Ces données seront acquises pour toujours à la science. Les différentes hypothèses, les théories édifiées sur elles pourront crouler un jour ou l'autre ; les Historiques n'en serviront pas moins de base à d'autres conceptions plus parfaites.

L'élaboration des Historiques est pour nous, ingénieurs, singulièrement facilitée par cette heureuse circonstance, que l'idée *se matérialise* en quelque sorte dans l'invention ; elle perd son caractère abstrait, propre de la pensée ; il est plus aisé de la suivre alors.

M. le Président félicite et remercie le camarade Gelblum d'avoir bien voulu faire à la Section une communication qui sort un peu du genre habituel des préoccupations des ingénieurs. La question traitée peut avoir une portée considérable. Elle préoccupe la jeunesse actuelle, car elle se trouve inscrite à l'ordre du jour de la séance académique organisée par l'Association des élèves des Ecoles Spéciales à l'occasion du XXV[e] anniversaire de cette Société. Il demande à la Section de se prononcer sur la question de savoir si, malgré tout l'intérêt qu'il présente, un tel sujet peut être publié dans nos annales.

M. d'Andrimont trouve qu'il serait très possible de donner une importance suffisante au compte-rendu de cette communication qui paraîtra dans le *Bulletin*, pour que l'on puisse se dispenser d'en voter l'insertion dans l'*Annuaire*.

M. S. Gelblum déclare qu'il ne tient pas spécialement à voir paraître son travail dans l'*Annuaire*. Il tient uniquement à répandre parmi tous les membres de l'Association l'idée qu'il a émise. Il désire ardemment surtout que l'exemple qu'il a donné de publier un historique de son travail soit suivi par de nombreux camarades.

M. le Président met aux voix la question de savoir si l'on peut voter l'insertion dans nos annales d'une communication traitant d'un sujet aussi spécial. — L'assemblée se prononce à l'unanimité moins une voix contre la publication dans notre *Annuaire*.

M. le Président demande en conséquence au camarade

Gelblum de rédiger une notice sur sa communication. Conformément à la proposition du camarade d'Andrimont, celle-ci sera reproduite dans le procès-verbal de la séance.

Il donne ensuite la parole au camarade **Hanocq** pour sa communication sur

Théorie de la résistance des pistons.

M. Hanocq, après avoir rappelé l'état de la question et montré son importance au point de vue pratique, passe à l'exposé de sa théorie.

Il considère un solide de révolution engendré par un rectangle $abcd$ (fig. 1) tournant autour de OO_1 et placé sur un appui circulaire permettant une libre déformation. Il suppose le solide chargé uniformément de p kil. par unité de surface, et il fait l'hypothèse, admise dans la théorie des pièces travaillant par flexion, que toute section primitivement plane et normale à la fibre moyenne, reste plane et normale à celle-ci après la déformation.

Il prend un secteur élémentaire d'angle au centre $d\omega$ et rapporte sa section médiane à deux axes rectangulaires ox et oy. Une section quelconque su est venue après l'application des charges en $s'u'$ (fig. 2); la section infiniment voisine tv est venue en $t'v'$; et la fibre d'épaisseur dz, à la distance z, a subi un allongement :

$$d\lambda = \frac{z'}{\rho}\, dx,$$

ρ représentant le rayon de courbure en g.

Cette fibre peut être considérée comme faisant partie d'un anneau de hauteur dz, d'épaisseur dx et de rayon r; par suite de cet allongement, il existe un accroissement dt de tension *annulaire* par unité de surface, quand on passe de la section $s'u'$ à la section $t'v'$, et en vertu de la relation fondamentale $t = \mathrm{E}i$:

$$dt = \mathrm{E}\,\frac{d\lambda}{r} = \mathrm{E}\,\frac{z}{\rho}\,\frac{dx}{x\cos\varphi + z\sin\varphi}.$$

