

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 27 (1901)  
**Heft:** 9

**Artikel:** L'intégraphe Abdank Abakanowicz  
**Autor:** Lossier, Henry  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-22129>

### **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:** 15.03.2025

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

bre 1852 et le 4 mars 1858, ont accusé, le premier 532 m<sup>3</sup> et le second 40 m<sup>3</sup>.

Un jaugeage opéré par M. Legler, le 18 juillet 1877 a accusé un débit de 641 m<sup>3</sup> et un jaugeage de MM. Guiguer, Amiguet et Grange, du 23 juillet 1883, un débit de 646 m<sup>3</sup> (voir F.-A. Forel, *Le Léman*, tome 1, page 432).

3° Enfin diverses évaluations, les unes purement théoriques, les autres basées sur des jaugeages, rappelées pour mémoire par M. F.-A. Forel (même ouvrage, même page):

*Vallée*, en 1859, estimait que le débit du Rhône à Genève variait entre 70 m<sup>3</sup> aux basses eaux et 575 m<sup>3</sup> aux hautes eaux.

*Lauterbourg*, en 1876, évaluait l'étiage absolu à 14,1 m<sup>3</sup>, les basses eaux moyennes à 82,5 m<sup>3</sup>, les eaux moyennes à 270 m<sup>3</sup>, les hautes eaux moyennes à 418 m<sup>3</sup> et le maximum extrême à 656 m<sup>3</sup>.

*L'ingénieur cantonal de Genève* évaluait les basses eaux à 80 m<sup>3</sup>, les eaux moyennes à 270 m<sup>3</sup> et les hautes eaux à 600 m<sup>3</sup>.

#### IV. Bassin hydrographique et module alimentaire.

En 1875, MM. Pestalozzi et Legler, dans leur mémoire précité (page 41) ont admis les chiffres suivants, sans d'ailleurs en garantir l'exactitude absolue:

Superficie du lac . . . . .	578 km <sup>2</sup>
Bassin du Rhône, en amont de son débouché au lac. . . . .	5383 km <sup>2</sup>
Bassin des affluents intermédiaires du lac . . . . .	2034 »
	7417 »
Superficie totale du bassin de réception. . . . .	7995 km <sup>2</sup>

La section hydrométrique de l'Inspectorat fédéral des Travaux publics, qui a entrepris de laborieuses études sur le régime des eaux en Suisse (1) a rectifié le 2<sup>me</sup> de ces chiffres et adopté, en dernier lieu, la valeur de 5220 kil<sup>2</sup> pour la superficie du bassin du Rhône en amont du lac, ce qui ramène à environ 7254 kil<sup>2</sup> la superficie versante de terre ferme et à 7832 kil<sup>2</sup> la superficie totale, lac compris, du bassin au-dessus de Genève. (2)

La portée moyenne de l'émissaire du lac, comparée à l'étendue totale du bassin de réception, correspond à un module alimentaire de 31 litres par kilomètre carré et par seconde.

Si l'on considère, d'autre part, la chute annuelle moyenne d'eau météorique tombée sur l'étendue du bassin — que M. Billwiller, le chef du bureau météorologique central suisse, évalue approximativement à 1<sup>m</sup>05 — on voit que cette chute représente un produit moyen de 33,3 litres par kilomètre carré et par seconde.

La déperdition apparente ne serait donc que de 7 %; or, l'évaporation absorbe évidemment un volume d'eau bien supérieur. L'apport d'eau supplémentaire est dû, comme on le sait, au produit de la condensation des vapeurs aqueuses de l'air sur les glaciers et les neiges. Les belles recherches de MM. Ch. Dufour et F.-A. Forel, à ce sujet, sont bien connues des naturalistes.

#### V. Comparaisons des deux groupes d'affluents.

Pendant sept mois de l'année moyenne (janvier, février, mars, avril, mai, novembre et décembre), l'apport de l'affluent principal du lac est inférieur aux apports réunis des affluents secondaires; et cependant le tribut annuel du Rhône est environ le double du tribut annuel des autres affluents. Cette particularité s'explique par les considérations exposées plus haut. Les chiffres

(1) Voir l'ouvrage intitulé: *Régime des Eaux en Suisse. Bassin du Rhône depuis ses sources jusqu'au lac Léman*, 1<sup>re</sup> et 2<sup>me</sup> parties, 1898. Surfaces des bassins de réception et Limnimétrie.

