

G. SEPTEMBRE et A. LEPOIVRE

LES
GAZOGÈNES
POUR
AUTOMOBILES

PRINCIPES
—
INSTALLATION
—
CONDUITE
—
ENTRETIEN

Étienne CHIRON, éditeur
40, RUE DE SEINE
PARIS - VI^e

8, RUE RAMEAU
CLERMONT-FERRAND

G. SEPTEMBRE et A. LEPOIVRE

LES
GAZOGÈNES
POUR
AUTOMOBILES

PRINCIPES
—
INSTALLATION
—
CONDUITE
—
ENTRETIEN

Etienne CHIRON, éditeur
40, RUE DE SEINE
PARIS - VI^e

8, RUE RAMEAU
CLERMONT-FERRAND

A LA MÊME LIBRAIRIE

En préparation

ERPELDING

DONNÉES PRATIQUES
POUR
L'INSTALLATION
DES GAZOGÈNES
SUR LES
AUTOMOBILES

L'installation d'un gazogène est une opération qui a une grande importance pour le bon fonctionnement de l'appareil. Un ingénieur spécialiste expose ici tous les détails de cette opération

Prix : **20** francs, franco : **22** fr. **50**

Chèques Postaux : Paris 53-35

Etienne **CHIRON**, éditeur

40, RUE DE SEINE
PARIS - VI^e

8, RUE RAMEAU
CLERMONT-FERRAND

LES GAZOGÈNES
POUR
AUTOMOBILES

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

OUVRAGES SUR L'ELECTRICITE DANS L'AUTOMOBILE

A. B. C. de l'Allumage Delco, par Touvy	10 »
A. B. C. de l'Allumage Electrique des Automobiles, par Apolit .	10 »
Guide professionnel de l'Equipement Electrique, par Dunoyer . .	38 »
L'Allumage Delco, par Rosaldy et Touvy	8 »
La Magnéto, par Percheron	18 »
L'Equipement Electrique des Automobiles, par Rosaldy	18 »
L'Equipement Electrique expliqué, par Gory et Gielfrich	12 »
Comment soigner votre Accumulateur, par Gory et Gielfrich . .	12 »

AUTRES OUVRAGES SUR L'AUTOMOBILE

Nouveau Code de la Route	4 »
Le nouveau Code de la Route expliqué avec tableau en 5 couleurs de la signalisation routière	6 »
Guide du Candidat au Permis de conduire les automobiles, par Darman	5 »
Nouveau Manuel de l'Automobile, par Razaud	18 »
Les Pannes d'Automobile, par Razaud	18 »
A. B. C. de l'Automobile, par Razaud	10 »
Aide-mémoire pour la Recherche des Pannes, par Percheron . .	2 »
L'Automobile et son Moteur, par Grosselin	6 »
A. B. C. de la Motocyclette, par Roland Teyssier	10 »
Le moteur Dielsel expliqué par demandes et réponses, par R. Darman	18 »
Les Carburateurs modernes, par Apolit	30 »
A. B. C. du Carburateur, par Apolit	6 »
Comment installer la T. S. F. dans les Automobiles, par L. Chrétien	8 »
A. B. C. des Automobiles à gazogène	10 »
Le Croquis dans les Accidents d'Automobile et de la Circulation, par Darman	8 »

G. SEPTEMBRE et A. LEPOIVRE

LES
GAZOGÈNES
POUR
AUTOMOBILES

P R I N C I P E S
I N S T A L L A T I O N
C O N D U I T E
E N T R E T I E N

Étienne **CHIRON**, éditeur

adresse de repli :

8, Rue Rameau, Clermont-Ferrand

AVANT-PROPOS

Quand Colbert fut chargé par Louis XIV de la réorganisation de notre marine, c'est à la forêt qu'il dut s'intéresser avant toute autre chose, afin d'assurer aux chantiers de constructions navales les bois qui leur étaient indispensables.

C'est un semblable souci de notre puissance maritime qui avait inspiré au roi Charles V une importante ordonnance, considérée, en fait, comme le premier code forestier français.

Par un destin singulier, c'est encore dans la forêt tutélaire que nous avons à rechercher, aujourd'hui, sous une forme nouvelle, un des éléments essentiels de notre sécurité et de notre indépendance.

Grâce au bois de feu et à son dérivé, le charbon de bois, nous sommes désormais en mesure de produire une importante fraction de la force motrice dont nous avons besoin.

Les appareils d'utilisation bénéficient d'une technique qui a dépassé la marche empirique et spontanée de l'esprit pour atteindre, par des méthodes claires et conscientes, un but déterminé.

Le temps est révolu de ces circuits de démonstration où les distances à parcourir ne dépassaient par 100 kilomètres par jour, ce qui laissait aux retardataires en difficulté la possibilité de rejoindre le lendemain matin, au départ de l'étape suivante, les camarades que les circonstances avaient plus heureusement favorisés.

