

2^e section 5

VIII^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION
PARIS 1900

4^e QUESTION

NOTES ET EXPÉRIENCES

SUR LA

TRACTION ÉLECTRIQUE

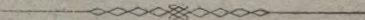
SUR LES VOIES NAVIGABLES

RAPPORT

PAR

LÉON GERARD

INGÉNIEUR-ÉLECTRICIEN A BRUXELLES



BRUXELLES

IMPRIMERIE VANBUGGENHOUDT

42, RUE D'ISABELLE, 42

1900



II - 354096

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000318928

B99-10-15/2017

NOTES ET EXPÉRIENCES

SUR LA

Traction électrique

SUR LES VOIES NAVIGABLES

PAR

LÉON GERARD

ingénieur-électricien à Bruxelles



Le 7^{me} Congrès de navigation, réuni à Bruxelles en 1898, a émis le vœu que les expériences en vue du développement des procédés mécaniques de traction des bateaux puissent se produire à une échelle suffisante, pour apprécier de l'efficacité pratique de ces méthodes.

Le gouvernement belge a, dans ce but, mis en adjudication le monopole de la traction électrique sur la partie à petite section du canal de Charleroi.

L'auteur de la présente notice a été chargé de diriger les travaux de la société qui a assumé cette entreprise.

Ayant, avant de déterminer les éléments mécaniques à employer, eu l'occasion d'étudier les divers procédés existants et les conditions pratiques du remorquage dans divers cas, il a réuni les renseignements ainsi recueillis par lui-même et il y a joint, dans la présente notice, les chiffres d'expériences sur les tracteurs électriques et les remorqueurs électriques qu'il a construits pour le canal de Charleroi et qui sont en service depuis la fin de l'année 1899.

Le but de ce travail est non pas de faire la description et le panégyrique d'un système propre à l'auteur.

Il n'a d'autre désir que d'apporter au Congrès les renseignements numériques qu'il a recueillis sur les divers systèmes entrés en pratique tels que le système Gaillot-Denèfle, pratiqué depuis

trois ans sur les canaux d'Aire et de la Deule, sur le système de traction sur berge, sur les remorqueurs électriques du canal de Charleroi, exécutés l'un et l'autre sur les plans de l'auteur.

Il a joint des données sur l'expérience temporaire faite à Finow-Kanal par le gouvernement russe sous la direction de MM. Köttgen et Zander, divers renseignements sur l'influence de l'état de la surface de roulement des berges au point de vue de la traction sur digue et enfin des données sur les efforts de traction du remorquage à vapeur dans les grands canaux.

Les divers tableaux qui suivent contiennent le résumé de ces recherches.

Il y a lieu de remarquer qu'ils sont tous établis autant que possible sur le même cadre. L'auteur n'a pas cru devoir suivre dans l'évaluation du rendement, la méthode de MM. Bourguin et La Rivière, exposée dans leur rapport au Congrès de Paris sur la même question.

Ces auteurs font intervenir dans l'évaluation du travail utile (T_u) non seulement l'effort utile exercé sur la remorque, mais encore l'effort nécessaire au roulement du tracteur lui-même.

Il paraît à l'auteur du présent rapport qu'il est plus exact de ne compter comme travail utile que le produit de la vitesse à la seconde par l'effort sur la remorque : le travail effectué par la dynamo pour la propulsion du tracteur étant une résistance passive.

La même méthode étant appliquée au tracteur à crémaillère de Köttgen et aux divers tracteurs et remorqueurs d'autres systèmes, la comparaison des rendements, réduits à une même méthode, sera facile au lecteur.

FEUILLE D'EXPÉRIENCE N° 1.

Essais de Finow Kanal

(Système Köttgen)

VOIE A CRÉMAILLIÈRE. — VÉHICULE DE 2,000 KILOG.

dont 1,600 kilog. sur l'axe moteur:

Décembre 1898.

Vitesse à l'heure	Vitesse à la "	Effort de traction	T u Kgm.	Am- pères	Volts	T m		Rende- ment $\frac{T u}{T m}$
						Watts	Kgm.	
PREMIÈRE SÉRIE. — <i>Halage sur résistances artificielles. 1 bateau de 100 T. 4^m60 × 39^m50 tirant 0^m80 + 3 résistances artificielles composées de panneaux ajoutés successivement.</i>								
2.5	0.694	280	194	15	510	7650	780	0.249
3	0.83	600	498	20	500	10000	1020	0.488
3.6	1.00	800	800	23	490	11270	1149	0.696
3.75	1.04	810	842	23.7	495	11732	1196	0.704
DEUXIÈME SÉRIE. — <i>Halage d'un bateau de 250 T. à diverses vitesses.</i>								
2.5	0.694	90	62.46	7.5	515	3863	394	0.158
3	0.83	200	166	9	512	4608	470	0.355
4	1.11	220	244	9.3	510	4743	484	0.541
4.3	1.16	290	336	11	505	5555	566	0.593
4.5	1.25	320	391	13	490	6370	649	0.617
* Lectures douteuses à cause de chocs.								
TROISIÈME SÉRIE. — <i>Travail sur point fixe.</i>								
"	"	700	"	20	540	10800	1101	"
"	"	800	"	23	540	12420	1266	"
"	"	900	"	25	535	13375	1364	"
"	"	1,200	"	28	530	14840	1514	"
QUATRIÈME SÉRIE. — <i>Travail marche à vide.</i>								
7.5	2.08	"	"	8	520	4160	424	" 5 ^{ch.} 76
Dimensions du bateau						} 4 ^m 60 de largeur. 1 ^m 50 d'enfoncement.		
Section du canal						} Plafond : 18 mètres. Mouillage : 1 ^m 80. Largeur : 25 mètres.		

FEUILLE D'EXPÉRIENCE N° 2.

Canal d'Aire et de la Deule

Essais du tricycle Denéfle (ancien modèle)

ROUES GARNIES DE CORDES

Poids du véhicule : 2,200 kilog. dont 1,800 kilog. sur l'axe moteur.

