

La puissance des chevaux de trait, Ass Hippotese

CHEVAUX REELS ET CHEVAUX VAPEUR

Depuis de nombreuses années à HIPPOTESE, nous avons fait des observations et des mesures de puissance des chevaux, il nous est apparu que la confrontation de nos expériences avec d'autres mesures réalisées par La Compagnie des Omnibus au début du siècle pouvait être intéressante. Voici donc 2 articles tirés de "Causeries scientifiques" (la revue scientifique de l'époque) et un troisième plus pédagogique explicitant les 2 premiers.

Article 1 : CHEVAUX REELS ET CHEVAUX VAPEUR.

On s'est demandé souvent pourquoi Watt avait attribué à son cheval-vapeur, qui sert d'unité usuelle quand on évalue le travail mécanique, une force notablement supérieure à celle du cheval. On lit, en effet, un peu partout dans tous les livres que 3 à 4 chevaux suffisent à peine pour faire un cheval-vapeur. Il est entendu, par définition, que le cheval-vapeur est capable d'effectuer par seconde ses 75 kg-m (kilogramme-mètre), c'est-à-dire d'élever en une seconde 75 kg à un mètre de hauteur.

Or, a-t-on dit, jamais un cheval n'est susceptible de faire pareille besogne. Maintenant, c'est une toute autre affaire ; voilà que l'on s'étonne que Watt ait pris une unité aussi faible. Son cheval-type qui devait être une "haridelle", puisque l'on connaît des chevaux qui exécutent couramment un travail de 80, 95, voir 100 kg-m.

Un cheval vaut son cheval-vapeur, et bien au delà !

Hier a-t-il raison contre aujourd'hui ?

D'où vient la contradiction ?

On oublie complètement, quand on parle ainsi, un élément essentiel de la question, c'est-à-dire le

temps pendant lequel s'effectue le travail. Quand il s'agit d'un moteur animé, le temps joue un rôle capital. Le travail dont un animal est susceptible décroît extrêmement vite quand sa durée est prolongée ; c'est une loi absolue. Un homme, pendant une seconde, peut faire facilement 2 chevaux-vapeur ; mais, pendant 2 secondes, il fera à peine un cheval-vapeur, et pendant 3 secondes, encore moins ; et son travail descendra très vite au tiers puis au sixième de cheval-vapeur, si l'effort à vaincre doit persister pendant des heures. Le cheval fera de même plusieurs chevaux-vapeurs en quelques secondes. Ce n'est évidemment pas là du travail dans l'acception ordinaire du mot, c'est un effort momentané. Un cheval peut bien effectuer 80 à 90 kg-m pendant environ une heure consécutive, mais c'est beaucoup.

Watt a choisi sans doute le tra-

vail pendant une heure d'un cheval de force moyenne, soit 75 kg-m. La machine peut répéter ce travail tant qu'on veut, heure par heure, mais le moteur animé ne saurait y parvenir et, en réalité, si la journée de travail se prolonge, le cheval fait à peine par heure le 1/3 ou le 1/4, et même moins, du travail du cheval-vapeur.

D'après les expériences de 1878, le travail moyen nécessité par la traction par seconde et par cheval de 82 kg-m pour les tramways et de 95 kg-m pour les omnibus, avec une vitesse de 3m/s dans le premier cas, de 2,50 m/s dans le second (l'effort moyen par charge ordinaire de 1 600 à 1 900 kg et d'environ 27 à 32 kg). Le cheval-tramway développe 1,1 cheval-vapeur ; le cheval-omnibus 1,3 cheval-vapeur, ce qui est considérable. Mais la traction n'est pas continue et le travail est de courte durée. Ainsi le temps moyen de chaque voyage est de 46 minutes pour les tramways (minimum 32



Omnibus à 3 chevaux (Rue de Sèvres-Gare du Nord)
carte postale, CHANTAL édit, 74 rue de Archives, Paris

PUISSANCE DES CHEVAUX

HIPPOBULLE n° 23

page 26

CHEVAUX REELS ET CHEVAUX VAPEUR / TRAMWAY OU OMNIBUS ?

mn et maximum 70 mn) et de 48 minutes pour les omnibus (minimum 26 mn et maximum 61 mn).

Tous les chevaux font 2 voyages par jour, tandis qu'un certain nombre accomplissent quatre voyages/jour. Le temps réel de travail coupé par des arrêts est donc de 92 à 184 mn pour les tramways, de 96 et 192 mn pour les omnibus ; ce qui fait au total

0,15 à 0,3 cheval-vapeur dans sa journée ; le cheval d'omnibus n'effectue de son côté, que 0,17 à 0,33 cheval-vapeur dans sa journée.