Aujourd'hui, le gazogène a fait ses preuves; on ne saurait énumérer ici les diverses lignes de transport qui fonctionnent en régime permanent avec des véhicules alimentés au gaz des forêts à l'entière satisfaction du public et des services d'exploitation.

Pour n'en citer que quelques-unes des plus caractéristiques, il suffira de rappeler le remplacement des chemins de fer économiques de la Haute-Saône par des autobus à gazogène qui circulent régulièrement depuis plus de trois années.

Dans le Sud-Ouest, de nombreuses communications interurbaines sont assurées dans les mêmes conditions. Au Mans,

D'ailleurs, est-il besoin de tels pourcentages pour justifier la faveur d'un mécanisme auprès des usagers ?

N'oublions pas que si l'on se prive d'un procédé qui représente une économie d'utilisation de 20 0/0, tout se passe comme si l'on acceptait d'être frappé d'une taxe de même importance.

**

Mais l'avenir du gazogène est conditionné par un abondant et facile ravitaillement en carburants forestiers susceptibles de répondre aux besoins des usagers.

On a disputé et l'on dispute encore des mérites respectifs du bois, du charbon de bois, des agglomérés, des mélanges de toutes sortes.

La première qualité à attendre d'un carburant, c'est d'être dès maintenant, d'un approvisionnement facile et peu coûteux, c'est d'être d'une fabrication simple, c'est de délivrer le consommateur de la crainte du lendemain.

Le bois et le charbon de bois répondent parfaitement à ces conditions et l'heure est trop incertaine pour qu'il soit permis d'attendre une éventuelle perfection avant d'utiliser les ressources qu'ils nous offrent.

On ne saurait prétendre, comme certains l'ont fait un peu légèrement, que la forêt française soit en mesure, à l'heure actuelle, de répondre à la totalité de nos besoins en carburant.

Il y a place en tout, pour chaque chose. Cependant l'équipement d'un contingent important de véhicules peut être envisagé à brève échéance et il est facile d'apprécier la répercussion heureuse qu'aura, sur notre ravitaillement et sur l'économie nationale en général, cet apport précieux dans le système de nos transports routiers.

**

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que le rendement d'un gazogène dépend, pour une large part, de la compétence et du goût de son conducteur.

Il faut absolument que celui-ci prenne conscience de l'importance du rôle qui lui est imparti. Il ne faut pas qu'il considère comme une tâche fastidieuse l'opération qui consiste à vider un cendrier, à nettoyer des épurateurs ou à allumer un foyer.

Il devra s'intéresser à un appareil dont les moindres défaillances lui deviendront sensibles, il développera ses qualités d'observation et saura bientôt se forger une mentalité

« gazogène », avec tout ce que ce mot peut évoquer de conscience professionnelle et d'esprit d'initiative.

N'oublions pas que derrière une simplicité apparente le problème de l'utilisation des carburants forestiers présentait des difficultés sérieuses qui n'ont été résolues que grâce à la confiance inébranlable en leur tâche, d'une phalange peu nombreuse d'habiles techniciens, voués parfois à l'indifférence ou à l'ironie et dénués, assez souvent, de ressources.

Ceux-là savent qu'il n'y a pas de routes royales en matière de gazogène, mais le souvenir des sentiers rocailleux donne plus de prix au chemin que l'on a parcouru.

Ce livre aura rempli son objet si, rendant témoignage de l'effort accompli et montrant les possibilités d'avenir, il réussit à associer à une cause attachante, des activités et des collaborations nouvelles.

LES GAZOGÈNES POUR AUTOMOBILES

CHAPITRE I

Introduction à l'étude des gazogènes et des moteurs au Gaz des Forêts

A. — Notions de Physique et de Chimie

1. L'AIR, L'OXYGÈNE, L'AZOTE. — Les anciens considéraient l'air comme un élément simple dénué de poids. Au XVII^e siècle, Galilée démontra que l'air est pesant en constatant l'augmentation de poids d'un récipient dans lequel il refoulait de l'air.

Un litre d'air mesuré à 0° sous la pression atmosphérique normale (1) pèse 1 gr. 293.

L'air est un mélange de deux gaz : l'*oxygène* et l'*azote*, dont les propriétés sont bien différentes. On a reconnu que 100 litres d'air contenaient 21 litres d'oxygène et 79 litres d'azote, soit une proportion d'environ 1 litre d'oxygène pour 4 litres d'azote.

L'oxygène, gaz incolore, est un élément indispensable à la vie : un animal, une plante, placés sous une cloche de verre étanche, meurent quand la provision d'oxygène est épuisée; des inhalations d'oxygène sont utilisées pour ranimer des personnes qui ont subi un commencement d'asphyxie ou d'intoxication.