7 Novembre 1898

Vitesse à l'heure	Vitesse par seconde	Effort de traction	Notes	T u kgm	Ampè- res	Volts	Tm		Rende- ments $\frac{T u}{T m}$
							Watts	Kgm.	
PREMIÈRE SÉRIE (moyenne de 30 lectures en alignement). — 1 bateau remorqué 293 T.									
2k.8	0.800	325		260	10	615	6150	627	0.414
2k.6	0.722	375	Croisement	271	11	595	6545	668	0.405
<p>Note. — Le Voltmètre employé doit subir une correction de 15 V, d'après étalon Chauvin et Arnoux n° 25230. Les chiffres portés sont corrigés d'après cette mesure.</p>									
DEUXIÈME SÉRIE (moyenne de 10 lectures). — 2 bateaux remorqués 293 T + 290 T.									
1k.3	0.361	300	Alignem'	108	12	595	7140	728	0.148
TROISIÈME SÉRIE. — Travail sur point fixe.									
		820			25	565	14125		19 ^{ch.2}
QUATRIÈME SÉRIE. — Travail marche à vide.									
3k.74	1.04				5	600	3000	306	4 ^{ch.17}
Dimensions du bateau } 5 m. de largeur 1 ^m 80 d'enfoncement									

FEUILLE D'EXPÉRIENCE N° 3.

Canal d'Aire et de la Deule

Essais du tricycle Denéfle (nouveau modèle)

par M. LA RIVIÈRE, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées français.
(Extrait du *Rapport au Congrès de Navigation de Paris 1900*, de MM. LA RIVIÈRE et BOURGUIN).

ROUES EN TÔLE D'ACIER.

Poids du véhicule 2480 Kg. dont 1900 sur l'axe moteur.

Mai 1900.

Vitesse en Kilom. à l'heure	Vitesse par seconde	Effort de traction	Tu Kgm.	Am-pères	Volts	T m		$\frac{T u}{T m}$
						Watts	Kgm.	
PREMIÈRE SÉRIE. — <i>Un bateau remorqué 290 T.</i>								
2 ^k .644	0.74	280	207	10	460	4600	469	0.44
3 ^k .276	0.91	320	292	14	480	6720	685	0.426
DEUXIÈME SÉRIE. — <i>Deux bateaux remorqués 2 × 290 T.</i>								
2 ^k .232	0.62	300	186	10	420	4200	429	0.433
2 ^k .664	0.74	600	444	23	480	11040	1126	0.394
<p>Note. — Il résulte de ces chiffres que le rendement de la transmission à vis neuve (en admettant fr. 0.85 pour rendement de la dynamo) est de $\frac{0.44}{0.85} = 0,518$, soit en chiffres ronds : 52 p. c.</p> <p style="text-align: center;"><i>Travail sur un point fixe :</i></p> <p style="text-align: center;">Plus de 1000 Kg. sans indication du Wattage.</p>								

FEUILLE D'EXPÉRIENCE N° 4.

Canal de Charleroi (partie à petite section)

Essais du tracteur système Léon GERARD. — Traction sur berge.

Poids du tracteur 2,400 dont 1,600 kg. sur l'axe moteur.

Juillet 1900.

Vitesse à l'heure	Vitesse à la seconde	Effort de traction	T _u Kgm.	T _m en Watts	T _m en Kgm.	Rende- ment $\frac{T_u}{T_m}$	NOTES
PREMIÈRE SÉRIE (moyenne de 10 observations par série).							
<i>Remorque de un bateau de 68 à 70 T.</i>							
4 ^k .02	1.12	210	235	5400	550	0.427	{ Cumulées 2201 à 1190. Coefficient de la route 0.075. Mauvais pavage. { Cumulées 596 à 835, ma- cadam et pavé. Coefficient de roulement 0.050. { Cumulées 0 à 268. Coefficient de roulement de la route 0.038. Bon macadam.
4 ^k .07	1.13	220	248.6	5200	530	0.467	
4 ^k .07	1.13	210	237.3	4850	495	0.48	
DEUXIÈME SÉRIE. — <i>Remorque de 2 bateaux de 70 à 68 T.</i>							
3 ^k .5	0.97	320	310	6120	624	0.512	{ Cumulées 450 à 891. Coefficient de roulement 0.050. { Cumulées 0 à 310. Coefficient de roulement 0.038.
3 ^k .6	1.00	350	350	6425	655	0.534	
TROISIÈME SÉRIE. — <i>Travail sur point fixe.</i>							
		500		7010	715		
		700		9800	1000		
		800		10600	1080		
QUATRIÈME SÉRIE. — <i>Travail à vide.</i>							
4 ^k .4	1.22	"	"	4 100	420		Sur pavage 5 ^{chs} 5.
Dimensions des bateaux : largeur 2 ^m 60, tirant 1 ^m 80.							
Dimensions du canal : au plafond 7 m., mouillage théorique, 2 ^m 10.							
NOTE. — Le rendement de la chaîne après 6 mois d'usage égale $\frac{0.54}{0.80}$							
soit 67 1/2 p. c., le rendement de la dynamo, mesure étant de 80 p.c.							