Nous voilà bien revenue aux évaluations à peu près exactes de Poncelet, Morin, Navier, etc..

Le cheval-vapeur par journée de travail équivaut à trois ou quatre chevaux.

Notons aussi que le sol sur le-

tonne remorquée.

Nota : A ce jour, la Compagnie des Omnibus possède environ 13 679 chevaux ainsi répartis :

Omnibus : 9 377 soit 15,1 chevaux par voiture

Tramway : 3 541 soit 12,73 chevaux par voiture

(586 chevaux travaillent pour le Chemins de fer)

Sur les 15,1 chevaux par omnibus, 12,24 sont en travail quotidien ; le reste comprend les relais, les malades, et les auxiliaires.

In Causeries Scientifiques 1885, J. Rothschild, Editeur.



Un des rare endroit où l'on puisse voir des tramways de nos jours, à Disneyland, Paris (Photo Deny FADY)

Article 2 : TRAMWAY OU OMNIBUS ?

Le conseil général de la Seine a réclamé l'étude de dix-huit nouvelles lignes de tramway destinées surtout à faciliter le transport des populations suburbaines jusqu'au centre de Paris.

L'exploitation des voitures sur rail permet, en effet, à effort égal, de traîner des charges très supérieures à celle qu'il est possible de remorquer sur routes ordinaires.

C'est un fait bien connu ; mais il était intéressant et utile de préciser dans quelles limites on pouvait augmenter la charge sans dépasser les efforts ordinaires de traction. La Compagnie des omnibus a entrepris, à ce sujet, des expériences dont il nous paraît utile de faire connaître les résultats.

Les essais ont été poursuivis sur la ligne de Montrouge à la gare de l'Est, qui présente des parties presque horizontales et des inclinaisons s'élevant jusqu'à 0,003 m par mètre (3 mm/m). On a comparé le travail effectué par les

pour le travail effectué :

Tramway : 452 640 kg-m pour 2 voyages (92 x 60 x 82) et 905 280 kg-m pour 4 voyages (184 x 60 x 82)

Omnibus 547 200 kg-m pour 2 voyages (96 x 60 x 95) et 1 094 400 kg-m pour 4 voyages (192 x 60 x 95)

Or, le cheval-vapeur, faisant toujours rigoureusement 270 000 kg-m/h (75 kg-m/s x 3 600), accomplit, par journée de douze heures, un travail de 3 240 000 kg-m (270 000 kg-m/h x 12). Donc le cheval de tramway peut faire à peine

quel la traction s'effectue n'est pas sans exercer son action, alors même qu'il peut généralement passer pour excellent ; afin d'en donner une idée, nous citerons les différents chiffres suivants, qui exprime la résistance moyenne à la traction en kg par tonne remorquée pour les omnibus :

Pavage en bois : 15, 2 kg/t

Pavage en grès : 17,2 kg/t

Macadam : 16,9 kg/t

Qu'on peut donc compter en bonne route sur un tirage par tonne d'environ 16 à 18 kg par

PUISSANCE DES CHEVAUX

HIPPOBULLE n° 23

page 27

CHEVAUX REELS ET CHEVAUX VAPEUR / TRAMWAY OU OMNIBUS ?

chevaux d'omnibus et les chevaux de tramways. Les parcours ont été effectués successivement dans les deux sens, entre les deux terminus, avec une vitesse semblable, soit 44 mn de Montrouge à la gare de l'Est, et 51 mn en sens inverse.

Dans les deux cas, un cheval de renfort a été attelé sur la pente qui existe entre le boulevard St-Germain et la rue Soufflot. L'omnibus était en pleine charge comme le tramway. Les chevaux avaient donc à traîner, avec l'omnibus, 3 600 Kg ; avec le tramway, 6 000 kg.

Chaque véhicule était muni d'un dynamomètre, appareil très simple recueillant automatiquement sur chaque fraction du parcours l'effort moyen développé par chaque cheval, connaissant la vitesse, il était facile de calculer le travail effectué.

Pour l'omnibus ordinaire, le travail de chaque cheval par seconde, dans le sens de Montrouge à la gare de l'Est, a varié de 125 kgm à 67 kgm, dans le sens inverse, il a varié de 138 kgm à 51 kgm, avec une moyenne de 85 kgm à une vitesse moyenne de 2,4 m/s

Pour les tramways, dans le sens Montrouge-gare de l'Est, le travail d'un cheval a varié de 84 kgm à 10 kgm, avec une moyenne de 65 kgm à une vitesse moyenne de 2,4 m/s

On obtient ainsi pour l'omnibus 85 kgm et pour le tramway 65 kgm par cheval.