L'oxygène est un peu plus lourd que l'air : 1 litre de ce gaz pèse 1 gr. 429 à 0° sous la pression atmosphérique.

(1) La pression atmosphérique normale fait équilibre à une colonne de 760 millimètres de mercure (V. § 6).

L'azote est un gaz inerte : à l'inverse de l'oxygène, il n'entretient pas la vie ; 1 litre d'azote pèse 1 gr. 250 à 0° sous la pression atmosphérique.

Nous verrons que le gaz de gazogène contient une forte proportion d'azote dont la présence influe d'une manière gênante sur la puissance du moteur.

2. MÉLANGES ET COMBINAISONS. — Lorsque plusieurs corps sont *mélangés*, comme l'azote et l'oxygène de l'air, chacun d'eux conserve les propriétés qui lui sont propres. Dans un mélange, il est possible, suivant la nature des éléments, de reconnaître les constituants à l'aide du microscope, ou bien de les séparer par différence de densité, ou par des dissolvants appropriés ou encore par évaporation, distillation, en un mot par des procédés purement physiques.

Dans une *combinaison* de deux ou plusieurs corps, le produit obtenu a des propriétés tout à fait différentes des corps constituants : ainsi, un liquide peut résulter de la combinaison d'éléments gazeux (Voir § 9, p. 22).

3. OXYDATION. COMBUSTION. — Lorsque la combinaison résulte de l'action de l'oxygène sur un autre corps, elle est appelée parfois *oxydation*; par exemple, la rouille ou *oxyde de fer* résulte de l'action de l'oxygène de l'air sur le fer; ce nouveau corps, l'oxyde de fer, n'est pas gazeux et ne présente pas la résistance du fer : *l'oxyde de fer est une combinaison de fer et d'oxygène.*

Une oxydation se produit toujours avec un dégagement plus ou moins sensible de chaleur; lorsque la chaleur est produite rapidement et en grande quantité, l'oxydation est appelée *combustion*.

Un *combustible* est donc un corps qui, en se combinant à l'oxygène de l'air, dégage une quantité de chaleur importante, susceptible d'être utilisée pour divers usages : le charbon de terre, l'essence, le bois, le charbon de bois sont des combustibles.

4. CALORIE. — La valeur d'un combustible dépendant de la quantité de chaleur qu'il peut fournir, on a dû faire choix d'une unité de quantité de chaleur : la *calorie-kilogramme* (en abrégé *cal. kg.*) ou *quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kilogramme d'eau, pour élever sa température de 1 degré, quand cette eau est à une température voisine de 15 degrés centigrades (15° C.)* (1).

(1) Inversement, pour abaisser de 1° la température de 1 kg. d'eau, il faut lui enlever 1 calorie : on dit que ce kg. d'eau fournit 1 *frigorie* au système refroidisseur.

5. TEMPÉRATURE ET QUANTITÉ DE CHALEUR. — Il importe ici de distinguer deux choses très différentes : la *température*, qui se mesure avec un thermomètre et s'exprime en degrés, et la *quantité de chaleur* qui se mesure avec un calorimètre et s'exprime en calories.

Ainsi, prenons dans un récipient 1 kg. d'eau à 15°; pour le chauffer à 20°, il faut lui communiquer 5 calories; dans un autre récipient, mettons encore 1 kg. d'eau à 15° et portons sa température à 30° en lui communiquant 15 calories. Mélangeons maintenant les 2 kg. d'eau : au bout de peu de temps, et en supposant qu'il n'y ait pas de perte de chaleur, la température se stabilisera à la température intermédiaire de 25°; on aurait pu obtenir le même résultat en chauffant 2 kg. d'eau de 15 à 25° (augmentation : 10°) et on aurait dû fournir :

$$2 \times 10 = 20 \text{ calories}$$

et précédemment on avait fourni aussi :

$$5 + 15 = 20 \text{ calories}$$

Nous concluons : *les températures ne s'additionnent pas, les quantités de chaleur peuvent s'ajouter.*

Nos sens nous permettent de constater des écarts de température soit entre deux objets, soit entre un objet et notre corps, mais sans aucune précision. Les appréciations ainsi obtenues dépendent d'ailleurs de l'humidité de l'air, du vent, de la nature des corps touchés, de l'état de notre santé (fièvre, dépression).



La mesure courante des températures est basée sur la dilatation des corps par la chaleur; on utilise principalement l'alcool et le mercure et on rend la déformation plus apparente en la faisant s'effectuer dans un tube de très petit diamètre monté ou non sur une planchette.