Expériences sur l'influence de l'état des chemins de halage

SUR LA

TRACTION SUR BERGE A ADHÉRENCE SIMPLE

Poids remorqué	POIDS ADHÉRENT voies motrices	Effort moyen	Vitesse par seconde	Travail kgm.	Coefficient de roulement
<p>Tracteurs DENÉFLE sur route macadamisée, cylindrée et roulée à vapeur, construite par les Ponts et Chaussées français.</p> <p>Essai de MM. La Rivière et Bourguin (Rapport Congrès Paris 1900)</p>					
2480	1920	86.7	0.86	74.8	0.035
<p>Tracteurs Léon GERARD 1° Route macadamisée sur 1 mètre de largeur. Pavé couvert de gravier. — (Cumulées 0 à 141 Oisquereq Canal de Charleroi). — Tracteurs de 2,400 et de 1700 kg.</p>					
2400 remorq.	1600	88	1.43	126	0,0366
4100 2 trat.	1600	175	1.00	175	0.0426
6500 3 trat.	1600	250	1.00	250	0.0385
8900 4 trat.	1600	340	0.80	252	0,0352
MOYENNES		85.3	1.08	92	0,0382
<p>2° Une roue sur route empierrée, une roue sur pavage existant (cumulées 268 à 865, Oisquereq canal de Charleroi).</p>					
2400	1600	120	1.00	120	0,0500
<p>3° Une roue sur digue en terre, l'autre roue sur bande pavée. Etat existant du chemin de halage (cumulées 1152 à 2282) par temps sec, juin 1900, Virginal, canal de Charleroi).</p>					
2400	1600	180	1.00	180	0,0750
<p>4° Quatre roues sur pavage uni en briques de Boom.</p>					
2400	1600	25	1.00	180	0,0104
<p><i>Conclusion</i> : Le roulage sur les digues pavées existantes du canal de Charleroi absorbe 180 kgm., soit 2^{ch}.4. — Sur macadam, il absorbe 1^{ch}.22 par tracteur. La perte de rendement sur un tracteur de 6 chevaux effectifs est de 20 p. c. L'excès de travail moteur dû au pavage est de $\frac{1.18}{0.45} = 2^{ch} 62$, soit sur 7 1/2 chevaux-moteurs près de 35 p. c.</p>					

FEUILLE D'EXPÉRIENCE N° 6.

Canal de Charleroi (partie à petite section)

Remorquage électrique

Système Léon GERARD

Juillet 1900.

Vitesse à l'heure	Vitesse à la seconde	Effort de traction	T u Kgm.	T m Watts	T m Kgm.	Rende- ment T u/Tm	NOTES
PREMIÈRE SÉRIE (moyenne de 10 observations). — <i>Remorque un bateau chargé de 68 à 70 tonnes.</i>							
3k.	0.833	120	100	4500	459	0,218	Hélice à 300 tours.
3k.24	0.927	130	121	5400	550	0,22	Hélice à 350 tours.
DEUXIÈME SÉRIE (moyenne de 5 observations). — <i>Remorque de 2 bateaux chargés de 68 à 70 tonnes.</i>							
3k.2	0.89	215	191	5800	592	0,322	Hélice à 375 tours.
TROISIÈME SÉRIE. — <i>Remorque de 2 bateaux vides.</i>							
5k.	1.41	100	141	4800	490	0,287	Hélice à 350 tours.
QUATRIÈME SÉRIE. — <i>Parcours à vide.</i>							
6k.350	1.76	"	"	3800	388	"	5 ^{ch.} 1 Hélice à 300 tours.
8k.2	2.27	"	"	4700	480	"	5 ^{ch.} 4 Hélice à 350 tours.
Dimensions principales du remorqueur :							
Longueur entre perpendiculaires : 9 m. — Largeur : 2 m.							
Tirant d'eau de la coque : 0 ^m 50. — Tirant d'eau à l'hélice : 0 ^m 65.							
Moteur Triphasé Brown-Boveri de 5 chevaux à 600 tours, engrenages en cuir.							

Expériences relatives à l'effort de remorquage à vapeur

Vitesse à l'heure	Vitesse à la "	Effort de traction	T u Kgm	T m Chevaux	T m Kgm	$\frac{T u}{T m}$	Notes
<i>Remorque sur le canal de Bruxelles au Rupel</i>							
Remorqueur EBENHAEZER construction hollandaise							
8 bateaux formant au total 805 dont un de 300 tonnes							
5.400	1.50	783	1175	53 ^{chx}	3975	0.294	Consommation 110 kg à l'heure
sur point fixe 1250 à 1350 Kg. avec 152 à 154 tours d'hélice et 9 3/4 atm.							
<i>Remorque sur le Merwede Kanal (Hollande)</i>							
1° pour une allège de 1660 tonnes (2.40 × 80.00 × 10.50)							
Expérience de M. l'ingénieur en chef du Waterstaat Beyerman							
5.750	1.60	2560	4096				
2° pour un train de 8 bateaux formant au total 1058 tonnes							
dont 1 bateau de 767 tonnes							
Expériences de MM. Beyerman et Léon Gerard							
3 ^k .400	0.94	740	696	SECTION DU MERWEDE KANAL			
3.600	1.00	750	750	Plafond 20 m ^{ts}			
3.750	1.04	770	800	Larg. au plan d'eau 33 m ^{ts}			
				Mouillage 3 m. 25			
4 ^k .500	1.25	1760	2200	Des données précises sur le travail			
5.	1.39	1800	2502	moteur manquent.			
6.	1.66	1840	3054	La force employée paraît être pour les			
				3 premières observations de 36 chevaux			
				et pour les 3 suivantes de 120 chevaux.			
				Le rendement approximatif est donc			
				de 27 % environ pour les deux séries			
				d'essais.			

Discussion des expériences

Choix d'un système

Les chiffres d'expériences renseignés aux tableaux ci-contre peuvent utilement servir à appuyer les conclusions suivantes que je compte soumettre à l'appréciation du congrès.

Je ne partage pas l'opinion très absolue de M. Köttgen, de la maison Siemens et Halske, préconisant en tous cas l'emploi du rail unique avec ou sans crémaillère.

Je pense, au contraire, que dans l'état actuel de la question, un choix judicieux doit être fait entre la traction sur berge à adhérence simple, la traction sur crémaillère et rail et le remorquage électrique.

Les qualités de pratique, les avantages respectifs sont d'abord à étudier et la question du rendement des trois systèmes doit ensuite être examinée. Encore que ce côté de la question soit fort important au point de vue des frais d'exploitation et au point de vue des frais d'établissement, il n'est pas unique et il y a lieu de s'enquérir aussi des frais d'entretien du matériel et de la voie.

