensables.

Nous avons vu qu'un système de forces (F) est entièrement défini lorsqu'on connait son complexe d'action (Γ), ainsi que le sens et l'intensité de sa résultante générale R. En faisant donc usage du procédé général de la statique graphique, on pourra le représenter dans l'espace à l'aide de deux figures constituées, l'une par ce complexe (Γ), l'autre par un vecteur d'origine arbitraire, mais ayant même intensité, même direction et même sens que R.

Imaginons alors que, le système (F) étant ainsi représenté, on veuille le décomposer en deux systèmes (F_1) et (F_2) admettant des complexes d'action choisis à l'avance (Γ_1) et (Γ_2) Il résulte d'un théorème général, démontré au paragraphe 2, que, pour que cette décomposition soit possible, il faut et il suffit que les trois complexes (Γ), (Γ_1) et (Γ_2) appartiennent à un même système à deux termes, ou, ce qui revient au même, qu'ils aient en commun une même congruence linéaire (C). Si, d'ailleurs, cette condition est vérifiée, la décomposition n'est possible que d'une seule manière et on peut toujours l'opérer à l'aide d'un procédé très simple que nous allons indiquer.

[1] Voir N° du 25 janvier 1904, page 75. — Article publié à l'occasion du cinquantième anniversaire de la fondation de l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne. (Voir la *Note de la Rédaction*, page 104.)

Désignons, à cet effet, par R_1 et R_2 les résultantes générales des deux systèmes cherchés. Ces résultantes sont respectivement parallèles aux axes des complexes (Γ_1) et (Γ_2), et leur somme géométrique doit être égale à R. On peut donc construire un triangle dont un côté soit égal et parallèle à R, les deux autres côtés étant respectivement parallèles aux axes de (Γ_1) et (Γ_2). Ces deux derniers côtés, parcourus en sens inverse de R, représentent complètement les résultantes des systèmes cherchés. Le problème proposé est alors résolu, puisque les complexes (Γ_1) et (Γ_2) sont donnés et qu'on a pu déterminer, en particulier, les intensités et les sens des résultantes correspondantes.

Il n'est pas inutile d'observer que l'existence, dans l'espace, du triangle qu'on vient de définir, est, en premier lieu, une conséquence du fait que R est la somme géométrique de R_1 et de R_2. D'ailleurs, elle résulte aussi de la propriété que possèdent les axes des complexes qui passent par une même congruence d'être tous parallèles à un même plan, parallèle lui-même aux deux directrices de la congruence commune.

71. Considérons finalement une congruence linéaire (C) définie à l'aide de ses éléments représentatifs C, C', c, c'. Nous avons vu que lorsqu'un seul des éléments représentatifs, f' par exemple, d'un complexe linéaire (Γ) passant par (C) est donné, il est possible de déterminer tous les autres. D'autre part, il résulte d'une remarque faite au paragraphe 67 que la direction de l'axe de (Γ) dépend uniquement de la ligne représentative f' et réciproquement. Comme, enfin, tous les axes des complexes qui passent par une même congruence sont parallèles à un plan, parallèle lui-même aux directrices de cette congruence, on peut énoncer le théorème suivant :

Par une congruence donnée, on peut toujours faire passer un complexe et un seul dont l'axe ait la direction d'une droite astreinte à la seule condition de se trouver dans un plan parallèle aux directrices de cette congruence.

72. Ces résultats obtenus, le mode de formation des chaînes funiculaires peut être défini sans difficulté.

Considérons, dans ce but, des systèmes de forces en nombre quelconque (F_1), (F_2),..., (F_i),..., (F_n) et désignons, d'une manière générale, par (Γ_i) le complexe d'action de (F_i) et par R_i la résultante générale de ce même système, cette dernière étant envisagée en grandeur, direction et sens. Portons alors ces résultantes bout à bout, dans l'ordre assigné par leurs indices, de manière à former un contour polygonal parcouru dans un même sens de circulation et analogue, par conséquent, au polygone des forces d'un système unique. Supposons, enfin, qu'on ait joint par des droites que nous appellerons des rayons polaires, les extrémités et les sommets de ce contour à un point (P) arbitrairement choisi dans l'espace.