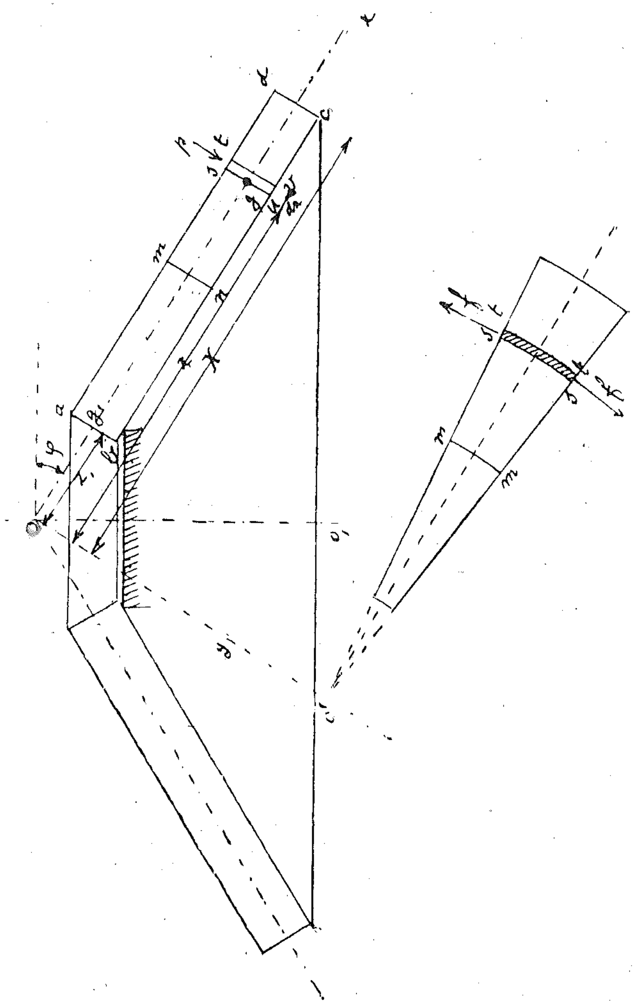

Fig. 1.

En intégrant entre x_1 et x et en ajoutant la tension initiale, résultant de ce que la section ab est venue en $a'b'$, on a :

$$t = \mathrm{E}\,z\,\frac{y'_1}{x_1 \cos\varphi + z \sin\varphi} + \int_{x_1}^{x} \mathrm{E}\,\frac{z}{\rho}\,\frac{dx}{x\cos\varphi + z\sin\varphi}$$

y'_1 représentant le coefficient angulaire de la tangente en g_1

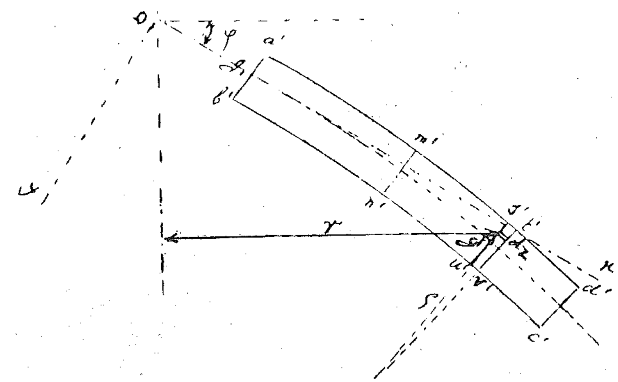

Fig. 2.

A cette tension annulaire t, fait équilibre une tension *radiale* t_1. Si on appelle dt_1 l'accroissement de tension radiale quand on passe de $s'u'$ en $t'v'$, on aura :

$$(x\,d\omega \times dz)\,dt_1 = 2\,f\,\frac{d\omega}{z} = t\,(dx\,dz)\,du.$$

D'où
$$dt_1 = t\,\frac{dx}{x} \qquad (1)$$

et
$$t_1 = \int_{\mathrm{X}}^{x} t\,\frac{dx}{x}.$$

Ces relations étant établies, il cherche l'expression du moment fléchissant dû aux forces extérieures dans une section mn quelconque à la distance x', en remarquant que les forces intérieures de *liaison* telles que t_1, agissent comme des forces extérieures.