(2) A propos d'une publication récente intitulée: *L'adduction des Eaux françaises du Lac Léman à Paris et dans la banlieue*, par P. Dumillard et E. Badois (Paris, 1900), il n'est pas sans intérêt de rappeler ici que la superficie de terre ferme du territoire français déversant ses eaux au Léman, est de 980 km<sup>2</sup> environ: dont 41 km<sup>2</sup> tributaires du Rhône supérieur (Eau Noire et Eau de Bérard, affluents du Trient), 860 km<sup>2</sup> et 79 km<sup>2</sup> formant les versants lacustres de la Savoie et du Pays de Gex. Les auteurs de cet ouvrage exagèrent donc lorsqu'ils écrivent (page 66): « *La France possède le quart du sol versant ses eaux dans le Rhône au-dessus de Genève, plus une partie importante du lac* ». En réalité, l'étendue du bassin de terre ferme, de 7254 km<sup>2</sup>, se répartit entre les territoires suisse et français dans la proportion de 86,5 % et 13,5 %.

des colonnes 5 et 6 du tableau III font ressortir les traits caractéristiques des deux régimes.

\* \* \*

En résumé, les résultats acquis justifient les subventions allouées à l'entreprise genevoise de la correction du Rhône par les Etats de Vaud et du Valais et par la Confédération. L'œuvre de la régularisation a été, en outre, profitable à la France.

L'abaissement des hautes eaux répond aux besoins des rivières du versant suisse et de la côte de la Savoie.

Le relèvement des basses eaux a amélioré les conditions de navigabilité du lac.

L'augmentation considérable du débit de l'émissaire à l'époque des basses eaux a doté la ville de Genève d'une superbe force motrice et assuré à la batellerie du Rhône, en aval de Genève, un meilleur tirant d'eau.

Enfin, en cas d'inondations désastreuses à Lyon, dues à de grands écoulements accidentels de l'Arve et de la Saône, il serait possible, si le niveau du lac s'y prête, de retenir en amont, pendant quelques jours, une partie importante du produit des affluents supérieurs.

## L'Intégraphe Abdank Abakanowicz

par HENRY LOSSIER, INGÉNIEUR CIVIL

(Suite, voir N° 10 du 20 novembre 1900)

### Moments et centres de gravité

Soit à déterminer le moment statique de l'aire  $ABCm'$  par rapport à l'axe donné  $KK'$  (fig. 6).

Considérons un élément quelconque  $y dx$ , à la distance  $x$  de l'axe  $KK'$ . Le moment statique de cet élément par rapport à  $KK'$  sera égal à  $x y dx$  et le moment de la surface totale

$$M = \int_{x=0}^{x=AB} x y dx$$

Si l'équation de la courbe  $A m' C$  est donnée sous la forme  $y = f(x)$ , on trouve le moment cherché en effectuant l'intégration indiquée.

Appliquons l'intégraphe au même problème:

Traçons la courbe intégrale  $II'$  et désignons par  $y_1$  une ordonnée quelconque de cette courbe. Nous savons que l'ordonnée  $D I'$  représente l'aire de la courbe donnée, dont nous voulons déterminer le moment.

Nous avons donc

$$y_1 = \int y dx$$

d'où, en différenciant

$$d y_1 = y dx$$

Un élément du moment statique étant égal à  $x y dx$ , soit  $x d y_1$ , est représenté par l'élément horizontal indiqué sur la figure.

La somme de ces éléments horizontaux est égale à l'aire  $ID I'$  qui représente le moment statique de l'aire  $ABCm'$  par rapport à l'axe  $KK'$ .

