

LE GÉNIE CIVIL

REVUE GÉNÉRALE HEBDOMADAIRE DES INDUSTRIES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

Prix de l'abonnement par an. — Paris : 36 francs; — France et Colonies : 38 francs; — Étranger : 45 francs. — Le numéro : 1 franc.

Administration et Rédaction : 6, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.

SOMMAIRE. — Automobiles : L'emploi du gaz dans les automobiles, p. 81 ; A. GREBEL. — Résistance des matériaux : Théorie de la poutre hyperstatique à l'aide des poids élastiques (*suite et fin*), p. 84 ; D. WOLKOWITSCH. — Chimie industrielle : L'emploi du cyanogène et de ses dérivés à la guerre, p. 89 ; Nicolas FLAMEL. — Électricité : Le mécanisme de la rupture des isolants électriques, p. 92. — Variétés : Les résultats du dernier exercice financier de la maison Krupp, p. 93 ; — L'entretien des voies ferrées par le soufflage du ballast, p. 94 ; — Les procédés et appa-

reils modernes de décapage et de galvanisation, p. 94 ; — Mesure mécanique d'une aire sphérique. Les sphérimètres, p. 96 ; Paul VANET.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET INDUSTRIELLES : Académie des Sciences (20 janvier 1919), p. 97 ; — Société des Ingénieurs civils (10 janvier 1919), p. 97.

BIBLIOGRAPHIE : Revue des principales publications techniques, p. 97 ; — Brevets, p. 100.

ANNONCES : Informations diverses.

AUTOMOBILES

L'EMPLOI DU GAZ DANS LES AUTOMOBILES

On se préoccupait déjà, avant 1914, surtout en France, en Italie et en Allemagne, de la raréfaction et de la cherté des combustibles liquides volatils, employés dans les moteurs d'automobile (1). Cette pénurie et cette élévation de prix n'ont fait que s'accroître très fortement du fait de la guerre. Elles touchent aussi beaucoup, maintenant, l'Angleterre.

Un des moyens de les combattre consiste à employer, dans les moteurs d'automobiles, le gaz de ville, qu'on utilise d'ailleurs, depuis plus de 30 ans, dans les moteurs fixes. 1 m³ 650 de gaz à 4 700 calories équivalent théoriquement et pratiquement à 1 litre d'essence de densité égale à 0,730.

La substitution du gaz à l'essence est, en elle-même, très intéressante, puisqu'elle abaisse, au moins de moitié, comme nous le verrons plus loin, la dépense pécuniaire en carburant. Elle l'est aussi, de façon plus générale, par la concurrence modératrice qu'elle peut faire, avec le benzol, à l'essence importée.

La consommation mondiale de carburants se développe rapidement. L'Amérique du Nord, qui est de beaucoup le plus gros producteur (et aussi le plus gros consommateur), aura de plus en plus de mal à satisfaire la demande européenne, malgré la récupération, maintenant courante, d'essence légère dans les gaz naturels, et l'augmentation progressive de la densité des produits livrés (qui dépasse parfois 0,750). Le fret restera, longtemps encore, relativement cher. Autant qu'on puisse faire des prévisions en ces questions de cours commerciaux, il est permis de penser que le prix de l'essence ne retombera pas en-dessous de 0 fr. 80 le litre, hors Paris, avec les modes d'emballages coûteux adoptés chez nous.

Notre consommation annuelle en essences de pétrole et benzol de houille atteignait, avant la guerre, environ 350 000 tonnes, dont

130 000 de benzol. Dès à présent, avec le développement de l'automobilisme utilitaire et de la motoculture, on peut estimer que nos besoins seront plus que doublés.

La production française de benzol, avec la récupération dans les grandes usines à gaz, s'élevait, au moment de l'armistice, à 30 000 tonnes, réservées, on le sait, aux fabrications de guerre. Quand les fours à coke seront remontés dans le Nord, cette production pourra atteindre 50 000 tonnes, en grande partie disponibles pour les automobiles.

D'autre part, la réduction des fabrications d'explosifs rendra disponibles d'importantes quantités de benzol si l'on continue, comme nous pensons qu'il y a lieu de le faire, à pratiquer le débencolage dans les usines à gaz (1). Nous négligeons, sans les oublier, l'appoint, peu important d'ailleurs, des schisteries, et l'adjuvant que deviendra le pétrole lampant (qui est malheureusement, lui aussi, un combustible importé), puisqu'on se décide enfin, pour l'utiliser convenablement, à lui affecter des moteurs à cycle spécial et à pulvérisation directe dans les cylindres, au lieu de s'obstiner



FIG. 1. — L'EMPLOI DU GAZ DANS LES AUTOMOBILES : Vue d'un autobus actionné par du gaz contenu dans un sac souple.

à vouloir le « gazéfier » dans des « carburateurs » chauffés, adaptables aux moteurs à essence ordinaires (2).

Le benzol français ne représenterait pas plus de 7 % des besoins futurs en carburants. C'est donc une crainte chimérique que d'imaginer que l'emploi de 50 à 60 millions de mètres cubes ou environ 25-30 000 tonnes de gaz de fours à coke ou d'usines à gaz (3), dans des services spéciaux de transports automobiles, pourrait rendre non rémunératrice l'extraction du benzol du gaz de houille ; les producteurs français auront, dans cet ordre d'idées, bien plus à craindre la concurrence des benzols étrangers, dont les importations étaient déjà considérables avant la guerre.

(1) Voir, à ce sujet, le *Génie Civil* des 7 octobre 1911 (t. LIX, n° 23, p. 468) et 15 janvier 1916 (t. LXVIII, n° 3, p. 35).