Le moment dû à la force p uniformément répartie sur l'élément $x\,d\omega\,dz$ hachuré (fig. 1) est égal à :

$$dm_1 = p\,d\omega\,x\,(x - x')\,dx.$$

Le moment total correspondant est donc :

$$m_1 = \int_{\mathrm{X}}^{x} p\,d\omega\,x\,(x - x')\,dx.$$

Le moment élémentaire dm_2 résultant des tensions radiales appliquées à l'élément $s'u't'v'$ a pour valeur :

$$dm_2 = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} (x\,d\omega\,dz\,dt_1)\,z.$$

En remplaçant dt_1 par sa valeur, et en négligeant dans l'intégration $z \sin\varphi$ par rapport à $x\cos\varphi$, on trouve :

$$dm_2 = \frac{\mathrm{E}h^3}{12}\,d\omega \left[\frac{y'_1}{x_1} + \int_{x_1}^{x} \frac{1}{\rho}\,\frac{dx}{x}\right] \frac{dx}{\cos\rho}$$

et

$$m_2 = \frac{\mathrm{E}h^3}{12}\,d\omega \int_{\mathrm{X}}^{x'} \left[\frac{y'_1}{x_1} + \int_{x_1}^{x} \frac{1}{\rho}\,\frac{dx}{x}\right] \frac{dx}{\cos\varphi}.$$

Dans le cas étudié, il est encore un autre effet de la déformation; si on considère, en effet, le centre de gravité g de la section su situé à la distance $r = x\cos\varphi$ de l'axe OO_1 (fig. 1), on voit qu'il est venu en g', après la déformation (fig. 2) et qu'il se trouve à la distance $(x\cos\varphi - y\sin\varphi)$ de l'axe OO_1. Si on suppose la tension annulaire τ qui en résulte, comme uniforme sur toute la hauteur de l'élément $sutv$, on a :

$$\tau = \mathrm{E}i = \mathrm{E}\,\frac{y\sin\varphi}{x\cos\varphi}$$

et en appelant $d\tau_1$ l'accroissement de tension radiale par unité de surface,

$$d\tau_1 = \tau\,\frac{dx}{x\cos\varphi} = \mathrm{E}\,\frac{y\sin\varphi}{x^2\cos^2\varphi}\,dx$$

en vertu de la relation (1). La composante normale à l'axe des x intervient pour équilibrer le moment des forces extérieures et on a :

$$dm_3 = (h\,x\cos\varphi\,d\omega)\,d\tau_1 \sin\varphi\,(x - x').$$

D'où $$m_3 = \mathrm{E}\,h\,d\omega \int_{\mathrm{X}}^{x} \frac{y}{x}\,(x - x')\,\mathrm{tg}^2\varphi\,dx.$$

En représentant par M_f le moment fléchissant résultant dû aux forces extérieures p et aux forces de *liaison*, on aura :

$$\mathrm{M}_f = m_1 - m_2 - m_3.$$

Ce moment doit être égal dans chaque section au moment résistant M_r dû à la flexion ; or

$$\mathrm{M}_r = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \mathrm{E}\,\frac{z}{\rho}\,x'\,d\omega\,z\,dz = \frac{\mathrm{E}\,h^3}{12}\,d\omega\,\frac{x'}{\rho}.$$

Donc, $\frac{1}{\rho}$ étant remplacé par sa valeur approchée $\frac{d^2y}{dx^2}$,

$$x\,\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{1}{\cos\varphi}\int_{\mathrm{X}}^{x} dx \left[\frac{y'_1}{x_1} + \int_{x_1}^{x} \frac{d^2y}{dx^2}\,\frac{dx}{x}\right] - \frac{12\,\mathrm{tg}^2\varphi}{h^2}\int_{\mathrm{X}}^{x} \frac{y}{x}(x - x')\,dx$$
$$= -\frac{2\,p}{\mathrm{E}\,h^3}\int_{\mathrm{X}}^{x} x\,(x - x')\,dx.$$

C'est l'équation de la fibre moyenne déformée. Elle peut être résolue facilement dans le cas des pistons plans où $\varphi = 0$.