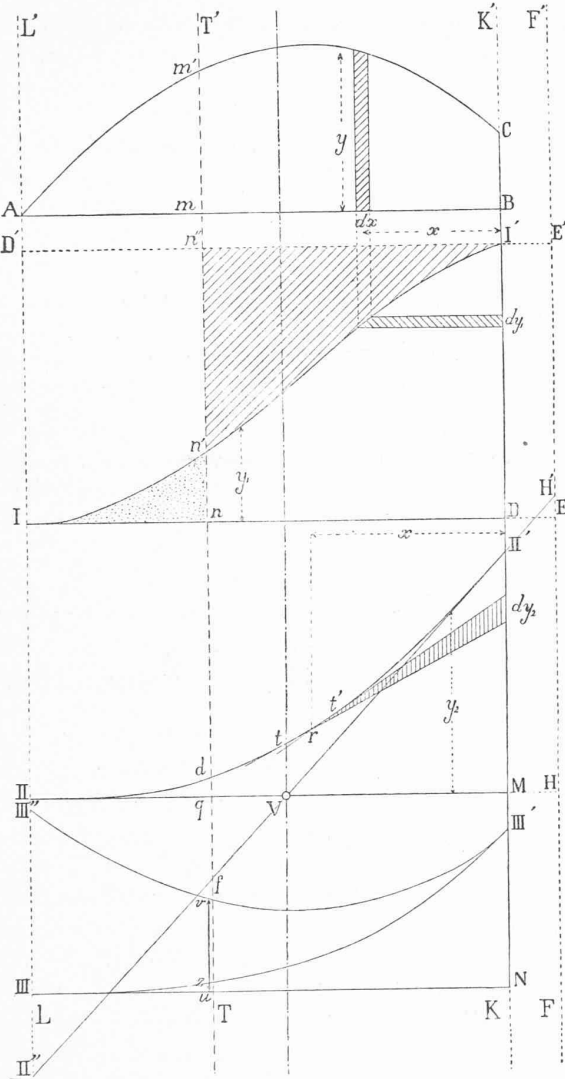


Fig. 6.

Si considérant  $In'I'$  comme courbe donnée, on trace une seconde courbe intégrale  $IIII'$ , l'ordonnée  $MII'$  représentera la surface de  $II'$ , c'est-à-dire le moment statique considéré.

Il est facile de voir que l'aire  $II'D'$  représente le moment statique de l'aire  $ABCm'$  par rapport à l'axe  $LL'$ .

Le moment par rapport à l'axe  $FF'$  sera représenté par l'aire  $IEE'I'$ .

Si l'axe des moments prend la position  $TT'$ , le moment statique est égal à la somme algébrique des deux surfaces.  $In'n'$  et  $n'I'n''$  dont l'une est positive et l'autre négative.

On voit que  $nn'' = DI'$  représente la surface donnée  $ABCm'$ , que  $nn'$  est égal à l'aire  $Amm'$  et  $n'n'' = nn'' - nn' = \text{aire } mBCm'$ .

(Nous mettons le signe = supposant que l'on multiplie les longueurs par l'unité).

Or, si l'axe  $TT'$  se déplace parallèlement à lui-même, chaque ordonnée  $nn'$  représentera la partie de l'aire située à gauche de  $TT'$  et  $n'n''$  la partie de droite.

Pour une position de  $TT'$  telle que  $nn' = n'n''$ , l'aire  $ABCm'$  sera partagée en deux parties égales (on voit qu'il est facile de diviser la surface donnée en deux parties dont le rapport peut être quelconque).

**Centre de gravité**

Comme on l'a vu précédemment, les surfaces  $In'n'$  et  $n'I'n''$  représentent les moments statiques par rapport à l'axe  $TT'$ . Si donc on détermine une position de  $TT'$  telle que  $In'n' = n'I'n''$ , le moment statique de l'aire  $ABCm'$  par rapport à  $TT'$  sera nul et l'axe passera par le centre de gravité de  $ABCm'$ .

Traçons, à partir de  $II'$ , la courbe intégrale de la droite  $I'D'$  (cette courbe intégrale n'est pas autre chose que la tangente à la courbe  $IIII'$  au point  $II'$ ). Le point d'intersection  $V$  de cette courbe avec l'axe des  $x$  est situé sur l'axe vertical passant par le centre de gravité de  $ABCm'$ .