Remorquage électrique

A ce point de vue, la traction sur berge présente une infériorité marquée sur le remorquage, qui donne lieu au minimum de frais d'entretien du matériel et réduit à zéro l'entretien des chemins de halage. Une coque solide bien aménagée contenant pour tout mécanisme une dynamo robuste attaquant directement l'hélice (dans les modèles de plus de 10 tonnes) présente le minimum de chances d'usure.

La forme des lignes de coupe d'un bateau électrique alimenté par trolley est très élancée, très affinée, de telle sorte que les effets

de remous, grâce à une forme et à une position appropriées de l'hélice sont très atténués.

Le sillage des remorqueurs du canal de Charleroi a une vitesse de 4 kilomètres à l'heure, est presque nul ainsi que l'on peut le constater par les photographies mises sous les yeux des membres du congrès.

La dégradation des berges n'est pas à craindre dans ce cas. Si la vitesse normale dans les grands canaux modernes, soit 6 kilomètres à 8 kilomètres, doit être atteinte, quel que soit le mode de halage, cet entretien sera à faire, non du fait de la circulation du remorqueur mais du fait du passage des bateaux remorqués à formes généralement brutes et le batillage ne sera en rien augmenté du chef de l'hélice, pourvu que celle-ci travaille à une profondeur d'immersion convenable. Les canaux maritimes du genre du Merwede kanal, en Hollande, ont, en général, des berges défendues contre ces effets. Le remorquage électrique sur de tels canaux se présente indubitablement comme un système préférable au halage électrique sur berge, parce qu'il n'entraîne aucune modification d'habitude dans le trafic ni de modification sérieuse dans les travaux d'art, les quais et couvertures de chemins.

Si l'on n'envisageait que la question de combustible à consommer, le rendement serait seul en cause.

Admettons que le remorqueur à vapeur donne 0.30 d'effet utile (feuille d'expérience n° 7), le remorqueur électrique 0.32 (feuille d'expérience n° 6), le halage Gerard ou Gaillot 0.45 (feuilles nos 2, 3 et 4), et le halage à crémaillère en moyenne 0.65 (feuille n° 1).

Je remarque d'abord qu'en admettant 0.32 pour le rendement du remorqueur électrique, je fais une hypothèse très défavorable. L'expérience renseignée porte sur un petit appareil de 9 mètres de longueur, actionné par une dynamo de cinq chevaux, travaillant au-dessus de sa force dans un canal étroit (7 mètres de plafond).

Quoi qu'il en soit, il résulte de ces chiffres que la force dépensée sera pour le remorqueur à vapeur 3 ch. 3 par cheval utile.

remorqueur électrique	3 ch. 1	»
tracteur Denèfle ou Gerard	2 ch. 2	»
tracteur Köttgen	1 ch. 54	»

En admettant que la consommation industrielle soit de 2 kilog. par cheval et par heure de charbon brut pour les remorqueurs ordinaires à vapeur et que dans les machines fixes on adopte des types consommant 1 kil. 25 (cendres et eau comprises) par cheval distribué à la ligne, les consommations respectives seront :

Par cheval utile à la remorque. Vapeur	kil.	6.6
Remorqueur électrique		3.37
Tracteur sur berge		2.75
" sur crémaillère		1.92

L'économie annuelle du remorqueur électrique sur le remorqueur à vapeur sera, pour 100 chevaux employés 20 heures par jour et 300 jours ouvrables, le charbon se payant 15 fr. la tonne :

$$(6.6 - 3.37) \times 20 \times 300 \times \frac{15}{1,000} = 29,070 \text{ francs.}$$

L'économie annuelle du tracteur à crémaillère sur le remorqueur électrique, dans les mêmes conditions, sera de :

$$(3.37 - 1.92) \times 20 \times 300 \times \frac{15}{1,000} = 13,050 \text{ francs.}$$

La question du choix du système se réduira donc, dans le cas présent, à savoir si les frais d'entretien de la voie et du matériel dépasseront ou atteindront la différence de 13,050 francs par 100 chevaux et par an.

Je pense que oui, parce que à la vitesse de 6 kilomètres avec des engins de 100 chevaux (voir feuille d'expériences relatives au remorquage sur les grands canaux, n° 7) l'espacement des remorqueurs ou tracteurs sera de 10 à 12 kilomètres, ce qui permettrait par journée utile de 20 heures la formation de 10 trains remorqués d'environ 1500 T., soit un mouvement annuel possible de 4 millions 500000 T. Il suit de ces données que les 100 chevaux étudiés desserviront 12 kilomètres environ.

La question est de savoir si l'entretien de la voie, de la surface de roulement et du matériel seront par kilomètre et par an de plus ou moins $\frac{13,050}{12} = 1,088$ francs par kilomètre.

Avec un mouvement de moitié moins intense ou une meilleure utilisation du matériel, la force indiquée desservirait 24 kilomètres et l'économie sur le combustible ne serait que de $\frac{13,050}{24} = 544$ francs par kilomètre.

Il me paraît fort probable qu'à moins de rencontrer des digues exceptionnellement solides, parfaitement entretenues et sur lesquelles le rail unique et la crémaillère trouveraient une assiette solide, l'économie de 544 à 1,088 francs par kilomètre sur le combustible serait dans bien des cas absorbée par les frais d'entretien de la voie et du matériel roulant.

Donc, sans vouloir généraliser de manière absolue, il me paraît que dans le cas de digues résistantes les deux systèmes de traction

sont comparables au point de vue économique, l'avantage léger restant au système à crémaillère Köttgen pour le cas d'une voie unique en raison de moindres frais d'installation de la station génératrice, l'avantage revenant au contraire en raison des frais d'entretien, au remorquage, si on le compare à l'établissement du système Köttgen à double voie.

Tracteurs à crémaillère

Le lecteur remarquera sans doute que nous parlons du tracteur à crémaillère de Köttgen tel que nous l'avons expérimenté à Finow-Kanal et non du tracteur à adhérence simple sur le rail lisse tel que le décrit actuellement le directeur de la maison Siemens dans son rapport au Congrès de 1900.