Ces chiffres mettent hors de doute que le travail moyen d'un cheval est sensiblement moindre quand il traîne un tramway que lorsqu'il traîne un omnibus, alors que le poids remorqué est de 3600 kg pour 28 voyageurs avec



Un badaud arrose les chevaux de ce tramway parisien, remarquez les colliers en zinc (Les Archives du Cheval, M TRINCKVEL Edit.)

l'omnibus et 6 000 kg pour 48 voyageurs avec le tramway.

Il est bon d'ajouter que les indications du dynamomètre montrent que l'effort au démarrage est plus grand pour les tramways (280 à 500 kg) que pour les omnibus (200 à 350 kg), ce qui est en rapport avec leur masse respective.

L'effort considérable qu'exige la mise en mouvement des voitures de tramways justifie la pression exercée sur le public pour qu'il monte et descende sans qu'il y ait arrêt complet des véhicules.

En conclusion, il résulte de ces expériences que l'effort moyen nécessaire à la traction

- d'un omnibus de 3,6 tonnes est de 70 kg soit 20 kg/tonne sur ce parcours. En effet, il y a 2 che-

vaux par attelage développant 85 kgm chacun (soit 170 kgm) à la vitesse de 2,4 m/s pour 3,6 tonne, donc $170 / 2,4 = 70,8 / 3,6 = 19,6$ kg/t

- d'un tramway de 6 tonnes est de 54 kg soit 9 kg/t sur ce parcours. En effet, il y a 2 chevaux par attelage développant 65 kgm chacun (soit 130 kgm) à la vitesse de 2,4 m/s pour 6 tonne, donc $130 / 2,4 = 54,2 / 6 = 9$ kg/t.

Et que dans ces conditions, les attelages de tramways remorquent, avec un effort à peu près égal, près du double de voyageurs que les omnibus.

In Causeries scientifiques, 1884, J. Rothschild Editeur.

PUISSANCE DES CHEVAUX

HIPPOBULLE n° 23

page 28

EXPLICATIONS ET CONCLUSION

Que peut-on tirer comme informations intéressantes de ces 2 articles ?

Tout d'abord, il faut sans doute préciser et actualiser les concepts physiques mis en jeu (petit rappel pour ceux qui n'ont pas trop suivi leurs cours de physique au lycée).

nos dynamomètre sont gradués dans cette unité.

Travail en joules (J) :

De même le travail est exprimé en Joule (et non plus en kilogramme-mètres) sachant que 1 kilogrammètre = 9,8 joules.

joules) et l'unité de temps (en secondes).

La Vitesse : $V = D / S$

La vitesse (en mètres par seconde) et le rapport entre le déplacement (en mètres) et l'unité de temps (en secondes).

Pour revenir à nos 2 articles :

1) Travail moyen par seconde effectué par chaque cheval : **82 kilogrammètres ou 800 Joules (à 2,5 m/s soit 9 km/h)**

- cheval-omnibus,

article 1 : 95 kgm (à 2,50 m/s),
article 2 : 85 kgm (à 2,4 m/s).

- cheval tramway,

article 1 : 82 kgm (à 3 m/s), article
2 : 65 kgm (à 2,4 m/s)

2) Effort de traction moyen par cheval : **32 kg ou 311 N (à 2,5 m/s soit 10 km/h)**

C'est celui que l'on mesure avec un dynamomètre, il n'a cependant de valeur que si l'on précise la vitesse de déplacement (ou le temps et la distance parcourue).

- cheval-omnibus,

article 1 : chaque seconde le cheval-omnibus parcourt 2,5 m et effectue un travail de 95 kgm, il exerce donc une traction de $F = T / D$ soit $95 / 2,5 = 38$ kgf,
article 2 : $85 / 2,4 = 35$ kgf