En effet, nous avons pour cette position particulière de l'axe  $TT'$  :

$$\begin{aligned} \text{surface } IDI' &= \text{surf. } nDI'n'' \\ \text{surf. } In'n' + \text{surf. } nDI'n'' &= \text{surf. } nDI'n'' + \text{surf. } n'I'n'' \\ \text{d'où} \quad \text{surf. } In'n' &= \text{surf. } n'I'n'' \end{aligned}$$

**Moment d'inertie**

Le moment d'inertie d'un élément  $y dx$  de la surface donnée par rapport à l'axe  $KK'$  est égal à  $x^2 y dx$  et le même moment pour toute la surface donnée sera égal à

$$\int_{x=0}^{x=AB} x^2 y dx.$$

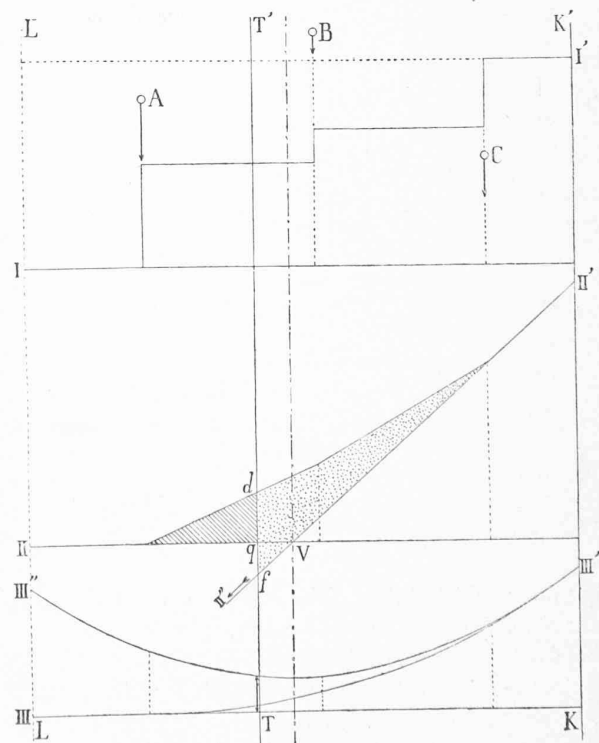


Fig. 7.

Considérons la courbe  $II'II'$  dont les ordonnées sont  $y_2$ . L'ordonnée  $MII'$  représente l'aire de la courbe  $I'I'$  et chaque élément  $dy_2$  un élément de cette aire, c'est-à-dire un élément du moment statique.

Pour transformer cet élément  $dy_2 = xy dx$  en un élément du moment d'inertie, il faut le multiplier par  $x$ . Il