Ceci posé, soit (Γ_{01}) un complexe linéaire astreint à la seule condition d'avoir son axe parallèle au premier rayon polaire. Par la congruence commune à (Γ_{01}) et (Γ_1) faisons ensuite passer le complexe (Γ_{12}) dont l'axe est parallèle au deuxième rayon polaire ; il résulte immédiatement du théorème qu'on vient d'établir qu'un tel complexe existe et qu'il n'en existe qu'un. De même, par la congruence commune à (Γ_{12}) et à (Γ_2) faisons passer le complexe (Γ_{23}) dont l'axe est parallèle au troisième rayon polaire, et poursuivons cette opération jusqu'à ce qu'on ait déterminé un dernier complexe $(\Gamma_{n,\ n+1})$ ayant un axe parallèle au dernier rayon polaire.

Les complexes (Γ_{01}), (Γ_{12}),..., $(\Gamma_{n,\ n+1})$ ainsi définis constituent ce que nous appellerons une *chaîne funiculaire* relative aux systèmes de forces considérés ; de plus, le point (P) sera dit le pôle de cette chaîne. Nous allons alors montrer que ces chaînes funiculaires jouissent de propriétés géométriques et mécaniques qui correspondent exactement à celles que possèdent les polygones funiculaires.

73. Théorème fondamental. *Lorsque des systèmes de forces en nombre quelconque agissent sur un même solide on peut les réduire à deux systèmes ayant : 1° pour complexes d'action, les complexes extrêmes d'une quelconque de leurs chaînes funiculaires ; 2° pour résultantes générales, les rayons polaires correspondants parcourus dans le sens qui va de l'origine à l'extrémité du polygone des résultantes.*

Les notations fixées au paragraphe précédent étant conservées, imaginons, pour démontrer ce théorème, qu'on décompose (F_1) en deux systèmes admettant (Γ_{01}) et (Γ_{12}) pour complexes d'action. Une pareille décomposition est possible puisque (Γ_1), (Γ_{01}) et (Γ_{12}) passent par une même congruence ; si, d'ailleurs, pour l'opérer, on applique le procédé décrit précédemment, on voit que les résultantes générales des systèmes composants sont représentées en grandeur, direction et sens par les deux premiers rayons polaires parcourus successivement dans le sens qui va de l'origine du polygone des résultantes générales à l'extrémité du premier côté de ce polygone.

Décomposons ensuite, à l'aide du même moyen, (F_2) en deux nouveaux systèmes ayant (Γ_{12}) et (Γ_{23}) pour complexes d'action et poursuivons cette opération jusqu'à ce qu'on ait décomposé (F_n) suivant les complexes $(\Gamma_{n-1,n})$ et $(\Gamma_{n,\ n+1})$. De cette manière, on a pu remplacer les systèmes primitifs par un ensemble de systèmes dont les complexes d'action coïncident avec ceux qui constituent la chaîne considérée. Il est d'ailleurs visible que suivant chacun des complexes intermédiaires de cette chaîne agissent deux systèmes dont les résultantes générales sont égales et de sens opposés. De pareils systèmes peuvent être supprimés puisqu'ils agissent, par hypothèse, sur un même solide et qu'ils se font équilibre. Il ne reste donc, en définitive, que les deux systèmes relatifs aux complexes extrêmes (Γ_{01}) et $(\Gamma_{n,\ n+1})$; et ces systèmes satisfont à toutes les conditions de l'énoncé du théorème qu'il s'agissait d'établir.

Ce théorème donne lieu à des corollaires importants qui mettent en pleine lumière l'analogie profonde qui existe entre les polygones et les chaînes funiculaires.