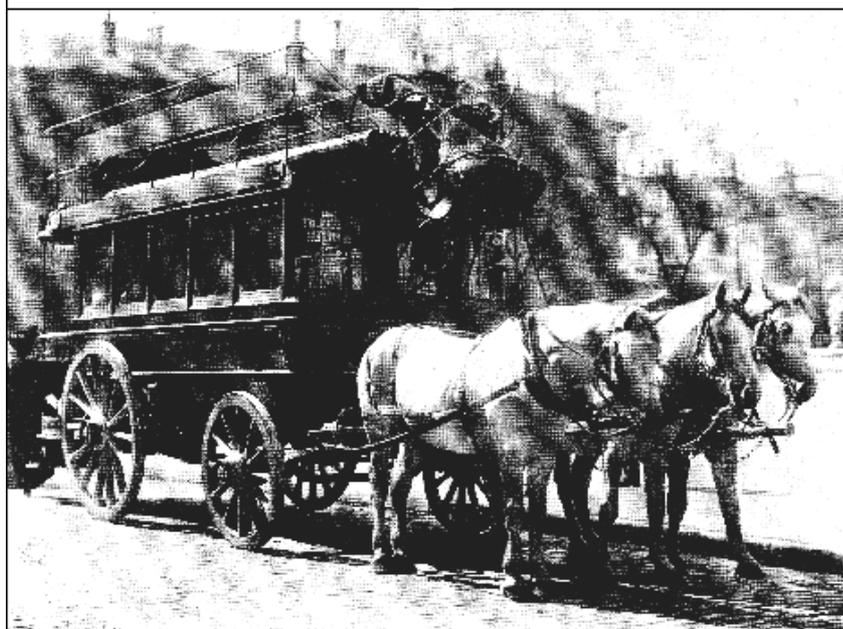
- cheval-tramway,

article 1 : chaque seconde le cheval-tramway parcourt 3 m et effectue un travail de 82 kgm, il exerce une traction de $F = T / D$ soit $82 / 3 = 27$ kgf,
article 2 : $65 / 2,4 = 27$ kgf (soit

près de 3 fois moins qu'avec l'omnibus).

3) Vitesse de déplacement moyenne: **9 à 10 km/h c'est la vitesse d'un petit trot de travail.**

1 heure = 60 minutes, 1 minute = 60 secondes, donc 1 heure = 3600 secondes.



Unités du Système International (Unités SI)

Force en newton (N) :

Dans les articles, il est fait allusion à une force exprimée en Kilogramme, il s'agit de Kilogramme-force par opposition au Kilogramme-poids, mais de nos jours on ne parle plus de Kilogramme-Force, mais de Newton, sachant que 1 kilogramme-force = 9,81 newtons.

En fait le poids d'un objet est le produit d'une masse (en kilogramme) par la constante de l'attraction terrestre (9,8), le poids d'une masse de 1 kg est alors de 9,8 Newtons

Nota : pour nous à HIPPOTESE, il est souvent pratique de continuer de parler de force en kilo car

Puissance en watts (W) :

Enfin la puissance s'exprime en watts (et non plus en kilogrammètre/seconde) sachant que 1 kilogrammètre/seconde = 9,8 watts. On en déduit qu'un cheval-vapeur vaut 735 w ($75 \text{ kgf/s} \times 9,8$)

Le Travail : $T = F \times D$

Un travail (en joules) est produit lorsqu'une force (en newtons) déplace un objet d'une certaine distance (en mètres), dans la mesure où la force et le déplacement ont la même direction, c'est le produit de la force par la distance.

La Puissance : $W = T / S$

La puissance (en watts), c'est le rapport entre le travail (en

PUISSANCE DES CHEVAUX

HIPPOBULLE n° 23

page 29

EXPLICATIONS ET CONCLUSION

Le cheval-omnibus avance,
article 1 : à une vitesse de 2,5m/s
soit $3\,600 \times 2,5 = 9\,000$ m/h soit 9
km/heure,

article 2 : $3\,600 \times 2,4 = 8\,640$ m/h
soit 8,64 km/h

Le cheval-tramway avance,
article 1 : à une vitesse de 3 m/s
soit $3\,600 \times 3 = 10\,800$ m/h soit
10,8 km/h,

article 2 : $3\,600 \times 2,4 = 8,64$ km/h.

3) Distance parcourue par jour :
14 km à 33 km

Article 1 : le temps moyen de
chaque voyage est de 48 mn pour
les omnibus, soit un trajet moyen
de $9 \times 48 / 60 = 7,2$ km.

Article 1 : le temps moyen de
chaque voyage est de 46 mn pour
les tramways, soit un trajet moyen
de $10,8 \times 46 / 60 = 8,28$ km.

Article 1 : tous les chevaux font 2
voyages soit 16,56 km et 14,4 km,
certains accomplissent 4 voyages
soit 33,12 km et 28,8 km par jour.

Article 2 : le temps moyen du
parcours aller-retour est de 95 mn
à 2,4 m/s soit $95 \times 60 \times 2,4 = 14$
km (13,6 km).

