Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 15

Artikel: L'arc élastique sans articulation
Autor: Guidi, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-23501

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: 15.07.2025

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

et 100 mm. de diamètre, dans lesquelles le gaz est refoulé par un compresseur sous une pression actuellement très faible, vu la consommation encore peu élevée du début, mais qui pourra atteindre dans la suite jusqu'à 6 m. d'eau. Les conduites sous pression aboutissent à des gazomètres installés dans les localités éloignées ou entre deux de celles-ci et alimentant à leur tour chacun un réseau de distribution, sous pression ordinaire de 60-80 mm. d'eau.

Ces gazomètres isolés sont munis d'une fermeture automatique qui arrête l'arrivée du gaz refoulé lorsqu'ils sont pleins. Le gaz peut aussi être livré à des abonnés en cours de route, au moyen de prises munies de régulateurs de pression et faites directement sur la conduite de refoulement.

Les installations qui viennent seulement d'être terminées et celles analogues indiquées plus loin, constituent un progrès important pour l'industrie du gaz, en lui permettant d'alimenter tout un périmètre depuis une usine centrale, dans laquelle le gaz est obtenu à des prix de revient bien inférieurs à ceux à attendre d'une petite usine spéciale pour chaque localité, dont les frais d'installation n'eussent pas pu le plus souvent être rentés par la consommation à y prévoir.

Ce mode de transport et de distribution du gaz à distance, déjà utilisé depuis longtemps en Amérique avec le gaz naturel, présente enfin une certaine analogie avec celui employé pour le transport de l'électricité sous forme de courants alternatifs et avec l'aide de transformateurs.

M. Rothenbach cite aussi l'installation analogue qui vient d'être terminée par lui pour le transport du gaz de Thonon à Evian, sur une distance de 10 km. environ.

Dans la discussion sur cette importante et intéressante question, M. Hase, directeur, donne quelques renseignements sur le transport du gaz de Lübeck à Trawenmünde, à une distance de 19 $^1/_2$ km., et M. Eisele signale une distribution semblable à Heidelberg, en service depuis le mois de février dernier.

L'assemblée écoute ensuite une communication de M. le Professeur Dr H. Aron, de Berlin, sur *les compteurs à gaz à paiement préalable*, qui indique l'extension que ces compteurs ont prise en Angleterre, en Danemark et en Hollande. En Angleterre, le quart des compteurs à gaz est actuellement à paiement préalable. A Copenhague, on en comptait 14 000 à fin 1902. Enfin, à Amsterdam, le nombre des compteurs à paiement préalable, qui était de 1869 en 1899, se trouve être de 15 600 en 1902. Ces chiffres démontrent l'avantage et le succès de ces compteurs, qui nécessitent bien entendu la gratuité de l'installation moyennant un supplément de prix qui peut s'élever de 3 à 5 centimes par mètre cube.

Le conférencier signale l'importance qu'il y a à ce que ces compteurs soient d'un fonctionnement parfait à tous égards et indique quelques améliorations qu'il y a lui-même apportées. Il termine en insistant sur les avantages de ces compteurs qui encouragent la propreté, l'hygiène et l'économie dans les petits logements.

Après avoir applaudi cette communication, l'assemblée termine sa dernière séance en liquidant les affaires administratives et en procédant au renouvellement des commissions et de son comité, à la présidence duquel elle appelle M. le Directeur Körting. Elle accepte enfin l'invitation de la ville de Hanovre pour le congrès de 1904.

Le soir un grand banquet de plus de 800 couverts réunissait une dernière fois les participants à cette fête, admirablement organisée par la ville de Zurich et ses ingénieurs et dont chacun a remporté une ample moisson de renseignements utiles et de charmants souvenirs.

Nous devons mentionner en terminant qu'une intéressante exposition des dernières nouveautés dans le domaine de l'eau et du gaz avait été organisée au rez-de-chaussée de la Tonhalle et comprenait, en outre, la collection des dessins présentés au concours de lustrerie artistique ouvert par l'Association allemande des gaziers.

Louis CHAVANNES.

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.

Introduction.