74. Théorème II. *Pour que des systèmes de forces agissant sur un même solide se fassent équilibre, il faut et il suffit : 1° que le polygone de leurs résultantes soit fermé ; 2° que l'une quelconque de leurs chaînes funiculaires se ferme également, une chaîne étant dite fermée lorsque ses complexes extrêmes coïncident.*

Imaginons, en effet, qu'on ait tracé une chaîne funiculaire relative à un ensemble de systèmes, le pôle de cette chaîne ayant été choisi d'une manière arbitraire. De cette manière, on aura pu réduire l'ensemble considéré à deux systèmes répondant aux conditions énoncées dans le théorème fondamental.

Or, il est manifeste que, pour que deux systèmes de forces se fassent équilibre, il faut et il suffit que leurs complexes d'action coïncident et que leurs résultantes générales soient égales et opposées. Dès lors, on voit immédiatement que pour que l'ensemble considéré soit lui-même en équilibre, il est nécessaire et suffisant que la chaîne tracée et le polygone des résultantes soient fermés.

75. On peut déduire de ce théorème deux corollaires qui doivent être signalés.

En premier lieu, lorsque les conditions énoncées sont vérifiées par une seule chaîne funiculaire, l'équilibre de l'ensemble est assuré. Par suite :

Lorsque le polygone des résultantes d'un ensemble se ferme et qu'il en est de même pour l'une de ses chaînes funiculaires, toutes les autres chaînes se fermeront aussi.

Considérons ensuite des systèmes en nombre quelconque et tels que leurs complexes d'action passent par une même congruence. On démontre facilement que, pour que de pareils systèmes se fassent équilibre, il faut et il suffit que leur polygone des résultantes soit fermé. Supposant cette condition satisfaite, il résulte de ce qui précède que toutes les chaînes correspondantes seront fermées.

En particulier, supposons que le nombre des systèmes considéré se réduise à trois et traçons, en choisissant arbitrairement le pôle, une chaîne funiculaire. On a formé de cette manière deux configurations dont l'une est constituée par les complexes d'action et les complexes de la chaîne tracée, l'autre par le triangle des résultantes et les rayons polaires correspondants. D'ailleurs, entre ces deux configurations existent des relations absolument analogues à celles qui lient les diagrammes réciproques de Crémona utilisés dans la statique graphique des systèmes plans. Car, en effet, à tout complexe de la première figure correspond une droite de la seconde figure qui est parallèle à son axe ; de plus, à trois complexes qui passent par une même congruence correspondent trois droites formant un triangle, et à trois complexes ne passant pas par une même congruence, répondent trois droites passant par un même point.

Il est d'ailleurs facile de pousser beaucoup plus loin cette première extension à l'espace de la notion de figure réciproque ; mais, c'est là un point sur lequel nous ne pouvons nous étendre ici.

76. Théorème III. *Les complexes correspondants de deux chaînes relatives aux mêmes systèmes de forces se coupent suivant des congruences qui sont toutes contenues dans un même complexe, dont l'axe est parallèle à la droite qui joint les pôles de ces chaînes.*

Désignons, en effet, par P et P' les pôles de deux chaînes relatives à un même ensemble (F) de systèmes de forces et soient, en outre, A et B l'origine et l'extrémité du polygone des résultantes de cet ensemble.

Réduisons, à l'aide de la première chaîne, l'ensemble considéré à deux systèmes (F_{01}) et $(F_{n,\,n+1})$ dont les résultantes générales sont représentées en grandeur, direction et sens par les rayons polaires AP, PB ; de plus, désignons, comme précédemment, par (Γ_{01}) et $(\Gamma_{n,\,n+1})$ les complexes d'action correspondants. De même, et à l'aide de la deuxième chaîne, réduisons (F) aux deux systèmes (F'_{01}), $(F_{n,\,n+1})$ ayant (Γ'_{01}), $(\Gamma'_{n,\,n+1})$ pour complexes d'action et AP', $P'B$ pour résultantes générales.