(2) Voir, à ce sujet, la description du moteur Bellem et Brégéras dans le *Génie Civil* du 30 novembre 1918 (t. LXXIII, n° 22, p. 433).

(3) Cette quantité correspondrait, par exemple, à l'alimentation des 800 autobus parisiens, qui faisaient, avant la guerre, 480 kilomètres par jour et consommaient 90 litres de benzol chacun en moyenne.

(4) Voir, à ce sujet, une étude complète de l'auteur du présent article, dans le *Génie Civil* de juin 1913 (t. LXIII, n° 7 à 9). — N. D. L. R.

Comparons maintenant plus en détail l'emploi de l'essence et celui du gaz, comprimé ou non, dans les automobiles :

La consommation optima des moteurs à explosion est de 2 500 à

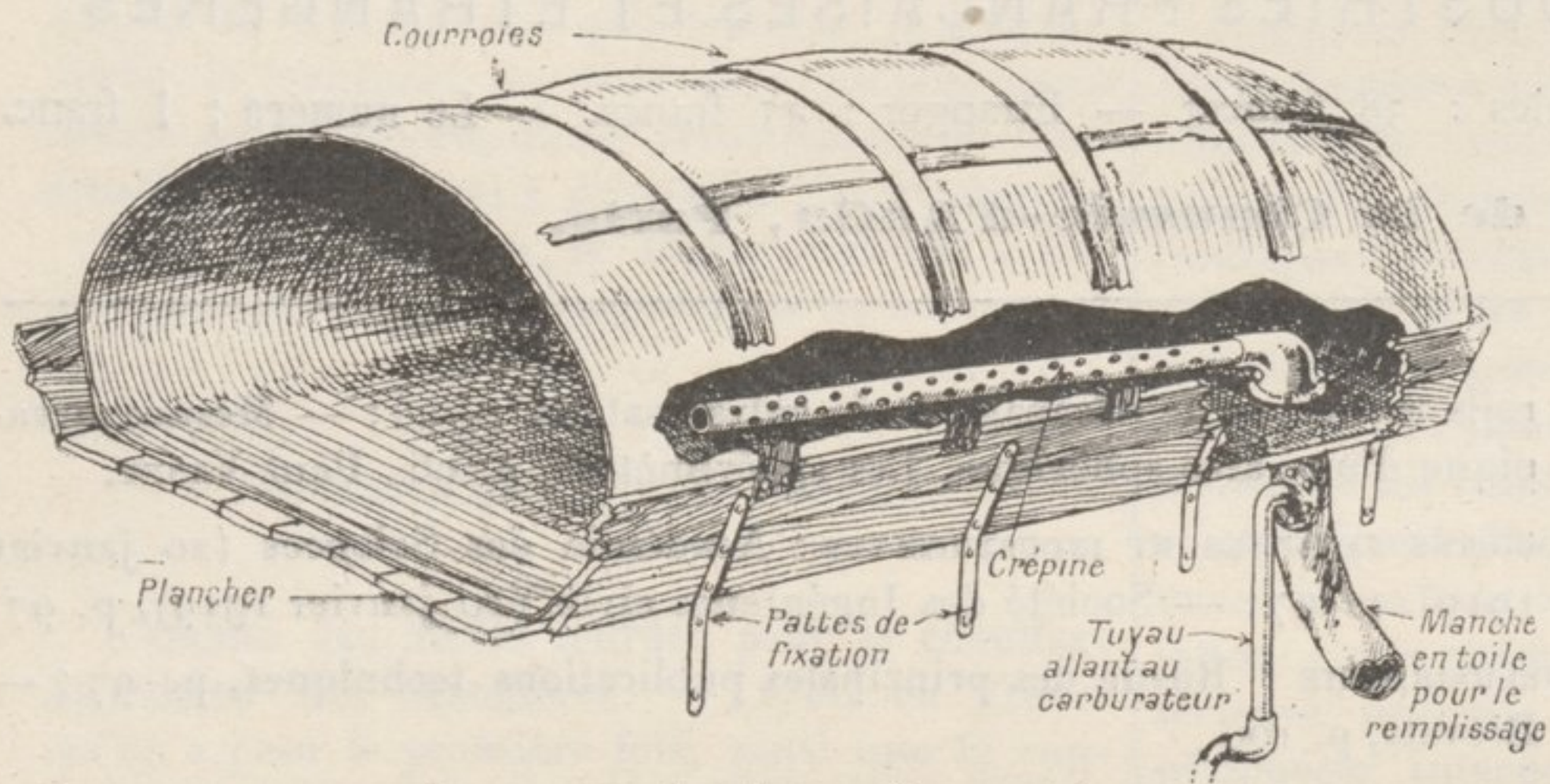


FIG. 2. — Sac à gaz d'un camion.

3 000 calories par cheval-heure. Nous retiendrons le chiffre moyen de 2 750 calories. Avec de l'essence, ces 2 750 calories sont représentées :

En volume, par	décimètre cube.	0,350
En poids net, par	kilogr.	0,250
En poids brut (y compris réservoir), par	—	0,330
En argent (au cours de 0 fr. 80 le litre), par	franc.	0,28

Le gaz débenzolé n'a guère qu'une puissance de 4 700 calories par mètre cube mesuré à la pression atmosphérique ; c'est aussi sensiblement celle du gaz débenzolé, comprimé à 150 kilogr. puis-

guerre, les dépenses d'essence et de gaz sont sensiblement dans le rapport 2 : 1, même en tenant compte de la forte augmentation du poids mort. Ce rapport serait vrai, *a fortiori*, avec les prix de détail actuels, l'essence coûtant bien plus de 1 franc hors Paris et le gaz 0 fr. 30 le mètre cube, non comprimé.