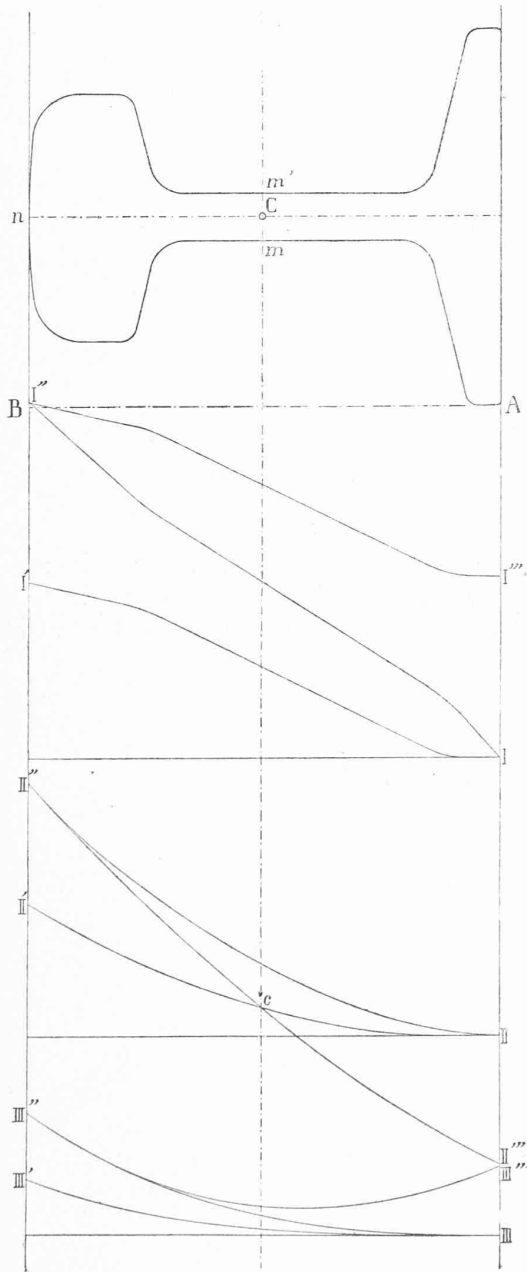


Fig. 8.

s'agit donc de déterminer l'abscisse qui correspond à l'élément  $dy_2$ . Menons par les extrémités de  $dy_2$ , deux tangentes à la courbe  $II'II'$  dont les points de contact sont  $t$  et  $t'$ . On obtient l'élément correspondant  $y dx$  en traçant les verticales par  $t$  et  $t'$ . Le point d'intersection  $r$  des tangentes est situé à la distance  $x$  de l'axe  $KK'$ . L'aire du triangle ayant comme base  $dy_2$  et dont le sommet se trouve

en  $r$  est égale à  $\frac{1}{2} dy_2 x$ , c'est-à-dire à la moitié du moment d'inertie de l'élément  $y dx$  par rapport à l'axe  $KK'$ . La surface  $II'II'$  représente la moitié du moment d'inertie de l'aire  $ABCm'$  par rapport à l'axe  $KK'$ .

On peut prouver d'une façon analogue que  $IIII'$  représentant l'aire  $I'I'D'$  est le moment statique par rapport à  $LL'$  et que l'aire  $IIII''II'$  représente la moitié du moment d'inertie de l'aire donnée par rapport au même axe.

Pour un axe quelconque  $TT'$ , le moment d'inertie sera égal à deux fois l'aire  $II dq$  + deux fois l'aire  $II' df$ .

Pour un axe  $FF'$  se trouvant en dehors de l'aire donnée, il est égal à deux fois l'aire  $IIHH'II'II$ .

En traçant la courbe intégrale  $IIIIII'$  de  $IIII'$ , on obtient le moment d'inertie sous forme d'une longueur.

Le moment d'inertie de l'aire  $ABCm'$  par rapport à un axe  $TT'$  est représenté par l'ordonnée  $uv$  dont les segments  $u\xi$  et  $\xi v$  représentent respectivement les aires  $II dq$  et  $II' df$ .

Quand, au lieu d'une surface continue, nous avons des points isolés (détermination de l'ellipse d'élasticité d'une poutre à treillis, etc.) l'ensemble des opérations ne change en rien. En effet, la première courbe intégrale  $I'I'$  (fig. 7) prendra la forme d'un polygone à côtés alternativement horizontaux et verticaux, la seconde  $II'II'$ , celle d'un polygone composé de droites inclinées et la troisième courbe intégrale  $IIIIII'$  se composera d'arcs paraboliques.

*Exemple.* — Soit à déterminer la surface et le moment de résistance du profil de rail représenté dans la fig. 8.

On peut considérer l'aire  $A m' n m A$  comme la somme algébrique de l'aire positive  $A m' n B$  et de l'aire négative  $A m n B$ . Traçons d'abord les courbes intégrales  $I'I'$  et  $I''I''$  relatives aux aires  $A m' n B$  et  $A m n B$ , à partir du point  $I'$ , traçons une seconde fois la courbe intégrale de l'aire négative  $A m n B$ : la différence de deux ordonnées correspondantes quelconques de cette courbe  $I''I''$  et de la courbe  $I'I'$  est constante et représente l'aire du profil donné.

Il va sans dire que les courbes  $I'I'$  et  $I''I''$  jouent ici le même rôle que les droites  $ID$  et  $I'D'$  dans la fig. 6.