C'est qu'en effet il ne nous paraît pas conseillable de mettre en œuvre sur la plupart des digues existantes des appareils du poids de ceux auxquels l'adoption du système Köttgen à rail lisse conduirait.

Les coefficients d'adhérence familiers à tous ceux qui se sont occupés de traction électrique, sont pour le rail sec 0.30, pour le rail humide 0.14, il tombe pour le rail boueux à 0.10.

Les efforts de traction à prévoir dans de grands canaux atteignent 1800 kilogr. en cours normal de route et 2000 kilogr. au démarrage du premier bateau.

Il y a donc lieu de prévoir que ces appareils remorqueurs devraient atteindre de 18 à 20 tonnes de poids adhérent sur le rail plus une charge de 4 tonnes de poids non adhérent.

Combien de digues de halage spécialement dans les pays du Nord où les terrains à consistance faible, de nature tourbeuse se rencontrent fréquemment, pourraient résister à ces charges? Cette raison m'a porté à ne faire entrer en comparaison que le tracteur léger à crémaillère tel que le premier type construit au canal de Finow et dont le poids pour une puissance de traction de 800 kilogr. était sur le rail crémaillère, de 1600 + 400 kilogr. sur le rail lisse. Ces essais permettent de concevoir la construction de tracteurs de 5 tonnes environ sur crémaillère et 1200 kilogr. de poids non adhérent, pour des puissances de 100 chevaux. Mais même en admettant que ces appareils soient réduits à ce poids, il y a lieu de remarquer que la plupart des digues de la Hollande, du Nord de l'Allemagne et du Nord-Ouest de la Belgique sont constituées par des formations quaternaires ou modernes à consistance tourbeuse, hors d'état de supporter des charges roulantes de poids aussi élevés.

Le principal avantage de l'établissement de la traction mécanique, à part le bon marché et l'organisation méthodique du trafic, étant surtout l'adoption de la vitesse maxima possible pour une section donnée de canal, l'accroissement de l'effort de traction qui en résulte détermine le poids de l'appareil de traction. Ce poids est incompatible avec la nature des digues précisément dans les canaux où l'accroissement de vitesse serait le plus utile.

L'avantage reste incontestablement dans de tels canaux au remorquage électrique qui a sur le remorquage à vapeur le bénéfice de 43 % environ de consommation de combustible.

L'avantage reste encore au remorquage électrique lorsque les digues sont occupées par des quais de chargement ou bien dans les traversées urbaines où un fort trafic commercial et le mouvement du public rendent difficile la circulation des engins sur rives.

Les rampes de traction établies à Finow-Kanal par la maison Siemens, ou les ingénieuses rampes réalisées au canal de la Deule pour passer au-dessus des quais encombrés, sont des solutions élégantes mais très coûteuses du problème.

Si les données relatives à la consistance du sol ne doivent pas, en certains cas déterminés, être prises en considération, si la résistance du sol est suffisante et, toutes réserves faites quant aux usages locaux et à l'habitude des mariniers qui préfèrent toujours le remorquage par bateau au procédé plus brutal du halage mécanique, le système à crémaillère l'emporte sous le rapport du rendement sur tous les autres systèmes quand il s'agit de développer des efforts de traction supérieurs à 500 kilogrammes, à des vitesses voisines ou supérieures à 4 kilomètres; c'est-à-dire sur les canaux permettant la circulation de bateaux de 800 T. à vitesse de 5 à 6 kilomètres, tels que les nouveaux canaux allemands.

La feuille d'expérience n° 1, lignes 3, 4 et 8 et 9, accusent dans ce cas pour cet appareil des rendements variant de 59 à 70 p. c.

Mais en revanche, l'examen des feuilles n° 1, lignes 1 et 2, 5 et 6, montre que dans le cas d'efforts moyens de 200 à 300 kilogr. avec des vitesses de 2 k. 5 à 3 k., le rendement des appareils Köttgen oscille entre 0.16 et 0.50.

Tracteurs à adhérence sans rails

L'avantage revient avec évidence aux appareils Gaillot ou Gerard, dont les rendements moyens à des vitesses appropriées varient pour les premiers entre 0.42 et 0.43 et pour les seconds

entre 0.48 et 0.53 sur bon terrain pour des efforts variant de 200 à 400 kilogr. à la vitesse de 2 1/2 kilomètres à 4 kilomètres.

Le système de traction sur berge a, dans ce cas, l'avantage de n'exiger la pose d'aucun rail, de laisser la circulation ordinaire intacte sur les berges, de coûter notablement moins de frais de premier établissement, d'avoir un rendement acceptable.

Ce cas correspond à l'exploitation de la plupart des canaux existant en Allemagne, en France et en Belgique, c'est-à-dire aux canaux permettant le passage de péniches de 300 tonnes environ avec un mouillage de 2^m50 avec des vitesses de 2 à 4 kilomètres.

Il y a lieu aussi d'attirer l'attention sur ce point que l'expérience de trois années sur les canaux français et celle de près d'une année sur le canal de Charleroi prouvent le caractère pratique du système, tandis que les expériences de Finow-Kanal ont un caractère plus théorique et que notamment il faudra déterminer par la pratique si les différences de niveau entre le boudin du rail porteur du système Köttgen et le niveau du sol sur lequel portent les roues libres, peut amener le déraillement ou le forçement du système, dans l'exploitation courante. Ce point ne constitue certes pas un obstacle insurmontable, mais il devra rendre très circonspects ceux qui auront à choisir le type définitif du rail à adopter et la nature et le profil de la route. C'est une inconnue dans le système proposé.

Il me semble donc, en résumé, que plus qu'en tout autre matière, la question de la traction électrique n'admet pas de solution absolue et invariable. Un éclectisme, bien entendu, doit être ici appliqué et il y a lieu de constater que, dans l'état actuel de la question le problème de la traction mécanique sur un canal donné sera résolu avantageusement suivant la section de la voie navigable et son trafic par l'emploi de l'un des trois procédés décrits employé et choisi judicieusement.