APPLICATIONS EN ANGLETERRE. — Comme moyen d'emmagasiner et de transporter le gaz sur l'automobile : « nos amis les Anglais, toujours simplistes et pratiques », dit M. Neu (1), ont eu surtout recours à des sacs en étoffe imperméable, analogue à celle qui sert à la confection des ballons, et dans lesquels la pression d'emmagasinage n'est que de quelques millimètres d'eau.

Ce sac est arrimé au-dessus du véhicule (fig. 1 et 2) ou dans une remorque. Il ne permet guère qu'un parcours de 15 à 30 kilom. sans recharge. Aussi, dans certaines villes anglaises, où la substitution du gaz à l'essence fait l'objet d'applications de plus en plus nombreuses depuis un an et demi (2), s'est-on préoccupé de multiplier les postes de chargement permettant de remplir des sacs de 5 à 20 mètres cubes en 5 à 10 minutes.

Diverses revues françaises (3) ont analysé ou reproduit des articles parus, à ce sujet, dans les journaux anglais. Le *Génie Civil* l'a fait aussi à différentes reprises (4), en signalant notamment les expériences faites sur un autobus à Grimsby, puis sur des camions automobiles et enfin avec un tracteur agricole.

Une application d'une assez grande importance a même été faite par la London General Omnibus Company, de Londres, qui a mis en service, l'année dernière, une vingtaine d'autobus équipés pour être actionnés au gaz de houille comprimé. La Compagnie n'a pas

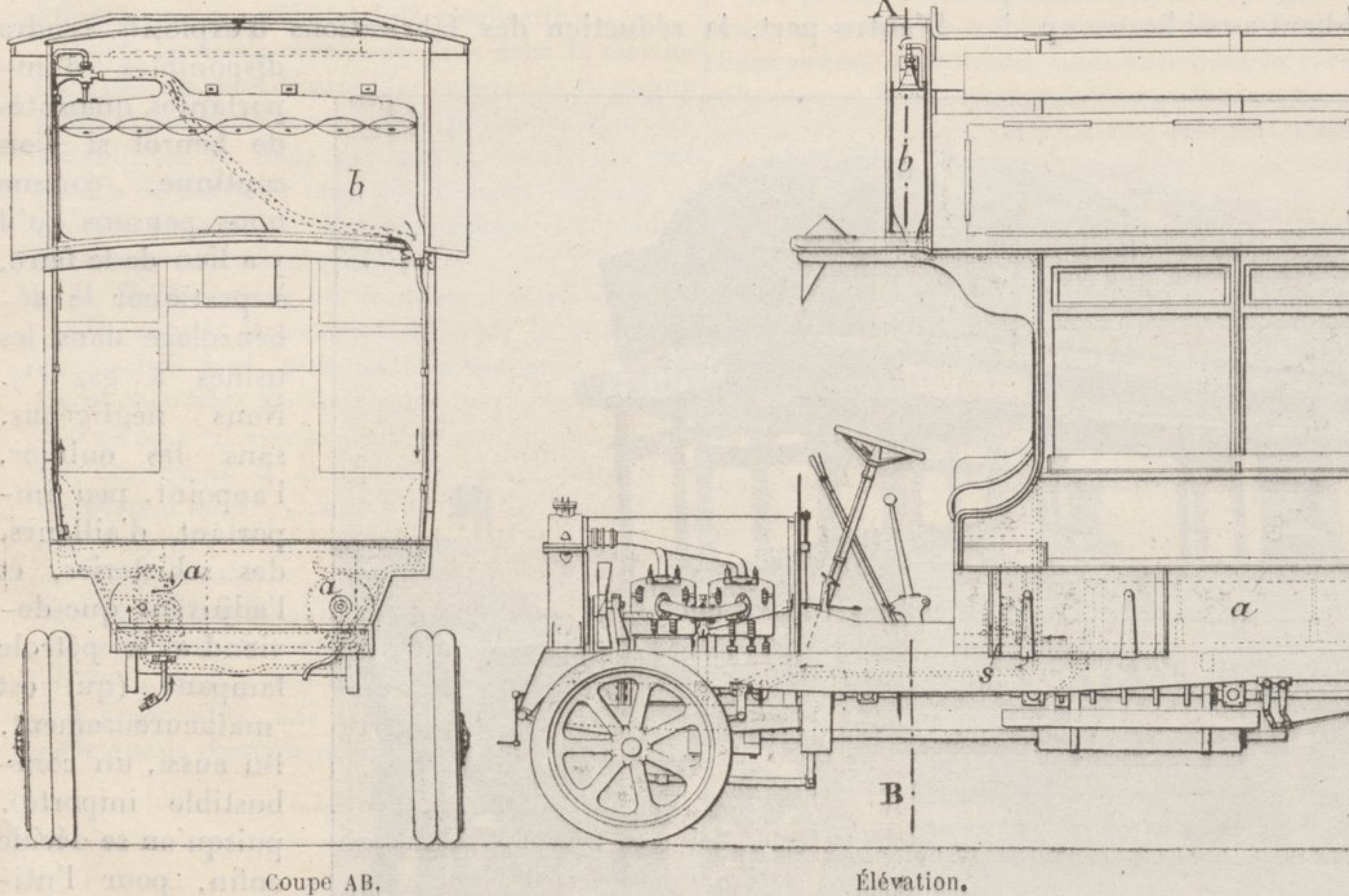


FIG. 3 et 4. — Autobus de la London General Omnibus Co, disposé pour fonctionner au gaz.