Quoique l'arc métallique sans articulation semble depuis quelques dizaines d'années céder le pas aux arcs à deux ou trois articulations, il a cependant encore reçu, ces dernières années, de belles applications dans des constructions de grande importance. Même l'arc en maçonnerie s'est vu mettre des articulations. Toutefois, il est bon de relever qu'un arc construit sans cet artifice est pourtant plus digne de faveur si sa forme est bien en rapport avec ses conditions de charge. Un arc monolithique, construit avec toutes les ressources de l'art de l'ingénieur moderne, présentera toujours une plus grande garantie. Vu son importance encore actuelle, spécialement dans ses applications aux ponts, j'ai cru intéressant de publier sur ce sujet, qui m'a déjà souvent occupé, quelques solutions nouvelles qui présentent un caractère de rigueur scientifique et qui, de plus, se généralisent aussi bien aux arcs à treillis qu'à ceux à parois pleines. Parmi ces derniers rentrent naturellement ceux en maçonnerie, que les expériences modernes sur le matériel de voûte font de plus en plus regarder comme arcs élastiques.

La concordance des résultats obtenus dans cette note avec ceux des méthodes connues de Winkler, Culmann, Ritter et Müller-Breslau peut être remarquée par le lecteur, ainsi que la généralité et la rigueur que gagne par ce traitement la méthode d'Eddy.

Une application pratique de la méthode a été faite au beau pont en maçonnerie Antoinette de la ligne Montauban-Castres (France).

I. Arc à treillis.

1. — La figure 1 représente un arc quelconque, à treillis, plan, dissymétrique et triangulé, encastré sur ses appuis et de ce fait trois fois statiquement indéterminé. Ses barres, supposées élastiques, sont reliées entre elles par des articulations sans frottement.

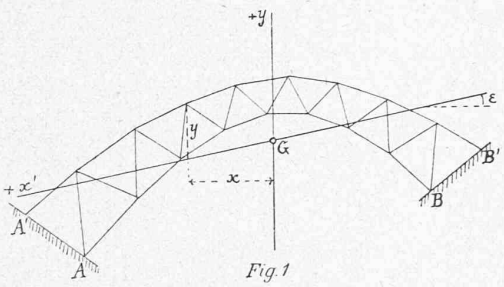

Fig. 1

La construction est soumise à des forces situées dans son plan et centrées aux nœuds. Supposons une variation de température de t^o et un tassement des culées, ou, ce qui revient au même, que l'arc, par défaut de construction, ne remplisse pas exactement sa place, et que, monté sur une culée, il faille le déformer pour le fixer à l'autre.

Nous rapportons le système à deux axes de coordonnées x' et y, situés dans son plan. Leur position sera déterminée plus tard, toutefois l'axe des y est supposé vertical. Celui des x' forme avec l'horizontale un angle ε. Les abcisses horizontales des nœuds auront donc la forme

$$x = x' \cos \varepsilon.$$

2. — Equations de déformation. Dans le but de déterminer le déplacement d'un nœud ou la rotation d'une barre quelconque du treillis, sous l'action des causes indiquées ci-dessus, nous considérons le segment d'arc $AA'\ CC'$ (fig. 2) et nous lui supposons, après la déformation, la position indiquée en pointillé. Δy est le *déplacement vertical* d'un nœud, c'est-à-dire la projection orthogonale de son déplacement réel sur la verticale. Le déplacement suivant x' sera $\Delta d \cos \varepsilon$, où Δd représente, sur l'horizontale, la projection, orthogonale à x', du déplacement réel du point.

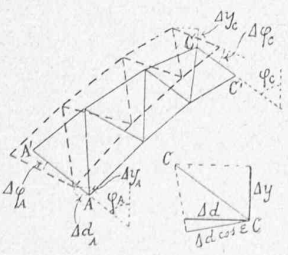

Fig. 2

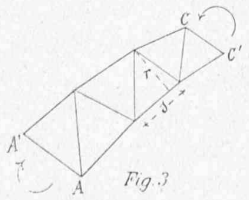

Fig. 3

Si l'axe x' est horizontal, Δd devient égal à Δx. Enfin φ est l'angle d'inclinaison d'une barre quelconque du treillis sur la verticale, et $\Delta \varphi$ sa variation.