Influence de la section du canal

Une telle solution n'est possible que si certaines conditions essentielles, ressortissant non pas des connaissances de l'ingénieur-électricien ou mécanicien, mais bien de la compétence de l'ingénieur hydraulicien, sont convenablement remplies.

Le premier de tous les facteurs à considérer, celui de la résistance à la traction de diverses coupes de bateaux en fonction de la vitesse et du profil du canal a été étudié dans le magistral mémoire présenté à l'Académie des Sciences de Paris, au fur et à mesure du développement de ses expériences, par M. l'inspecteur général des

Ponts et Chaussées français DE MAS. Vérifiées récemment par M. l'ingénieur ROTA (1) ces données qui sont devenues en quelque sorte classiques, peuvent se résumer par ce fait que, si la traction d'un bateau de 300 T. demande un travail utile de 7 chevaux à la vitesse de 0^m83 (3 k.) dans un canal à section normale du type français (mouillage 2 m.), ce travail se trouve réduit de 50 p. c. lorsque le mouillage est porté à 2^m50 avec 10 m. de largeur au plafond.

Ces données sont particulièrement vérifiables sur le canal de Charleroi où la section des bateaux étant de 2^m60 × 1^m80, les pertuis des écluses sont de 2^m70 × 2^m15 et celles des ponts 2.88 à 3.00 × 2.15, dimensions théoriques réduites souvent dans la pratique à 2^m73 × 2^m00. Il résulte de ces dispositions que l'effort normal de 200 kilogr. pour la traction à 4 k. de vitesse atteint de 400 à 500 kilogr. à une vitesse de 1 k. à l'heure au passage de ces ouvrages. Les conséquences de cet état de choses sont notables, au point de vue de l'effet utile de la traction mécanique : la vitesse à l'approche de tels ouvrages devant être ramené à moins de 1 k. 8, l'effet utile de traction tombant à 0.20 et les efforts de démarrage devenant, après arrêt dans ces pertuis, des plus considérables.

Ces considérations sont d'autant plus graves que les ondes de retour ou les courants déterminés par l'ouverture ou la fermeture des vannes d'écluses forment souvent au droit de ces ouvrages rudimentaires des relèvements momentanés du plan d'eau.

Influence du courant

En thèse générale, le déplacement des eaux en section normale du canal le plus étudié par l'auteur, a une influence très faible sur l'effort de traction. Cet effet est d'autant plus difficile à observer que des ondes remontantes se produisent fréquemment avec une vitesse de déplacement supérieure parfois à celle du courant d'écoulement normal du canal. Ce phénomène d'inertie a été étudié pour la première fois, pensons-nous, par M. l'inspecteur général de Mas.

Si le courant normal d'écoulement n'a pas d'effet appréciable il n'en est pas de même des pertes d'eau accidentelles résultant du mauvais état de vannes d'écluses.

L'effort maximum à la remonte pour extraire un bateau de 70 T. d'un sas d'écluse de 2^m70 d'ouverture, le bateau ayant 2^m60, est de 450 kilogr. .

(1) Voir *Rapport du Congrès de navigation de Paris 1900.*

Par suite d'une perte d'eau survenue en novembre 1899, à la porte d'aval de l'écluse 46 du canal de Charleroi, perte atteignant 18^{m^3} par minute, soit 300 litres à la seconde, j'ai observé des efforts de traction atteignant 1200 kilogr., efforts qui étaient produits à l'aide du treuil électrique dont nos tracteurs sont munis, l'appareil étant calé sur le sol. L'existence de courants semblables est absolument incompatible avec une exploitation mécanique normale.

Influence de l'état des chemins de halage.

La feuille d'expérience n° 5 reproduit une partie de mes recherches sur l'influence de l'état des chemins de halage sur le travail moteur.

Un excellent élément de comparaison m'a été fourni par les mensurations de MM. Bourguin et La Rivière sur le coefficient de roulement des nouveaux tracteurs Denèfle sur les *routes françaises* : Pour un poids remorqué de 2480 kilogr., le travail en kilogrammètres est d'environ 75 kilogrammètres à la vitesse de 3 k. Tous les velocipédistes et les automobilistes apprécient les soins extrêmes apportés à la confection et au roulage des routes françaises et allemandes, aussi le chiffre 0.035 pour coefficient de roulement des tracteurs Denèfle à paliers lisses en bronze peut il être regardé comme normal en France.

Il était intéressant de rapprocher ce chiffre de ceux que j'avais obtenu sur diverses surfaces de roulement de routes en Belgique.

Le chemin de halage du canal de Charleroi se compose d'une bande de terre de $0^{\text{m}}40$ à $0^{\text{m}}50$ de largeur à partir de la crête intérieure, d'une bande pavée de $0^{\text{m}}90$ à $0^{\text{m}}80$ et d'un chemin de terre garni plus ou moins de cendrées.

Le pavage encadré de grandes bordures brutes est de nature très variable, tantôt il est composé de recoupins de quartzites de Fosses, ou de déchets de Quenast d'environ 9 centimètres de côté, tantôt de pavés, d'appareillage irrégulier allant jusque 20×20 .

Le chemin de terre est parfois rechargé par les produits d'anciens dragages. Une roue du tracteur porte sur le pavage l'autre sur la terre.

Sur les plus mauvaises parties de ce chemin et dans un trajet limité, nous avons, à titre d'expérience, établi à côté du pavage un encoffrement solide sur $0^{\text{m}}25$ d'épaisseur revêtu de fine pierraille tassée et roulée. Sur le pavage préalablement remis à niveau, du

gravier dur a été semé pour serrer les joints. La surface de roulement ainsi constituée est devenue relativement bonne (voir feuille 5, 1^o). Le coefficient de roulement γ est de 0,0382, le travail moyen absorbé étant de 92 kilogrammètres à la vitesse de 1.00.

L'élévation du travail est dû aux chocs provoqués par le pavage, car le même appareil dont les roulements sont faits sur paliers à rouleaux d'acier baignant dans l'huile n'exige que 25 kilogrammètres à la vitesse de 1 mètre sur une surface unie (4^o du tableau).