Intégrant une seconde fois, nous obtenons les courbes  $IIII'$ ,  $IIII''$  et  $II''II''$ : le point d'intersection  $c$  des courbes  $IIII'$  et  $II''II''$  appartient à l'axe vertical passant par le centre de gravité du profil considéré.

Enfin une troisième intégration nous permet d'obtenir le moment d'inertie du profil par rapport à un axe vertical quelconque; le segment de cet axe compris entre les deux courbes  $IIIIII'$  et  $IIIIII''$  mesure la moitié du moment d'inertie.

La figure 8 représente à l'échelle  $\frac{1}{2}$ , la résolution du problème proposé; la base de l'appareil est égale à 10 centimètres pour les trois intégrations.

(Les dimensions indiquées se rapportent toutes à la planche originale).

L'aire du profil  $A m' n m A$  est égale à l'ordonnée  $I'I'$  multipliée par la base d'intégration.

Surface  $A m' n m A = 5,23 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 52,3 \text{ cm}^2$ .

Le moment d'inertie par rapport à l'axe vertical passant par le centre de gravité est égal au double du segment de

l'axe compris entre les courbes  $III III'$  et  $III'' III'''$  multiplié par le cube de la base.

*Moment d'inertie principal*

$$= 2 \times 0,68 \text{ cm} \times 1000 \text{ cm}^3 = 1360 \text{ cm}^4.$$

La distance de la fibre extrême à l'axe neutre étant égale à 7,00 cm, nous aurons :

$$\text{Moment de résistance} = \frac{1360 \text{ cm}^4}{7 \text{ cm}} = 194 \text{ cm}^3.$$

(Des Ingénieurs Taschenbuch « Hütte » donne les résultats suivants : *Surface* = 52,3 cm<sup>2</sup>, *Moment de résistance* = 193,1 cm<sup>3</sup>.)

Le profil donné étant symétrique par rapport à l'axe horizontal passant par C il va sans dire que nous aurions pu n'en considérer que la moitié.

(A suivre.)

## BIBLIOGRAPHIE

### La Tour de 300 mètres, par G. Eiffel

Après avoir dressé au Champ de Mars la gigantesque construction métallique qui porte son nom, l'ingénieur G. Eiffel a érigé un monument, plus durable peut-être que le premier en en écrivant la description.

La monographie de la tour de 300 mètres est, en effet, un modèle de ce genre de littérature, soit par la clarté du style et de l'exposé technique, soit par la perfection de l'impression et la belle ordonnance des planches. Elle forme deux volumes infolios de 380 pages de texte et de 61 planches gravées en taille douce ou en phototypie et sort des presses des imprimeurs Lemercier.

La construction de la tour Eiffel a exigé le concours de plusieurs techniciens de premier ordre, de sorte que la monographie qui lui est consacrée est instructive pour de nombreux spécialistes.

L'ingénieur s'intéressera aux calculs de l'ossature, à la description des travaux de fondation et de montage. Il trouvera de nombreux chapitres consacrés aux ascenseurs et à leurs moteurs ainsi qu'aux modifications que l'expérience a apportées à ces organes importants.

L'électricien lira les notices concernant les puissants moyens d'éclairage qui transforment la tour en un phare visible à 70 kilomètres de distance sur terre et à 150 kilomètres pour l'aéronaute.

Divers mémoires consignent un grand nombre d'observations météorologiques qui mettent en évidence des lois inconnues jusqu'ici dans la variation, l'intensité et la direction des vents.

Les variations de la température ont été observées d'une manière suivie ainsi que les phénomènes électriques.

La physique expérimentale est représentée par un compte rendu des opérations faites avec le gigantesque manomètre à mercure mesurant avec précision des pressions atteignant 400 atmosphères et par des expériences sur la résistance de l'air contrôlées directement par la chute des corps.

L'observatoire de la tour a servi aussi à des expériences sur la télégraphie sans fil et à des observations qui paraissent prouver l'absence d'oxygène dans le soleil.

Notons encore des expériences sur l'absorption atmosphérique des radiations visibles.