Pistons plans. — L'équation se simplifie si l'on fait $\varphi = 0$ et si l'on prend pour t, valeur de la tension annulaire, la valeur approchée :

$$t = \mathrm{E}\,z\,\frac{dy}{dx}\,\frac{1}{x}.$$

On a alors :

$$x\,\frac{d^2y}{dx^2} - \int_{\mathrm{X}}^{x} \frac{dy}{dx}\,\frac{dx}{x} = \frac{2\,p}{\mathrm{E}\,h\,3}\,(2\,\mathrm{X}^3 - 3\,\mathrm{X}^2\,x + x^3). \qquad \text{(I)}$$

On résoud cette équation en posant $\frac{dy}{dx} = v \qquad x = \mathrm{X}\,e^t$:

$$\frac{d^2v}{dt^2} - v = \frac{6\,p}{\mathrm{E}\,h^3}\,\mathrm{X}^3\,(e^{3t} - e^t)$$

et en appliquant la méthode des coefficients variables :

$$v = \frac{dy}{dx} = \frac{3\,p\,\mathrm{X}^3}{\mathrm{E}\,h^3}\left[c_1\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right) + c_2\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right)^{-1} + \frac{1}{4}\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right)^3 + \frac{1}{2}\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right) - \left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right) l\,\frac{x}{\mathrm{X}}\right]$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{3\,p\,\mathrm{X}^3}{\mathrm{E}\,h^3}\left[c_1\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right) - c_2\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right)^{-1} + \frac{3}{4}\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right)^3 - \frac{1}{2}\left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right) - \left(\frac{x}{\mathrm{X}}\right) l\,\frac{x}{\mathrm{X}}\right]\frac{1}{2}$$

De ces valeurs on passe directement aux expressions de la tension maximum T due à la flexion et de la tension annulaire maximum t, dans une section quelconque.

$$\mathrm{T} = \mathrm{E}\,\frac{h}{2}\,\frac{d^2y}{dx^2} \qquad\qquad t = \mathrm{E}\,\frac{h}{2}\,\frac{dy}{dx}\,\frac{1}{x}.$$

Les constantes, dans le cas d'un piston avec bride, se détermine en remarquant que l'équation

$$M_r = m_1 - m_2 - m_3$$

devient

$$M_r = m_1 - m_2 - m_3 - M. \qquad (I)'$$

M représentant le moment dû à la déformation de la bride et qui peut être évalué à

$$M = E\left(\frac{dy}{dx}\right)_R l \frac{r_1}{r_2} \frac{H^3}{3} d\omega$$

dans la cas du piston représenté fig. 3. On a ainsi d'après l'équation (I)'

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_R = M$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_r = y'_1$$

par hypothèse.

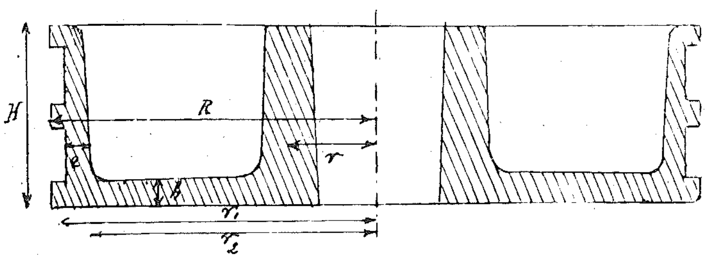

Fig. 3.

Remarque. — M. Hanocq fait remarquer ensuite que les calculs et la discussion des formules montrent nettement les proportions à donner aux différentes parties du piston. C'est ainsi que les calculs pour la détermination des constantes indiquent qu'il n'y a pas d'intérêt à augmenter considérablement les dimensions de la couronne et de la douille. D'autre part, les formules montrent que les pistons coniques sont plus résistants que les pistons plans, que les pistons à double toile sont moins résistants, à poids égal, que les pistons à simple toile. La variation de T et t pour les différentes sections fait ressortir la nécessité de donner aux disques une

épaisseur peu décroissante vers la couronne ; comme les valeurs maximum de T et t peuvent s'écrire :

$$T_{max} = p\left(\frac{R}{h}\right)^2 \times k \qquad t_{max} = p\left(\frac{r}{h}\right)^2 k_1,$$

où k et k_1 sont des constantes pour tous les pistons *géométriquement semblables*, il en résulte que pour une même pression, ceux-ci ont un même coefficient de sécurité, et que l'épaisseur du disque doit varier comme $\sqrt{p}$.