Dans ces conditions, l'ensemble formé par (F_{01}) et et $(F_{n,\,n+1})$ est nécessairement équivalent à l'ensemble formé par (F'_{01}) et $(F'_{n,\,n+1})$. Si donc on change les sens des résultantes de (F'_{01}) et de $(F'_{n,\,n+1})$ en laissant fixes leurs complexes d'action, on obtient deux nouveaux systèmes $(-F'_{01})$ et $(-F'_{n,\,n+1})$ dont l'ensemble tient en équilibre celui qui est formé par (F_{01}) et $(F_{n,\,n+1})$. Le système résultant de (F_{01}) et de $(-F_{01})$ a dès lors même complexe d'action (Γ) que le système résultant de $(F_{n,\,n+1})$ et de $(-F'_{n,\,n+1})$. Comme, de plus, l'axe de (Γ) est nécessairement parallèle à la droite PP', on voit que la congruence d'intersection des premiers complexes des deux chaînes considérées et la congruence d'intersection des derniers complexes de ces mêmes chaînes sont bien contenues dans un même complexe (Γ) dont l'axe est parallèle à PP'.

En supprimant ensuite quelques-uns des systèmes qui forment l'ensemble donné, on montrerait, à l'aide d'un raisonnement semblable, que deux complexes, qui se correspondent dans les chaînes tracées, se coupent encore suivant une congruence contenue dans (Γ). Le théorème énoncé se trouve ainsi établi.

77. Les trois théorèmes qui précèdent montrent clairement que les chaînes funiculaires constituent l'extension naturelle de la notion de polygone funiculaire. Au surplus, il est facile de s'assurer que les chaînes comprennent, comme cas particulier, les polygones funiculaires.

Admettons, en effet, que l'ensemble de systèmes que nous avons considéré jusqu'ici, soit formé de forces contenues dans un même plan, de manière que le polygone des résultantes, qui d'ailleurs se réduit au polygone de ces forces, soit lui-même plan. Traçons alors une chaîne funiculaire dont le pôle soit contenu dans le plan du polygone des forces et dont le premier complexe, supposé spécial, admette pour directrice une droite située dans le plan des lignes d'action des forces données. Il résulte immédiatement du fait que tous les complexes d'un système à deux termes sont spéciaux lorsque les deux directrices de la congruence commune se rencontrent, que tous les complexes de cette chaîne seront eux-mêmes spéciaux. Il est visible, de plus, que les directrices de ces complexes spéciaux forment un polygone funiculaire relatif aux forces considérées.

(A suivre.)

La responsabilité contractuelle de l'architecte.

(ÉTUDE DE JURISPRUDENCE).

Par M. JEAN SPIRO, Docteur en droit. Avocat et professeur.

(Suite) [1].

Prescription des actions dérivant de la responsabilité de l'architecte.

« Le contrat par lequel l'architecte promet ses services » est un contrat de louage de services et, en l'absence de » dispositions spéciales de la loi, la prescription des actions » dérivant de ce contrat est régie par les articles 146 et » suivants C. O. ; ces actions n'étant pas celles prévues » à l'article 147, qui se prescrivent par cinq ans, sont par » conséquent soumises à la prescription ordinaire de 10 » ans». (Arrêt T. F., 14 octobre 1895, Firmenich c. Dériaz frères).

Cette décision est conforme aux textes, et les considérations dont l'appuie l'arrêt précité sont de nature à ne laisser planer aucun doute sur ce point. L'article 362, qui fixe à cinq ans la prescription lorsqu'il s'agit de la responsabilité de l'entrepreneur, n'a eu en vue que les rapports nés d'un contrat de louage d'ouvrage entre maître et entrepreneur et non les rapports nés d'un louage de services tels que ceux existant entre propriétaire et architecte.