3. — Rotation d'une barre CC' quelconque du treillis. Supposons le segment d'arc $AA'\ CC'$ (fig. 3) isolé, l'appui remplacé seulement par la barre AA'. L'arc, supposé libre de toute autre charge, est maintenu en équilibre par deux couples contraires et égaux. L'un, deux forces égales et contraires, agissant en A et A', a pour moment $+1$; l'autre, de moment -1, agit de même sur C et C'.

En appliquant le théorème du travail virtuel à cet état de charge hypothétique combiné avec les déformations réelles (fig. 2), produites par les causes déjà indiquées, nous avons :

$$1) \qquad \Delta \varphi_C - \Delta \varphi_A = \Sigma\, S' \Delta s.$$

Pour simplifier nous limiterons cette sommation aux membrures, ce qui revient à supposer indéformables les barres de treillis. Notre cas de charge donne dans les membrures des efforts

$$2) \qquad S' = \frac{1}{r},$$

où r est le bras de levier de la barre envisagée. S' est positif dans la membrure inférieure et négatif dans la supérieure.

Posons :

M = Moment, rapporté au pôle de la barre, des forces extérieures agissant d'un côté de la section envisagée, dans la méthode de Ritter, pour établir l'équilibre.
s = Longueur de la barre.
F = Sa section transversale.
E = Module d'élasticité longitudinale du matériel qui la compose.
α = Coefficient de dilatation thermique de ce matériel.
t = Variation de température évaluée en degrés.

Dans ces conditions :

$$3) \qquad \Delta s = \frac{M}{r} \cdot \frac{s}{EF} + \alpha t s$$

représente la variation totale, thermique et élastique, de longueur de la barre.

4. — Déplacement Δy_c d'un nœud quelconque. Supposons de nouveau isolée la portion AC de l'arc (fig. 4). Toutes les forces extérieures sont nulles; le segment est seulement maintenu en équilibre par deux forces verticales, opposées, égales à 1, dirigées suivant l'axe des y. Elles agissent par le moyen de barres indéformables, fixées, l'une au point A et à la barre AA', l'autre à C et CC', comme le montre la figure.

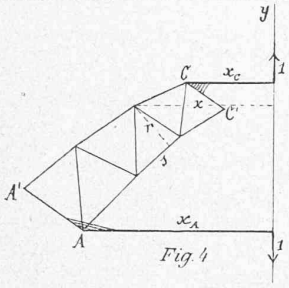

Fig. 4

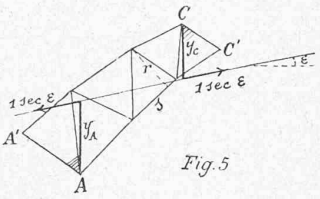

Fig. 5

Etablissons l'équation du travail virtuel en combinant cet état de charge avec les déplacements réels. Nous prendrons, comme précédemment, les déformations réelles (fig. 2) issues des causes indiquées au N° 1.

Le déplacement $\Delta y_c + x_c \Delta\varphi_c$ de la force 1 agissant en haut va dans le sens de la force, tandis que celui de la force descendante, soit $\Delta y_a + x_a \Delta\varphi_A$ est positif dans le sens négatif de la force. Cela donne :

4) $$1\,(\Delta y_c - \Delta y_A + x_c\,\Delta\varphi_c - x_A\,\Delta\varphi_A) = \Sigma\, S''\Delta s\,,$$

où la somme de

5) $$S'' = 1\,\frac{x}{r}$$

se limite aux barres de membrures. Δs conserve l'expression 3).