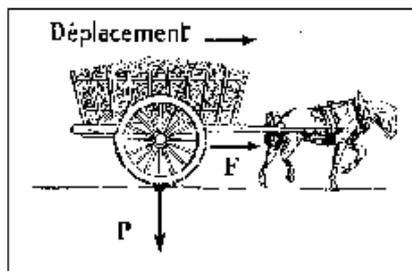
A noter que les chasse-marée ef-
fectuaient des étapes de 30 km à
une moyenne de 10 km/h

4) Temps de travail des chevaux
par jour : **1 heure 30 à 3 heures
30**

Les chevaux de tramways travail-
lent dans la journée 2×46 mn,
soit 92 mn (ou 1 heure 32 mn)
quand ils font 2 voyages et 4×46
mn, soit 184 mn (ou 3 heures 4
mn) quand ils font 4 voyages.

Les chevaux d'omnibus travaillent
dans la journée 2×48 mn, soit 96
mn (ou 1 heure 36 mn) quand ils
font 2 voyages et 4×48 mn, soit
192 mn (ou 3 heures 32 mn)
quand ils font 4 voyages.

A noter que les chasse-marée ef-
fectuaient des étapes de 3
heures.



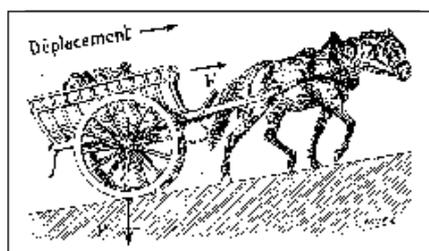
5) Coefficient de traction sur
route plate : **2 % (soit 20 kg par
tonne transportée ou 2 N pour
100 N) ou encore 1 kg de trac-
tion pour 50 kg de charge.**

Le coefficient de traction (due
aux frottements) moyen sur
route urbaine donc relativement
plate est d'environ 1,8 % à 2 %

article 1 : $30 \text{ kg} / 1600 \text{ kg} = 1,87$
% ; $35 / 1900 = 1,84$ % ; $18 /$
 $1000 = 1,8$ %.

article 2 : 20 kg / tonne = 2 %

6) Problème de la pente : il est
intéressant de se poser la ques-
tion de l'influence de la pente sur
l'effort de traction qu'effectue un
cheval.



En effet, dès que la route n'est
plus plate, un effort supplémen-
taire s'ajoute au frottement pour
élever la charge. A partir des
informations obtenues essayons
d'évaluer l'effort que nous de-
mandons couramment à nos
chevaux sur des pentes de 5 %,
10 % ou 15 %.

Les règles de la physique nous
apprennent que le rapport effort
de traction due à la pente/poids
du véhicule est égale à la pente,
donc :

a) Prenons un cas précis : chariot
de poids $P = 2\,000$ kg, pente $K =$
5 % :

On a $F = P \times K = 2\,000 \times 0,05 =$
100 kg

b) Chariot de 2 000 kg pour une
pente de 10 % :

$F = 2\,000 \times 0,1 = 200$ kg

c) Chariot de 2 000 kg, pente de
15 % :

$F = 2\,000 \times 0,15 = 300$ kg

Donc si sur le plat notre chariot
demande un effort (due au frotte-
ment) de 2 % soit 40 kg (2×2000
/ 100),

- Avec une pente de 5 %, l'effort
de traction est de 140 kg ($100 +$
40), le cheval tire donc près de 4
fois plus que sur le plat (3,5 fois),
le coefficient de traction est passé
de 2 % à 7 % (70 kg/tonne)

- Avec une pente de 10 %, l'effort
de traction est de 240 kg ($200 +$
40), le cheval tire donc 6 fois plus
que sur le plat, le coefficient de
traction est passé de 2 % à 12 %
(120 kg/tonne).

- Avec une pente de 15 %, l'effort
de traction est de 340 kg ($300 +$
40), le cheval tire donc près de 9
fois plus que sur le plat (8,5 fois).
le coefficient de traction est passé
de 2 % à 17 % (170 kg/tonne).

Voilà sans doute de quoi réfléchir
sur les conditions de traction que
nous imposons à nos chevaux à la
moindre côte (un côte de 5 % est
une côte très courante), d'autant
que d'après nos expérience, un
effort de traction de 40 kg/cheval
au trot et 100 kg/cheval au pas
nous semble de bonnes
moyennes à respecter. Deny
FADY

PUISSANCE DES CHEVAUX

HIPPOBULLE n° 23

page 30