Ceci ne signifie pas que l'architecte soit responsable pendant dix ans de toutes les fautes qu'il peut avoir commises et que le maître soit libre de retarder jusqu'au dernier jour du délai l'ouverture d'une action ou la signification d'un commandement de payer. Dès l'acceptation de l'ouvrage [2] l'architecte est déchargé de toute responsabilité en tant qu'il s'agit de défauts qui pouvaient être constatés lors de la réception; de même s'il s'agit de défauts qui ne se sont manifestés que plus tard, le maître est tenu de les signaler à l'architecte aussitôt qu'il en a connaissance; sinon, il est réputé avoir accepté l'ouvrage avec ces défauts. Il faut en effet appliquer au louage de services les dispositions des articles 360 et 361 concernant le contrat d'entreprise et 245 et 246 visant la garantie des défauts de la chose vendue ; ces dispositions sont d'ordre général et trouveraient plutôt leur place dans la partie générale du code ; de quelque contrat qu'il s'agisse, les prestations défectueuses doivent être critiquées au moment où elles sont fournies et dans tous les cas immédiatement après que la défectuosité s'est révélée. La jurisprudence du Tribunal fédéral s'est également prononcée dans ce sens :

« Il est évident, alors même que le titre du louage de » services ne renferme pas de dispositions analogues à » celle de l'article 360, que le seul principe de la bonne foi » doit faire admettre que celui qui a fourni ses services est » déchargé de toute responsabilité lorsque le maître les a » acceptés expressément ou tacitement sans se prévaloir » de fautes ou négligences qu'il aurait constatées ou dû » constater ». (Firmenich c. Dériaz frères, 4 octobre 1895).

II^me PARTIE

Nous consacrerons cette seconde partie à l'examen des diverses prestations à la charge de l'architecte, énumérées plus haut. Nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer que l'énumération figurant au tarif de la Société des ingénieurs et des architectes ne devait pas être considérée comme limitative, l'architecte étant tenu, à côté de ces prestations spéciales, de mettre au service du propriétaire, de la manière la plus complète, ses aptitudes et ses connaissances techniques. Ceci rappelé, les prestations de l'architecte peuvent se ramener à quatre chefs principaux : élaboration des plans (esquisse, projet définitif, plans et détails d'exécution), du devis, direction des travaux et vérification. Les arrêts du Tribunal fédéral touchant chacune de ces prestations ne sont pas nombreux ; ils ont cependant posé, pour les principales d'entre elles, des principes importants qu'il est utile de rappeler.

Les plans.

Les plans doivent être établis conformément aux règles de l'art ; l'architecte aura essentiellement à tenir compte de la nature du terrain, de la destination du bâtiment, de la somme que le propriétaire entend affecter à la construction ; il est également responsable d'une bonne distribution des locaux et appartements.

« Lorsqu'il résulte des circonstances que l'architecte » aurait dû se rendre compte, lors de la construction, de » l'état d'humidité du sol et de son imperméabilité, circons» tances éminemment favorables à la formation de champi» gnons, et que d'autre part il existe des mesures de » précaution contre ce danger, consistant particulièrement » dans l'établissement d'ouvertures de ventilation plus con» sidérables, il y a faute de l'architecte, soit dans le fait de » n'avoir pas remarqué les causes du danger, soit dans » celui d'avoir ignoré les moyens d'y parer ». (Arrêt T. F., 2 avril 1894, Burckhardt c. Friedrich, cons. 6).

La volonté du propriétaire sera souvent appelée à jouer un grand rôle dans l'établissement des plans ; il va sans dire que l'on ne saurait faire un reproche à l'architecte de s'y conformer dans la mesure où les exigences du pro-

[1] Voir N° du 25 janvier 1904, page 92. — Article publié à l'occasion du cinquantième anniversaire de la fondation de l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne. (Voir la *Note de la Rédaction*, page 104.)

[2] Jugé que la réception sans observation du compte général des travaux par le propriétaire ne peut être envisagée comme une réception de travaux (Schumacher c. Meili-Wapf).