M. l'ingénieur Chenu, des Ponts et Chaussées belges, s'étant opposé au rechargement du pavage à l'aide de gravier de Quenast, le pavé est resté dans son état primitif sur une région beaucoup plus étendue du chemin du halage qui comprend le pavage ci-dessus décrit bordé d'un chemin empierré de ballast de grosseur moyenne de porphyre de Quenast. Cet empièrrement a formé une couche unie et imperméable assez unie pour permettre un trafic régulier.

Le coefficient de roulement γ est de 0.05, l'effort de propulsion du tracteur γ est de 120 kilogrammètres (voir feuille 5, 2^o) lorsqu'une roue de l'appareil porte sur ce pavage. L'écart entre 120 et 92 kilogrammètres est entièrement dû à l'état du pavage.

J'ai enfin étudié les effets de la surface de roulement dans l'état où le chemin de halage se trouvait avant toute traction électrique et tout aménagement.

Le travail exigé pour la propulsion du tracteur est ainsi porté à 180 kilogrammètres, soit à près de 2^{ch}.4 et le coefficient de roulement du chemin de 0,075.

En conclusion, il y a lieu d'appeler l'attention sur ce fait que l'état du chemin de halage influe dans une très large mesure sur le rendement des appareils tracteurs puisque dans les expériences décrites, la variation du travail propre au tracteur est de 1^{ch}.22 à 2^{ch}.4, soit donc 1^{ch}.18 de différence.

Or, le rendement du tracteur étant sur ce terrain de 0.45, l'excès de travail dû à l'état du chemin atteint $\frac{1.18}{0.45} = 2.6$, soit environ 35 p. c. des 7 chevaux employés.

On voit donc que si l'électricité permet l'organisation de lignes de transport de force dont le rendement final est de 75 p. c. entre machine génératrice et moteur utilisé, l'art de l'ingénieur civil doit intervenir pour rendre cette application possible et utilisable au point de vue des transports par eau, car le profil du canal, son état d'entretien et la nature du chemin sur lesquels s'exercent le halage peuvent faire varier l'effet utile du système dans la mesure de 1 à 3.

Effet utile de la traction électrique au point de vue de la battellerie.

L'existence de biefs courts variant de 300 mètres à 4 kilomètres de longueur, le profil resserré du canal de Charleroi, le nombre des écluses (43 écluses sur 47 kilomètres) dans la partie à petite section, et surtout l'interdiction réglementaire de l'organisation de trains de trains de 2 ou 3 bateaux, pouvaient faire mettre en doute l'efficacité au point de vue de la rapidité du transit, de la traction électrique.

J'ai procédé à l'effet de vérifier ce point, à divers contrôles de parcours de bateaux soit remorqués par chevaux, soit remorqués par tracteurs.

Nous avons pris comme point d'étude une longueur de 1836 mètres présentant des courbes, des alignements et une écluse située au milieu de ce trajet. Cette écluse du type normal du canal présente une rampe d'accès de 8 p. c. environ.

Sur ce parcours le cheval de halage donne au bateau une vitesse variable de 1800 à 2200 mètres à l'heure, en procédant au halage par à coups successifs.

Le temps d'éclusage à la remonte est de 14', à la descente il est de 12'. La vitesse commerciale moyenne de 1 kil. 69.

Sur le même parcours le tracteur électrique donne au bateau une vitesse en alignement de 4 kilomètres, en courbe de deux et demi. A l'approche de l'écluse 1 kil. 8.

Le temps d'éclusage à la remonte est de 8', il est de 5' à la descente. La vitesse commerciale est de 2 kil. 630.

Une série d'essais faits sur 8 kil. 900 de trajet avec quatre écluses donnent des résultats plus favorables. Je les écarte de la discussion présente, parce que cette région, quoique assez sinueuse et présentant le passage de quatre écluses et trois ponts de 2 m. 78 à 2 m. 98 de largeur libre, ne représente pas la moyenne des conditions de navigation du canal.

En prenant les chiffres les moins favorables et quoique les douze premiers biefs du canal soient établis à grande section, si l'on applique ces résultats aux 80 kilomètres de parcours du canal de Charleroi à Bruxelles, le trajet complet à traction animale demande $\frac{80}{1.69} = 47$ heures; le même trajet par traction mécanique $\frac{80}{2.63} = 30$ heures.

Le premier système correspond à une navigation de 5 jours (faute d'éclairage la navigation de nuit est impossible sur ce canal). Le second système correspond à un trajet de 3 jours de navigation.

En tenant compte des temps de chargement et déchargement des durées de chômage, etc., le nombre maximum de jours ouvrables des mariniers est de 180 jours, permettant au plus 36 voyages simples sur le trajet Charleroi-Bruxelles. En utilisant la traction mécanique, ce nombre de voyage se trouverait porté à $\frac{180}{3} = 60$ voyages simples par an, soit une augmentation du nombre de parcours possibles de 14 voyages par an.

Cette augmentation correspond donc à une augmentation de recettes pour la batellerie de plus de 42 %. Elle peut se chiffrer avec une approximation assez grande à plus de 700 francs d'augmentation de revenu par an et par bateau toute dépenses de péage, de remorquage et d'entretien déduites.

La traction électrique constitue donc un bienfait spécialement pour la population batelière du canal de Charleroi. Celle-ci est, en effet, la moins bien partagée des corporations similaires de Belgique en raison des péages élevés exigés par l'Etat, de la concurrence du chemin de fer, des lenteurs des procédés de chargement et du petit nombre des quais de chargement et de déchargement autorisés et enfin de l'exiguïté des bateaux dont le tonnage varie de 68 à 71 tonnes. Il y a lieu de joindre à ces causes de misère les chômages prolongés pour curages et travaux qui atteignent parfois 60 jours.