5. — Déplacement Δd du nœud C. Nous isolons comme ci-dessus la portion AC de l'arc en supposant absentes toutes les charges extérieures. Ce segment est maintenu en équilibre par deux forces *1* sec ε, égales, opposées et situées dans l'axe x' (fig. 5). Elles agissent par des barres indéformables, l'une sur le point A et la barre AA', l'autre sur C et CC'. En combinant cet état de charge avec les déplacements réels (fig. 2), l'équation du travail virtuel nous donne

6) $$1\,(\Delta d_A - \Delta d_c + y_A\,\Delta\varphi_A + y_c\,\Delta\varphi_c) = \Sigma\, S'''\Delta s.$$

Dans la sommation,

7) $$S''' = 1\,\frac{y}{r}$$

est à limiter aux barres de membrures et Δs conserve la valeur 3).

6. — Si nous posons

8) $$w = \frac{S}{E\,F\,r^2} = \text{poids élastique}$$

et que nous remplacions dans 1), 4) et 6) S' S'' et S''' et Δs par leur valeur, nous obtenons les *équations de déformation :*

9) $$\begin{cases} \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_A = \Sigma_A^c\, Mw + \Sigma_A^c\, atS's \\ \Delta y_c - \Delta y_A + x_c\Delta\varphi_c - x_A\,\Delta\varphi_A = \Sigma_A^c\, Mwx + \Sigma_A^c\, atS''s \\ -\Delta d_c + \Delta d_A + y_c\Delta\varphi_c + y_A\,\Delta\varphi_A = \Sigma_A^c\, Mwy + \Sigma_A^c\, atS'''s. \end{cases}$$

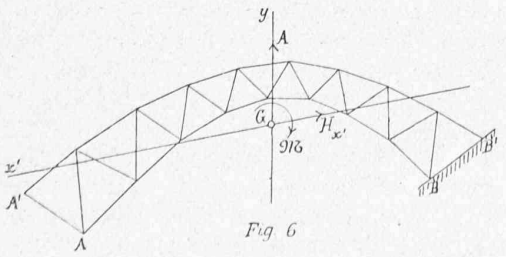

Fig. 6

7. — Equations d'élasticité. Si nous appliquons les valeurs 9) à l'extrémité BB' de l'arc (fig. 6), nous obtenons les trois équations, dites d'élasticité :

10) $$\begin{cases} \Delta\varphi_B - \Delta\varphi_A = \Sigma_A^B\, Mw + \Sigma_A^B\, atS's \\ \Delta y_B - \Delta y_A + x_B\Delta\varphi_B - x_A\,\Delta\varphi_A = \Sigma_A^B\, Mwx + \Sigma_A^B\, atS''s \\ -\Delta d_B + \Delta d_A + y_B\Delta\varphi_B + y_A\,\Delta\varphi_A = \Sigma_A^B\, Mwy + \Sigma_A^B\, atS'''s, \end{cases}$$

qui, les tassements des culées supposés connus, peuvent servir à déterminer trois éléments des réactions d'appui, par exemple les trois paramètres de la réaction de l'appui gauche.

Supposons, en effet, la culée de gauche remplacée par sa réaction, que nous déterminons par ses trois paramètres, une force verticale A agissant suivant l'axe y, une $H_{x'}$ suivant l'axe x' et un moment $\mathfrak{M}$.

Nous observons alors que pour le pôle d'une barre quelconque, le moment M peut être posé

$$M = M_o + \mathfrak{M} - Ax - H_A\,y,$$

où M_o représente la valeur prise par M si la réaction de gauche fait défaut, c'est-à-dire si l'on suppose l'arc fixé seulement à l'appui de droite,

et

$$H_A = H_{x'}\cos\varepsilon.$$

Les équations 10) deviennent alors :

11) $$\begin{cases} \Delta\varphi_B - \Delta\varphi_A = \Sigma M_o w + \mathfrak{M}\Sigma w \\ \quad - A\Sigma wx - H_A\Sigma wy + \Sigma atS's \\ \Delta y_B - \Delta y_A + x_B\Delta\varphi_B - x_A\,\Delta\varphi_A = \Sigma M_o wx + \mathfrak{M}\Sigma wx \\ \quad - A\Sigma wx^2 - H_A\Sigma wxy + \Sigma atS''s \\ -\Delta d_B + \Delta d_A + y_B\Delta\varphi_B + y_A\,\Delta\varphi_A = \Sigma M_o wy + \mathfrak{M}\Sigma wy \\ \quad - A\Sigma wxy - H_A\Sigma wy^2 + \Sigma atS'''s. \end{cases}$$