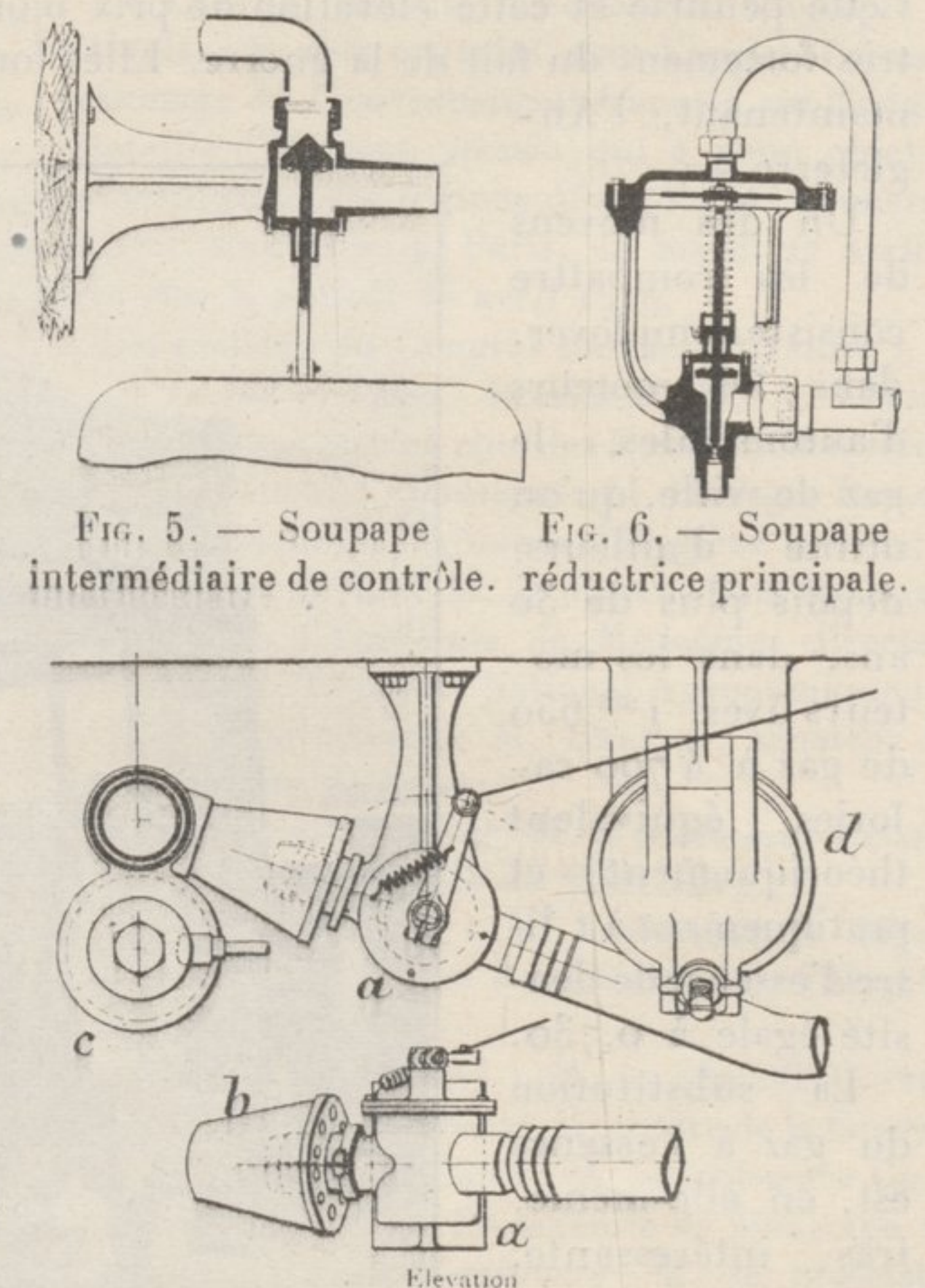


FIG. 5. — Soupape. FIG. 6. — Soupape intermédiaire de contrôle. FIG. 7 et 8. — Prise d'air et soupape de contrôle.

qu'il n'a plus à perdre, par compression, d'hydrocarbures riches, condensables.

Les 2 750 calories ci-dessus sont représentées, avec du gaz aux pressions habituelles de distribution de quelques centimètres d'eau :

En volume, par	décimètres cubes.	590
En poids net, par	kilogr.	0,300
En poids brut (réservoir compris), par	—	5
En argent (à 0 fr. 20 le mètre cube), par	franc.	0,12

avec du gaz comprimé à 150 kilogrammes :

En volume, par	décimètres cubes.	6
En poids net, par	kilogr.	0,300
En poids brut (réservoir compris); par	—	5
En argent (frais de compression compris), par	franc.	0,14

Signalons que de nouveaux récipients en acier fretté (Murphy) ou en caoutchouc armé (Wood Milne) ont abaissé le poids brut par cheval-heure, qui est de 5 kilogr. avec les tubes de 7 mètres cubes de gaz comprimés du commerce, à 3 kilogr. et même 1 kg 5. Notons, comme terme de comparaison, que dans le cas de la traction électrique, avec les meilleurs accumulateurs, le poids brut par cheval-heure atteint 25 kilogrammes.