M. Hanocq fait encore ressortir comment les valeurs de T et t calculées expliquent les modes de rupture obtenus par M. Codron dans différentes expériences. Enfin, il fait remarquer, pour terminer, que les mêmes considérations appliquées au cas d'une plaque chargée uniformément et encastrée au pourtour, l'ont conduit à l'expression :

$$T_{max} = p\left(\frac{R}{h}\right)^2 6\left[-\frac{\sqrt{5}}{30} + \frac{1}{5}\right] = 0{,}755\, p\left(\frac{R}{h}\right)^2,$$

c'est-à-dire à

$$h = 0{,}868\, R\sqrt{\frac{p}{T}} = 0{,}87\, R\sqrt{\frac{p}{T}},$$

expression obtenue précédemment par M. Brune au moyen d'une méthode de calcul toute différente.

M. le Président croit être l'interprète de toute la Section en félicitant le camarade Hanocq d'avoir su avec tant de clarté exposer un sujet si difficile.

Il propose en conséquence de voter l'insertion de ce travail dans l'*Annuaire*. Il croit qu'il est impossible qu'une discussion immédiate puisse être fructueuse, eu égard à la difficulté de s'assimiler en quelques minutes un sujet aussi abstrait.

Il propose au camarade Hanocq de rédiger une note assez complète qui sera insérée dans le procès verbal. Celui-ci devant être distribué à tous les membres avant la prochaine séance, permettra d'aborder la discussion au cours de celle-ci.

M. Dechamps se joint au président pour féliciter notre camarade de son intelligente initiative et de la clarté de son exposé. Il propose à la Section de ne pas voter l'insertion de ce travail dans notre *Annuaire* afin de le réserver pour être communiqué au Congrès organisé par notre Association en juin prochain.

La question étudiée par M. Hanocq est précisément portée à l'ordre du jour du Congrès.

Celui-ci devant avoir des adhérents dans le monde entier, la communication de notre camarade recevra une publicité plus grande que dans nos annales.

M. Hanocq se déclare d'accord sur la proposition de M. Dechamps.

Il le remercie ainsi que M. le Président des paroles élogieuses qu'ils ont prononcées à son sujet.

La séance est levée.

Séance du 5 mars 1905.

Sont présents : MM. H. Hubert, président; H. Barlet, O. Bertholet, A. Breyre, L. Bronne, A. Brouhon, H. Brouhon, P. Brouhon, L. Calmeau, P. Centner, J. Collin, E. Courtmans, L. Creplet, R. d'Andrimont, H. Dechamps, J. Dechesne, H. Demonceau, E. de Rasse, E. Devaschez, J. Devillers, A. Duchesne, G. Duchesne, D. Flesch, F. Francken, G. Genis, E. Gérimont, L. Goffart, M. Guillemin, A. Greiner, A. Habets, P. Habets, J. Halkin, A. Hallet, E. Hallet, R. Henry, A. Hougardy, M. L. Gérard, A. Israël, E. Jeunehomme, R. Joiris, F. Lantremange, J. Lefèvre, L. Legrand, J. Lemaire, A. Leroy, A. Lhoest, P. Lhoest, G. Libert, O. Loiseau, J. Marissal, E. Mathy, E Molinghen, E. Nicolaï, L. Noirfalize, E. Nyst, F. Nyst, J. Op den Berg, A. Paquot, E. Piret, H. Pouleur, L. Prévot, C. Renson, L. Repriels, C. Rongy, A. Rouma, G. Ruth, H. Schiffers, M. Schindeler, H. Schneider, A. Simonis, L. Thiry, Ch. Thonet, P. Trasenster, P. Wigny, J. Wurth.

M. le Président donne la parole à **M. P. Centner**, pour sa communication sur une nouvelle perforatrice électrique.

M. P. Centner établit, par l'analyse, que deux circuits électriques orientés à 90° et parcourus respectivement par

des courants alternatifs déphasés donnent naissance à un champ magnétique alternatif résultant. Ce champ est susceptible de provoquer le déplacement alternatif d'un noyau en fer.

M. P. Centner expose l'application de ce principe à la construction d'une perforatrice qui sera soumise très prochainement à une série d'essais.