Faisons passer les axes x' et y par le centre de gravité G des poids élastiques w appliqués aux pôles correspondants, et donnons à x' la direction conjuguée à la verticale y, nous annulerons ainsi dans 11) les termes Σwx, Σwy et Σwxy. La résolution de ces équations donne alors :

12) $$\begin{cases} \mathfrak{M} = -\dfrac{\Sigma M_o w + \Sigma atS's + \Delta\varphi_A - \Delta\varphi_B}{\Sigma w} \\[2ex] A = \dfrac{\Sigma M_o wx + \Sigma atS''s + \Delta y_A - \Delta y_B + x_A\,\Delta\varphi_A - x_B\,\Delta\varphi_B}{\Sigma wx^2} \\[2ex] H_A = \dfrac{\Sigma M_o wy + \Sigma atS'''s + \Delta d_B - \Delta d_A - y_B\,\Delta\varphi_B - y_A\,\Delta\varphi_A}{\Sigma wy^2}. \end{cases}$$

Si l'on fait abstraction des déplacements d'appui et des variations de température, les équations d'élasticité prennent la forme simplifiée :

13) $$\begin{cases} 0 = \Sigma\, Mw \\ 0 = \Sigma\, Mwx \\ 0 = \Sigma\, Mwy \end{cases}$$

et les 12) deviennent :

14) $$\mathfrak{M} = -\frac{\Sigma M_o w}{\Sigma w}\,, \quad A = \frac{\Sigma M_o wx}{\Sigma wx^2}\,, \quad H_A = \frac{\Sigma M_o wy}{\Sigma wy^2}.$$

Les sommations Σw, Σwx^2 et Σwy^2 s'étendent à l'arc entier. Elles représentent les sommes des poids élastiques

et de leurs moments d'inertie rapportés aux axes y et x', les distances x et y étant prises horizontales et verticales.

La détermination des axes x' et y et des valeurs Σwx^2 et Σwy^2 peut se faire par les constructions de la statique graphique, mais il est recommandable, souvent même indispensable, de vérifier les résultats par le calcul pour obtenir l'approximation nécessaire.

Si l'arc est symétrique, l'axe y coïncide avec l'axe de symétrie et l'axe x' avec l'horizontale x passant par le centre de gravité de l'arc.

Généralement, toutes les barres sont du même matériel, le coefficient E est alors constant et peut être pris égal à 1 dans la détermination des poids élastiques w qui entrent dans 13) et 14).

Les sommes contenant M_0 sont toujours faciles à calculer. De cette façon la réaction de la culée gauche est déterminée et avec elle l'état statique de la construction.

(A suivre).

Divers.

Tunnel du Simplon.

Etat des travaux au mois de juillet 1903.

Galerie d'avancement.		Côté Nord Brigue	Côté Sud Iselle	Total
1. Longueur à fin juin 1903	m.	9427	6766	16193
2. Progrès mensuel	»	218	176	394
3. Total à fin juillet 1903	»	9645	6942	16587
Ouvriers.				
Hors du Tunnel.				
4. Total des journées	n.	14411	15797	30208
5. Moyenne journalière	»	476	509	985
Dans le Tunnel.				
6. Total des journées	»	32874	29477	62351
7. Moyenne journalière	»	1154	1002	2156
8. Effectif maximal travaillant simultanément	»	462	401	863
Ensemble des chantiers.				
9. Total des journées	»	47285	45274	92559
10. Moyenne journalière	»	1630	1511	3141
Animaux de trait.				
11. Moyenne journalière	»	—	8	8

Renseignements divers.

Côté Nord. — La galerie d'avancement a traversé le schiste micacé, le calcaire blanc micacé et anhydrite et les schistes lustrés. — Le progrès moyen de la perforation mécanique a été de 7m,52 par jour de travail. La perforation mécanique a été suspendue pendant 38 h. 50 m. à cause des hautes eaux du Rhône

Accident: Dans la nuit du 3 au 4 juillet, le garçon Piersanti, Vincenzo, de Casalbano (province de Salerne) a été grièvement blessé par une locomotive à air comprimé dans l'évitement du tunnel.