Si l'on admet les prix indiqués ci-dessus et relatifs à l'avant-

voulu employer un sac de toile caoutchoutée, qui l'aurait conduit à supprimer les places d'impériale, et dont l'encombrement aurait été, par ailleurs, inadmissible. Le gaz est emmagasiné, à la pression de 80 kilogr. par centimètre carré environ, dans des récipients cylindriques *a* (fig. 3 et 4). Ces récipients, placés sous les banquettes, étaient primitivement au nombre de quatre, mais on n'en employa plus ensuite que deux, un sous chaque banquette, réunis par une conduite passant sous le plancher de la voiture.

Le gaz est amené à une soupape réductrice principale *s* (fig. 4), puis, une fois détendu, il passe dans une soupape intermédiaire de réglage (fig. 5) et de là dans un récipient flexible *b*, qui constitue une sorte de chambre de détente, où la pression est d'environ 0 kg 140 par centimètre carré. Cette chambre *b*, qui n'occupe qu'un

(1) *Automobilia*, 30 septembre 1917.

(2) Voir le numéro de janvier 1918 de *A thousand and one uses for gas*, édité par « The British Commercial Gas Association ».

(3) Chroniques du *Bulletin des Ingénieurs civils* d'octobre-décembre 1917, de janvier-mars et d'avril-juin 1918 (nous mettons les lecteurs en garde contre les rapports de consommation de l'essence et du gaz indiqués d'après M. Jackson et contre des confusions entre litre et kilogramme qui se sont glissées dans la première chronique); *Journal des Usines à gaz* du 3 décembre 1917 et du 20 février 1918.

(4) Voir le *Génie Civil* du 28 juillet 1917 (t. LXXI, n° 4, p. 63), du 18 mai 1918 (t. LXXII, n° 20, p. 364) et du 6 juillet 1918 (t. LXXIII, n° 4, p. 18).

très faible encombrement à l'avant de l'impériale puisque son épaisseur n'est que de 0^m 15, sert de réservoir d'alimentation pour le moteur, auquel elle est réunie par un tuyau de 22 millimètres de diamètre, aboutissant au carburateur *c*, et sur lequel se trouve une soupape de contrôle *a* (fig. 7 et 8).

Lorsque la chambre d'expansion est remplie, le gonflement d'une de ses parois commande la fermeture de la valve de détente, et l'admission du gaz à haute pression est suspendue.

Les cylindres à gaz ont chacun une capacité de 0^m 255, permettant d'emmagasiner 17 mètres cubes de gaz mesurés à la pression atmosphérique. Cet approvisionnement suffit pour une course de 32 kilom. Les cylindres ont un diamètre de 0^m 25 et une longueur de 2^m 75 ; le corps est en cuivre étiré et les fonds sont en acier, réunis l'un à l'autre par des tirants. Le corps des cylindres est renforcé par

Les études de M. Neu et les nôtres étaient; croyons-nous, plus approfondies que celles faites en Angleterre et citées par M. Jackson et M. Barrett, dans lesquelles on refait, par exemple, l'école des trop faibles pressions d'emmagasinage du gaz que des Français, MM. Delamare-Deboutteville et Malandin, avaient déjà faite, de 1884 à 1894, sur un chaland.

Le système du sac a l'avantage de la simplicité, de la légèreté, du bon marché; le chargement se fait, sans compresseur, à la pression de quelques centimètres d'eau des conduites de distribution. Mais ce sac est encombrant; il oppose une résistance importante à la marche du véhicule; il supprime des places d'impériale dans certains autobus ou cars; il présente un certain danger d'incendie; enfin, il n'a qu'un très faible rayon d'action.

Ce ne peut être qu'une solution provisoire, immédiate. La solu-

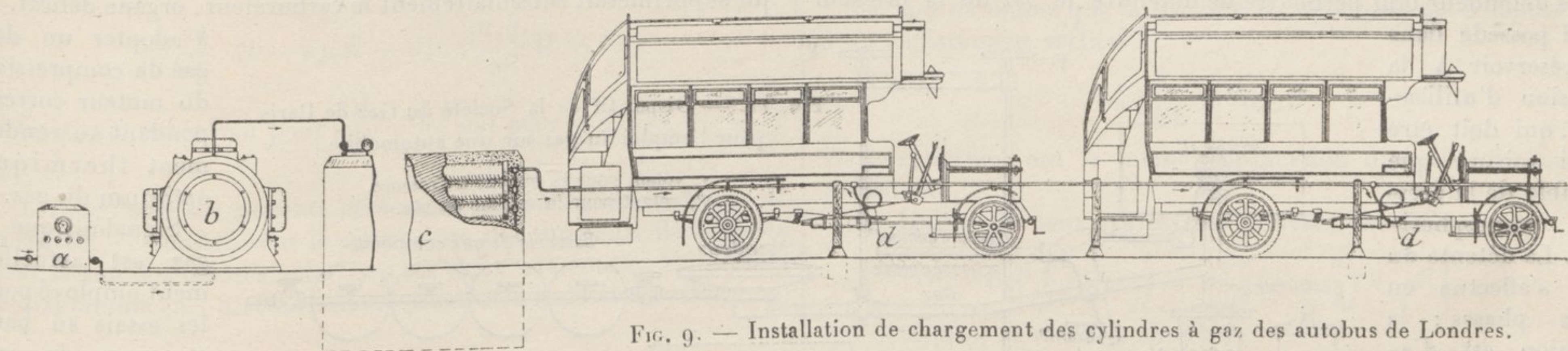


FIG. 9. — Installation de chargement des cylindres à gaz des autobus de Londres.

un fretage en fils d'acier analogue au fretage des canons anglais.