Le canal de Charleroi étant la seule voie navigable joignant les bassins houillers de Charleroi à Anvers de manière directe, l'accroissement de 42 p. c. du trafic possible dû à l'adoption de la traction électrique présente donc non seulement un intérêt social considérable au seul point de vue de la classe laborieuse des bateliers, mais encore un intérêt général à un point de vue économique et commercial des plus importants : Celui de l'amélioration des voies de communications vers le port principal du pays.

Avantages à tirer d'une ligne de distribution de force électrique le long des voies navigables au point de vue du canal lui-même.

A côté de ces considérations directes militant en faveur de la traction électrique au point de vue du halage des bateaux, il y a lieu de considérer les avantages multiples à tirer d'une distribution de force le long d'un canal.

Alimentation. — L'application la plus intéressante qui ait été signalée à ce sujet est celle de l'alimentation des biefs par pompes centrifuges sur le modèle de l'installation faite en 1897 par M. Gaillot, inspecteur des Ponts et Chaussées à Dijon, décrite par lui en 1898 au Congrès de navigation de Bruxelles.

Au point de vue du canal de Charleroi, un été sec a suffi en 1898 pour nécessiter l'installation provisoire de locomobiles pour relever les eaux du Piéton du 9^{me} bief aux 10^{me} et 11^{me} biefs.

L'installation sur le modèle de Gaillot, de pompes capables de relever 50,000 m.³ par 12 heures sur les biefs 1 à 11, présentant une différence de niveau de 20^m98, serait certes plus économique que l'alimentation par pompes à vapeur actuellement pratiquée sur ce canal.

Eclairage. — L'éclairage du canal Kaizer-Wilhelm, d'une longueur de 92 kilomètres, à l'aide de 950 lampes de 25 bougies à incandescence alimentées par une seule dynamo, a démontré le caractère parfaitement pratique de ce genre d'application.

Il permet, à peu de frais, d'augmenter l'effet utile d'une voie navigable déterminée spécialement en hiver.

Dragages d'entretien. — La pratique actuelle de la mise à sec des biefs en vue de procéder au nettoyage de la cunette amène des chômages répétés dont les conséquences sont des plus dommageables à la batellerie. Souvent même la mise à sec de digues anciennes et chargées d'eau a des conséquences si fâcheuses que l'on hésite à procéder à ces opérations.

Enfin, quelque longs que soient les termes de chômage, le cube de dépôts à enlever à la pelle est trop considérable pour permettre un curage complet. Il atteint parfois 4 m.³ par mètre courant du canal.

Ces considérations militent en faveur de l'adoption du dragage à niveau plein à l'aide d'appareils mécaniques tels que les dragues à godets ou les appareils suceurs. Malheureusement la dimension des appareils à vapeur et la nécessité de payer un personnel spécial de machinistes et chauffeurs rendent difficile et onéreux l'emploi d'appareils à vapeur sur de petits canaux.

Ces inconvénients disparaissent par l'emploi de l'électricité. La compacité du système moteur, la suppression de la main d'œuvre des machinistes sont obtenues facilement par l'emploi d'une dynamo triphasée, puisant son énergie à la ligne posée sur le rivage et actionnant une pompe centrifuge qui suffit, dans la plupart des cas,

à aspirer les dépôts vaseux formant les dépôts accidentels de la plupart des canaux. Un seul homme et un aide suffisent à cette manœuvre.

Un dispositif de ce genre peut être installé à bord d'une chaloupe de 5 tonnes déversant les boues dans un baquet de 15 tonnes placé dans son axe longitudinal. Un pareil engin permet le nettoyage méthodique et constant de la cunette et constitue le meilleur des engins d'entretien d'un canal sans interrompre ni même gêner la navigation dans les plus petits canaux.

Avantages à tirer des lignes de distribution de force motrice électrique au point de vue général.

Dans un récent rapport, M. l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées français La Rivière, disait fort justement que le problème de la traction mécanique se réduit en définitive à une question de distribution de force motrice.

Le seul mode économique de transmission de l'énergie à considérer pour les longues distances, est actuellement l'énergie électrique à haute tension et depuis les mémorables essais de Deprez à Creil en 1882 et de Brown et Dolivo à Lauffen, la question de la transmission de l'énergie à distance est si bien entrée en pratique, que nous assistons actuellement à une véritable révolution économique, à tout un déplacement de l'activité industrielle, grâce à la division de la force motrice et sa diffusion en Suisse et dans une partie de l'Allemagne.

Le principal caractère économique de ce genre de distribution, est de grouper sur un même réseau tous les consommateurs d'énergie, tant sous forme de lumière que de force motrice ou d'énergie chimique.

Grands ou petits consommateurs, tous les affiliés à un réseau semblable bénéficient de la coopération industrielle établie entre eux par la ligne électrique.

Le caractère principal de ce progrès est que les grands consommateurs ne sont pas seuls à en bénéficier et que la rénovation de la petite industrie à domicile, le rétablissement des industries familiales du tissage, de l'armurerie, de la mécanique de précision, du travail du bois et des métaux est lié intimement au développement des lignes de distribution d'énergie électrique. A côté de ces consommateurs, les coopératives agricoles se présentent dans certains cas comme devant bénéficier directement de ces avantages de la distribution de la force motrice.

Il y a donc un intérêt d'Etat des plus puissants à développer pratiquement de tels organismes.

L'établissement du halage ou du remorquage électrique ne doit pas être, dans beaucoup de cas, considéré au point de vue économique comme le seul objet d'une ligne de distribution électrique. Sur beaucoup de canaux, la navigation cesse avec le jour, ou présente des alternatives, des variations d'activité assez grandes, de telle sorte que la force motrice et le personnel peuvent être économiquement et pratiquement utilisés à la distribution de l'énergie électrique sous toutes ses formes pour l'usage public et privé.

C'est dans ce sens large qu'il est nécessaire de considérer les installations de traction électrique sur les voies navigables et qu'il est possible d'en tirer tout l'effet utile au grand bénéfice des procédés de navigation et des intérêts généraux économiques et sociaux les plus essentiels.