Les eaux provenant du tunnel ont comporté 43 l.-s.

Côté Sud. — La galerie d'avancement a traversé le mica-schiste noir, le gneiss et le calcaire cristallin. — Le progrès moyen de la perforation mécanique a été de 5m,68 par jour de travail.

Les eaux provenant du tunnel ont comporté 1150 l.-s.

BIBLIOGRAPHIE

Traction électrique dans le tunnel de la Mersey.

Chemin de fer de Liverpool à Birkenhead.

Le *Génie civil,* dans son numéro du 16 mai 1903, donne une description détaillée des travaux et des installations auxquels a donné lieu la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur, sur le chemin de fer qui relie Liverpool à Birkenhead, villes situées sur les deux rives opposées de la Mersey.

La ligne passe sous le fleuve dans un tunnel à deux voies; pour assurer la ventilation et le drainage on a percé deux autres tunnels plus petits. Vers le milieu de leur longueur, les trois tunnels sont au même niveau, mais, en se rapprochant de leurs extrémités, le tunnel principal et celui de ventilation s'élèvent, tandis que le tunnel de drainage s'abaisse pour permettre l'évacuation de l'eau, extraite à ses deux têtes par des pompes.

La ligne comporte sept stations, dont deux, Hamilton Square et James Street, situées à 30 m. au-dessous du niveau des rues, de chaque côté de la rivière, sont constituées par un élargissement du tunnel.

La traction des trains par la vapeur s'est prolongée pendant dix-sept ans; avec l'augmentation du trafic, les précautions prises pour la ventilation devenaient insuffisantes et l'exploitation trop coûteuse; c'est pour y remédier que l'on a adopté la traction électrique.

La voie de roulement a été remplacée; elle est à écartement de 1m,44 avec rails à double champignon dissymétrique. La distribution du courant électrique aux voitures, sous forme de courant continu à 650 volts, est faite par deux rails distincts. Le rail positif est dans l'entrevoie et sa surface de roulement est à niveau sensiblement plus élevé que les rails de la voie. Le rail négatif est entre les rails de la voie, qu'il dépasse de peu en hauteur. Les isolateurs sont des blocs creux de porcelaine vitrifiée, sur lesquels repose le patin plat du rail par l'intermédiaire d'un chapeau en fonte permettant des déplacements longitudinaux. Ces isolateurs sont supportés tous les 1m,80 par les traverses de la voie. La continuité de la voie électrique est assurée par des joints flexibles type de Forest.

Les trains ordinaires comportent deux voitures motrices encadrant deux ou trois remorques. Le simple rapprochement des voitures suffit à effectuer automatiquement leur couplage. L'attelage comporte une barre d'attelage centrale et un tampon central. Le découplage se fait de la cabine du mécanicien à l'aide d'un levier. Les trucks des voitures motrices sont du système Baldwin et portent deux moteurs Westinghouse de 100 chevaux sous 600 volts; les quatre essieux de chaque voiture étant pourvus d'un moteur, la puissance de celle-ci est de 400 chevaux.

Le courant est recueilli sur les deux rails par des frotteurs en fer doux, qui ne comportent pas de ressort, mais dont le bon fonctionnement est assuré par le simple effet de la gravité.

Ce qui fait l'originalité de ce matériel roulant, c'est que les automotrices, au nombre de deux ou plus, sont commandées collectivement, d'après le système Westinghouse, par l'emploi de l'air comprimé et du courant électrique; l'air comprimé pour l'exécution des manœuvres d'appareils, le courant électrique pour la commande des organes délicats de distribution d'air comprimé.

Les organes électriques réglant la marche de chaque équipement sont analogues à ceux des équipements ordinaires, c'est-à-dire comportent en principe, comme appareil de marche proprement dit, un combinateur effectuant le couplage des moteurs