Les nouveaux autobus sont éclairés au gaz, ce qui a permis de supprimer l'appareillage pour l'éclairage électrique, employé jusque-là, et dont le poids était de 135 kilogr. environ.

La consommation moyenne a été d'environ 0^m 670 de gaz par kilomètre, et les véhicules ont donné dans ces conditions des résultats aussi satisfaisants qu'à l'essence.

La figure 9 montre l'installation de chargement des véhicules. Le gaz, pris au compteur *a*, est comprimé dans le compresseur *b*, puis emmagasiné dans les tubes *c* formant réservoirs d'alimentation; sur ceux-ci est branchée une conduite munie de postes *d* pour le remplissage des réservoirs des autobus.

TENTATIVES FRANÇAISES. — Ces premières applications peuvent laisser supposer que l'idée d'employer le gaz dans les automobiles est d'origine anglaise; aussi croyons-nous utile de rappeler que la priorité de cette idée appartient à un ou même à deux Français.

Dès les premiers jours de 1913, nous avons tenté de décider, à faire des essais quelques Compagnies exploitantes, que la question aurait dû intéresser, étant donnée la disette de carburants. A la suite des réponses reçues, nous avons donné quelque publicité à l'idée dans différents congrès ou publications techniques (en particulier: Congrès de la « Société technique du gaz en France » à Toulouse, juin 1913, et *Génie Civil*, du 28 juin 1913, t. LXIII, n° 9). Nous avons démontré qu'il y aurait un grand avantage économique à remplacer l'essence et même le benzol par le gaz, dans et hors Paris; que la réalisation de cette substitution, sur certaines grosses voitures et sur les camions, ne présentait aucune difficulté d'ordre technique; qu'il ne s'agissait que d'appliquer des choses très connues et déjà en usage.

Peu après, M. L. Neu, un ingénieur-conseil très distingué, nous informait qu'il avait pris, en mai 1913, un brevet sur l'emploi du gaz dans les véhicules automoteurs (et un autre sur l'emploi du gaz comprimé dans les moteurs Diesel). Une particularité de son brevet résidait dans la présence, sur la même voiture, d'une provision d'essence à côté de l'approvisionnement de gaz, permettant la marche à volonté avec l'un quelconque des deux combustibles; cette solution, adoptée par la Société du Gaz de Paris, ne peut être que transitoire. Nous croyons savoir que notre collègue n'a, pas plus que nous, pu, de son côté, intéresser très sérieusement les constructeurs à son invention, bien que des essais aient été faits.

Deux Français ont donc bien été les pionniers de cette nouveauté à laquelle on ne peut trouver, que nous sachions, de précédent direct. Il faut toutefois citer, dans un autre ordre d'idées, les tentatives d'emploi du gaz sur des tramways et sur un chaland, remontant à 20 ou 25 ans (1).

tion industrielle consiste, comme nous l'avons indiqué, à emmagasiner le gaz comprimé dans des récipients qui peuvent d'ailleurs être bien plus légers que les tubes du commerce servant pour l'oxygène, l'hydrogène et l'acide carbonique. On n'a pas intérêt à s'arrêter à des pressions moyennes, car, toutes choses égales, « le poids du récipient par cheval-heure est à peu près indépendant de la pression employée et l'encombrement est en fonction inverse de la pression ».

On est actuellement assez familiarisé avec l'emploi des gaz comprimés à 150 atmosphères pour qu'on ne retienne plus les objections timorées qui avaient été tout d'abord soulevées.