M. le Président félicite M. P. Centner de sa communication et donne la parole à **M. R. Henry** pour sa communication d'une étude de mise à terris.

M. R. Henry dit qu'il avait à étudier la formation d'un terris de 2.000.000 tonnes.

Les appareils mécaniques devaient être capables de transporter 100 tonnes par heure.

Il montre comment, étant donné l'angle de pente du plan incliné qui aboutit au sommet du terris, et le talus naturel du schiste, il est possible d'évaluer le volume du terris en fonction de la longueur du plan incliné, et par conséquent en fonction du nombre de tours qu'effectue par voyage le tambour du treuil de mise à terris.

M. R. Henry déduit des calculs que lorsque le plan incliné est établi sur le talus naturel, et que l'on s'impose la longueur du plan, le maximum de volume emmagasiné est obtenu pour une inclinaison de 35°, qui est précisément le talus naturel du schiste.

Dans son cas particulier, il a été amené à conduire les schistes au sommet du terris dans des wagons contenant 5 tonnes et circulant à la vitesse de 1 mètre par seconde sur un plan incliné à 25°.

Il ne pouvait être question d'utiliser de semblables wagons sans un parachute efficace. M. R. Henry décrit le système de grappins hydrauliques qu'il a imaginés et le moyen de calculer leurs dimensions. Ces appareils ont donné satisfaction.

M. le Président félicite le camarade Henry de sa très intéressante communication et le prie de bien vouloir la rédiger pour l'insérer dans notre *Annuaire*.

N° 3. 1905 3 Août

BULLETIN

DE

L'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS

SORTIS DE L'ÉCOLE DE LIÉGE

Directeur : M. René d'ANDRIMONT.

SOMMAIRE. — **Procès-verbaux des séances des Sections** : Liége, Charleroi, Bruxelles. — **Nécrologie** : Sir Isaac Lowthian Bell, Carl Lueg, Eugène Kelecom, Adolphe Hotton, Hyacinthe Bernimolin, Eugène Gilain. — **Faits divers.**

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES DES SECTIONS.

SECTION DE LIÉGE.

Séance du 5 février 1905.

Sont présents : MM. H. Hubert, président ; M. Bérard, O. Bertholet, M. Biquet, I. Boniver, V. Brien, P. Brouhon, L. Calmeau, J. Collard, A. Construm, R. Coulon, R. d'Andrimont, O. de Bast, H. Dechamps, L. L. de Koninck, L. Delruelle, M. Dewandre, A. Duchesne, G. Duchesne, H. Dumonceau, J. Faucan, E. Francken, F. Francken, S. Gelblum, E. Gérard, M. L. Gérard, M. Gérard, P. Gilbert, A. Gillet, F. Goebel, J. Gouttier, H. Gravis, M. Guillemin, A. Hacha, A. Hallet, Ch. Hanocq, A. Hougardy, J. Jeunehomme, L. Lachaussée, F. Lantremange, J. Lebacqz, L. Lemaire, E. Lemaître, E. Lemal, P. Lhoest, H. Moreau, L. Noirfalise, E. Nyst, J. Op den Berg, E. Orban, E. Piret, H. Pouleur, C. Renson, J. Robaux, G. Rongy, A. Rouma, G. Ruth, M. Schindeler, A. Simonis. F. Smal, L. Timmermans, M. Wurth.

M. R. d'Andrimont remplace le secrétaire absent.

Le procès-verbal de la séance du 8 janvier est lu et adopté.

BULLETIN

DE

L'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS

SORTIS DE L'ÉCOLE DE LIÉGE

Paraissant au moins 4 fois par an.

NOUVELLE SÉRIE

TOME XXIX

Directeur : M. R. d'ANDRIMONT.

COLLABORATEURS :

A ANVERS : **M. E. De Roubaix.**
M. H. Cruysmans.

A BRUXELLES : **M. Ch. Legrand.**
M. A. Halleux.

A CHARLEROI : **M. J Smeysters.**
M. E. Laduron.

A LIÉGE : **M. H. Hubert.**
M. H. Schiffers.

A MONS : **M. A. Demeure.**
M. M. Hallet.

LIÉGE

CHARLES DESOER, IMPRIMEUR

1905