Citons enfin une étude du D' Hénocque sur les effets physiologiques de la montée à pied ou par ascenseurs au haut de la tour. Il conclut que ce dernier moyen combiné avec un séjour sur la plate-forme supérieure produit sur les anémiques, chlorotiques et dispéptiques un effet heureux, plus accentué encore

que celui constaté après l'ascension des funiculaires les plus élevés.

Un appendice donne divers renseignements sur les grands viaducs construits par la maison Eiffel.

Les indications que nous venons d'esquisser sont bien insuffisantes pour donner une idée complète de la haute valeur de l'ouvrage que nous avons sous les yeux, mais comme il est lui-même un résumé de travaux considérables, il serait impossible de le condenser dans le cadre d'un simple compte rendu.

Heureusement que M. G. Eiffel a eu l'aimable attention de donner à la bibliothèque de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes un des 500 exemplaires de cette belle monographie. La plupart des lecteurs du *Bulletin* seront ainsi en mesure d'en prendre connaissance.

Nous nous bornerons donc à consigner ici quelques remarques faites au cours de notre lecture :

1° En lisant le chapitre relatif au montage de la tour, lequel rappelle les plus palpitants récits de Jules Verne, avec l'attrait du réel en plus, nous remarquons qu'il a fallu des circonstances toutes spéciales pour assurer la réussite d'une aussi téméraire entreprise.

M. Eiffel avait, en effet, depuis nombre d'années, des collaborateurs admirablement préparés par des travaux analogues. Les ponts de la Sioule, du Douro, de Garabit, étaient d'utiles pré-ludes et avaient donné au personnel nombreux de la Société Eiffel la cohésion et la discipline nécessaires pour l'accomplissement de son tour de force.

Il serait illusoire, nous semble-t-il, de tenter une entreprise pareille avec un personnel improvisé, quelle que fut du reste la valeur de chacun de ses éléments.

Dans la liste que donne M. Eiffel de ses collaborateurs, nous comptons : 48 ingénieurs ou employés au bureau des études, 5 architectes, 103 employés aux ateliers et 121 aux chantiers, tous soigneusement choisis.

Grâce aux précautions prises et à la solide tête des ouvriers, le montage n'a fait qu'une victime et encore l'accident était dû à la témérité interdite et inutile d'un malheureux mousse.

2° Le montage complet a duré vingt et un mois et demi et a coûté fr. 121,90 par tonne de fer pour l'ossature seule, en y comprenant les appointements des chefs de services et les échafaudages.

Le coût des fers préparés à l'atelier et rendus à pied d'œuvre a été de fr. 400 la tonne.

Les pièces étaient percées et ajustées avec une extrême précision, de manière à réduire au minimum le travail du montage. Cette méthode a eu les meilleurs résultats, bien qu'il ne fut possible d'ajuster ensemble à l'atelier que deux ou trois pièces à la fois. L'assemblage des poutres maîtresses de la première plate-forme avec les quatre piliers de base était, on le conçoit, une opération chanceuse, mais elle a brillamment réussi, grâce à la précaution que l'on avait prise de faire reposer les 16 arbalétriers sur autant de verrins hydrauliques capables de soulever chacun 800 tonnes.

3° Ainsi que nous le verrons plus loin, les hypothèses faites sur la pression du vent ne se sont pas réalisées, de sorte qu'il n'est pas possible de déterminer le travail maximum auquel le métal de l'ossature a été soumis jusqu'ici. On peut dire seulement que la compression par millimètre carré est comprise entre 8,11 kg et 11,9 kg.

Dans les calculs on n'a pas tenu compte de la variation des efforts, bien qu'elle soit très importante. Or, l'application des formules imposées aux travaux de chemins de fer par le Département fédéral n'aurait autorisé que des efforts de 6 à 7 kg par millimètre carré pour des barres qui ont été calculées pour 11,45 kg.

Ceci nous montre que les ingénieurs de la tour n'accordent pas d'importance à la variation des efforts. Ils pensent sans doute, et ne sont pas les seuls, que les expériences faites à cet égard