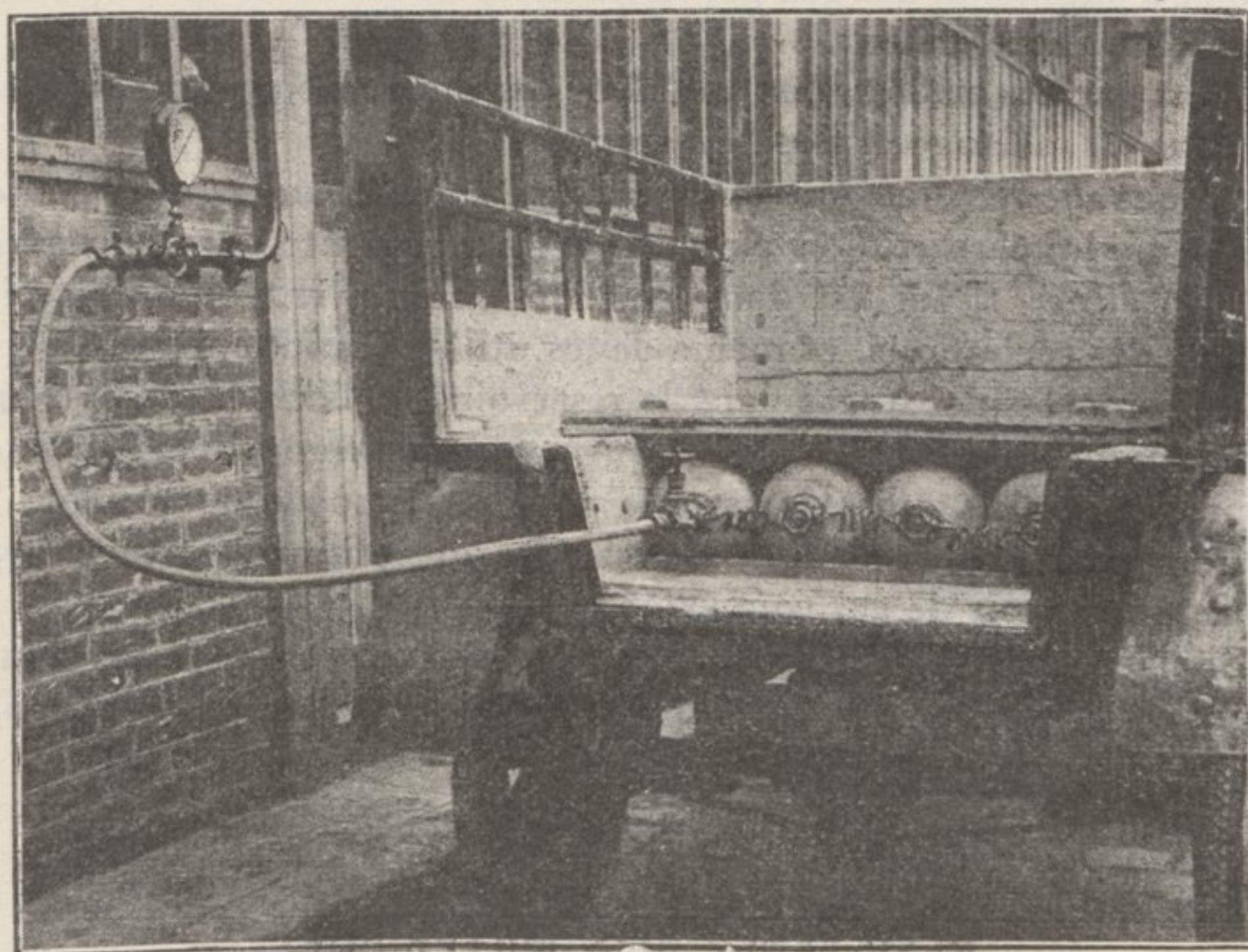


FIG. 10. — Chargement des tubes à gaz d'un camion Renault à la Société du Gaz de Paris.

Quant au rechargement des récipients, il peut se faire à des stations fixes de compression, ou avec un compresseur porté par la voiture, ou à des prises disposées sur une canalisation de distribution de gaz comprimé. Enfin, plus simplement, on peut échanger les tubes vides contre des pleins.

Il n'est pas inutile de se demander où nous en sommes, en France, au point de vue de l'emploi du gaz dans l'automobile, car, après guerre, la France et l'Italie seront, parmi les Alliés, les seuls qui y auront vraiment grand intérêt.

Essais de la Société du Gaz de Paris. — Récemment, la Société du Gaz de Paris a fait des essais d'utilisation du gaz comme carburant dans les moteurs d'automobiles; ces essais ont été effectués sur trois voitures de cette Société, savoir :

(1) Voir, à ce sujet, le *Génie Civil* du 21 décembre 1912 (t. LXIII, n° 8, p. 436). D'autre part, des essais ont été faits en Italie, vers 1906, à l'aide de moteurs à gaz pauvre et de gazogènes installés sur des chalands. — N. D. L. R.

Un camion Renault à ridelles 8-9 chevaux 1909;

Une limousine Renault 12-14 chevaux 1914;

Un camion Renault 3 tonnes 14-20 chevaux 1912.

Le dispositif adopté (fig. 11) permet d'employer dans le moteur de l'automobile, comme carburant, soit l'essence, soit le gaz, soit même un mélange des deux. Il se compose d'un réservoir de gaz comprimé, d'un détendeur et d'un système de distribution de gaz détendu.

Le réservoir comprend un certain nombre de bouteilles en acier étiré sans soudure, de 35 décimètres cubes de capacité chacune (bouteilles du type commercial pour gaz comprimé de 100 à 200 atmosphères). Ce réservoir peut être mis en communication au moyen de vannes, soit avec l'installation de compression de gaz, soit avec le détendeur.

Le détendeur doit permettre de détendre le gaz de la pression qu'il possède dans le réservoir à la pression d'utilisation, qui doit être aussi voisine que possible de la pression atmosphérique. La détente du gaz s'effectue en deux phases : la pression est d'abord ramenée par un mano-détendeur aux environs de 10 kilogr., puis par un deuxième appareil de détente de 10 kilogr. à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique.

Une canalisation en tubes de cuivre rouge amène le gaz détendu au moteur. Une petite vanne placée sur cette canalisation, que le chauffeur peut commander de son siège au moyen d'un volant, permet l'ouverture ou la fermeture du gaz.

Le gaz est admis dans le moteur par l'intermédiaire d'un robinet à canillon qui est commandé dans les mêmes conditions que le clapet d'admission des gaz par la manette du ralentisseur et par la pédale de l'accélérateur.

C'est par les orifices d'entrée d'air du carburateur que l'air nécessaire au mélange explosif est fourni.

Le chauffeur a, en outre, à proximité de la main, une petite vanne qui lui permet d'ouvrir ou de fermer l'essence sans descendre de son siège. Il lui est donc possible d'employer, soit l'un, soit l'autre des carburants, et même de les utiliser simultanément.

La compression du gaz dans le réservoir est effectuée au moyen d'un compresseur à trois phases qui permet de comprimer, en une heure, 25 mètres cubes de gaz à la pression de 100 kilogrammes.

On a adopté, suivant les voitures, des dispositions particulières pour le réservoir de gaz comprimé.

Sur le camion de 3 tonnes, le réservoir est constitué par neuf tubes en acier, disposés, ainsi que le détendeur, dans un comparti-

ment spécial situé derrière le siège du conducteur. La surface utile du plateau de ce camion est réduite, de ce fait, de 18 %, et la charge utile transportée ramenée à 2,3 tonnes, le poids de l'installation permettant l'emploi du gaz comme carburant étant de 700 kilogr. environ.

Il résulte de ces essais :

1° Que le gaz peut être employé dans les moteurs d'automobiles avec de bons résultats et sans grandes transformations des voitures;

2° Qu'il faut environ 1^{m3} 700 de gaz ayant un pouvoir calorifique de 4 700 calories pour équivaloir 1 litre d'essence.

Ces chiffres correspondent bien à ceux donnés au début de cet article.

On aurait évidemment intérêt à étudier une régulation spéciale qui supprimerait subsidiairement le carburateur, organe délicat, et à adopter un degré de compression du moteur correspondant au rendement thermique optimum du gaz.

Signalons que le gaz est actuellement employé pour les essais au banc et pour le rodage des moteurs d'automobiles en France.

On a bien fait aussi quelques essais dans les Services Automobiles de l'Armée et à la Compagnie Générale des Omnibus avec le sac anglais, mais il n'existe encore, chez nous, aucun service important et régulier d'automobiles marchant au gaz.

Espérons que les essais signalés seront poursuivis avec toute la persévérance désirable et permettront de tirer parti, dans notre pays, du gaz de houille, comme succédané sérieux de l'essence de pétrole, pour laquelle nous sommes complètement tributaires de l'étranger.

A. GREBEL,
Ingénieur-Conseil.

Nota. — Il n'est pas sans intérêt de signaler que M. Neu, développant ses considérations sur l'emploi du gaz comprimé, a montré, dans une étude intitulée : *Le respect des calories* (1), qu'on peut sagement envisager la substitution de locomotives à gaz aux locomotives à vapeur. Les approvisionnements équivalents, gaz, d'une part, charbon et eau, d'autre part, représentent respectivement, par cheval-heure, comme poids : 4 et 12 kilogr., comme encombrement : 9 contre 11^{dm3} 5.

Si le gaz à l'eau, comprimé, plus économique, conserve une supériorité au point de vue du poids de l'approvisionnement (8 kilogr.), il entraîne un plus grand encombrement (17 décimètres cubes). On pourrait cependant l'employer mélangé au gaz de houille. Pur, il pourrait être utilisé pour la propulsion de bateaux effectuant de petits parcours réguliers.

A. G.

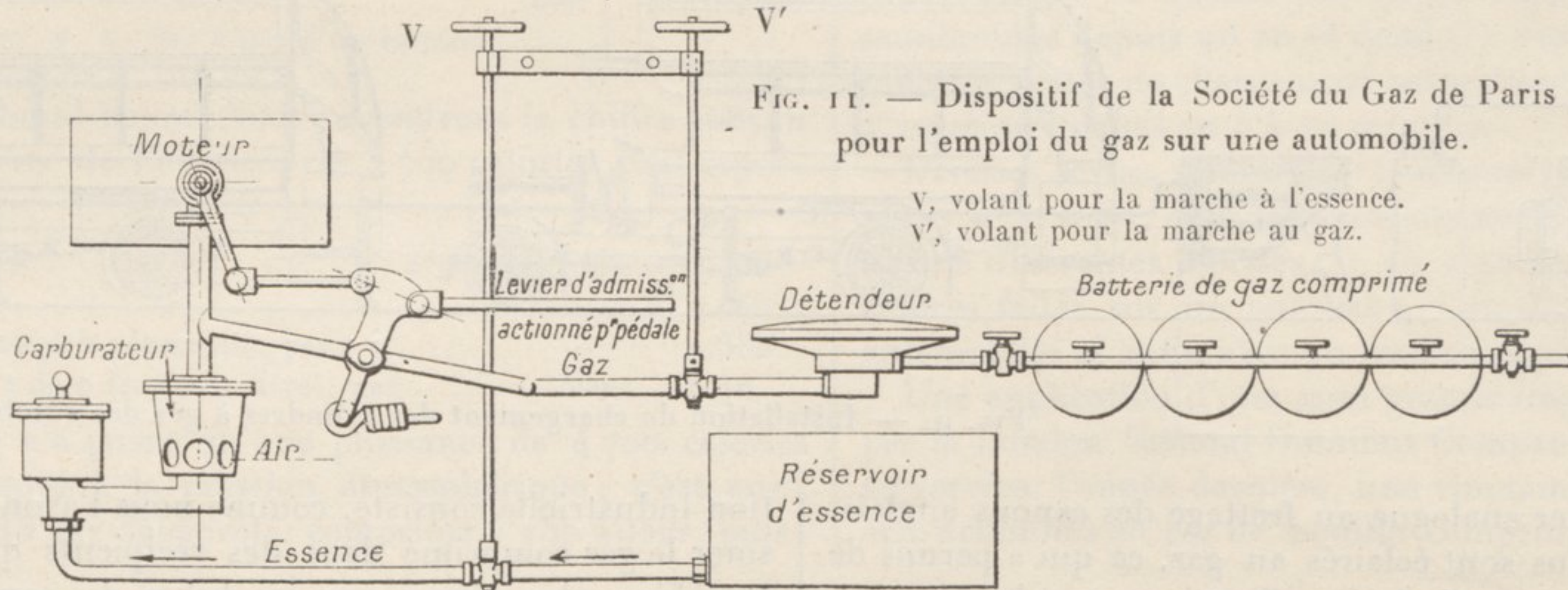


FIG. 11. — Dispositif de la Société du Gaz de Paris pour l'emploi du gaz sur une automobile.

V, volant pour la marche à l'essence.
V', volant pour la marche au gaz.