Pour graduer un thermomètre, on plonge l'appareil d'abord dans de la glace fondante et on marque 0 degré sur la planchette ou sur le tube en face du niveau du liquide ; on plonge ensuite l'appareil dans de la vapeur d'eau bouillante à la pression atmosphérique et on marque 100 degrés en face du niveau du liquide. L'intervalle entre les deux repères est divisé en cent parties égales, la division est prolongée au-dessous de 0 et au-dessus de 100 : on obtient ainsi l'échelle centésimale, seule employée en France. Il existe cependant d'autres échelles utilisées à l'étranger.

Les indications données par les thermomètres à alcool s'échelonnent de -120° à $+70^{\circ}$, celles des thermomètres à mercure vont de -35° à $+500^{\circ}$ (1).

Les températures des foyers de gazogènes étant considérablement plus élevées, sont mesurées avec des appareils appelés pyromètres, établis sur des principes très différents des précédents.

Les pyromètres *optiques* mettent à profit les phénomènes de rayonnement. Ils donnent une appréciation de la température au moyen de la comparaison photoélectrique de la lumière émise par une lampe étalon avec celle émise par le foyer à examiner.

Le principe des pyromètres *thermo-électriques* est fondé sur le phénomène suivant : lorsque deux baguettes de métaux différents (platine et platine iridié, ou platine et platine rhodié, ou nickel et chrome, ou fer et constantan, etc.) sont soudées l'une à l'autre en leurs extrémités, elles constituent un *couple* thermo-électrique; si l'une des soudures est chauffée, l'autre restant froide, le couple en effet est parcouru par un courant dont l'intensité varie avec l'écart de température des deux soudures. Indiquons qu'un couple platine-platine iridié permet de mesurer des températures voisines de 1.700° .

Pratiquement, les fils qui constituent le couple sont montés sur une canne avec poignée en bois et isolant en terre réfractaire.

La soudure chaude située à l'extrémité de la canne est directement introduite dans le four dont on veut mesurer la tem-

Voici quelques repères thermométriques (pour des produits purs pris sous une pression de 760 millimètres de mercure) :

Fusion de la glace	Zéro° C.
Ebullition de l'eau	100°
Fusion de l'étain	232°
— du plomb	327°
— du zinc	419° 4
— de l'aluminium	658°
— de l'argent	960° 9
— du cuivre	1.083°
— du nickel	1.452°
— du quartz	1.600°
— du platine	1.753°
Température du rouge sombre	520° à 600°
— — blanc	1.100° à 1.300°
— moyenne des flammes de gaz	1.600° à 1.800°
— de filaments de lampes élec- ques	2.400°

(1) Le zéro absolu, correspondant à -273° C, semble être la température la plus basse qu'il soit possible d'atteindre. La température la plus basse atteinte effectivement à ce jour est -272° C (fusion de l'hélium).

pérature, tandis que le reste du circuit, qui peut sans inconvénient être en cuivre, reste à la température ambiante. Un galvanomètre industriel, placé en ligne et convenablement étalonné donne, par lecture directe, la température centésimale du foyer dans lequel la soudure chaude est plongée.



Si nous approchons un corps chaud d'un corps froid, la chaleur passe du corps chaud vers le corps froid. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les corps froids n'émettent pas de rayonnement froid : si nous approchons la main d'un bloc de glace, c'est notre main qui rayonne ou cède de la chaleur et la sensation de froid que nous éprouvons n'a pas d'autre cause.

Pour élever la température d'un corps, il faut donc l'approcher d'une source de chaleur ayant une température plus élevée ou le mettre en contact avec elle. La quantité de chaleur à fournir par la source chaude pour atteindre une température déterminée est d'autant plus grande que la masse du corps à chauffer est plus importante. (Cette quantité de chaleur dépend d'ailleurs de la nature du corps à chauffer.)

Ainsi, pour faire bouillir (à 100°) 1 litre d'eau pris à 10° (écart 90°), il faut fournir 90 calories, tandis que pour porter de 10° à 50° (écart 40°) les 25 litres d'eau d'un radiateur, il faut fournir $25 \times 40 = 1.000$ calories.

Remarquons d'ailleurs, pour souligner encore une fois la différence entre les notions de température et de quantité de chaleur, qu'avec les 1.000 calories fournies aux 25 litres d'eau, on ne pourrait ni stériliser un appareil de chirurgie, ni faire cuire un œuf à la coque, ce qui serait par contre aisément obtenu avec un quart de litre d'eau à 10°

auquel on fournirait $\frac{90}{4} = 22,5$ calories : c'est qu'en effet

les microbes ne sont pas tués dans une eau à 50° et que l'albumine de l'œuf ne coagule pas à cette température.



La chaleur peut se transmettre de trois manières différentes : par *convection*, par *conduction* ou par *rayonnement* ; ces deux derniers modes sont seuls à considérer dans une installation de gazogènes.

La conduction s'opère soit dans les corps eux-mêmes, soit par contact de ceux-ci avec d'autres corps : l'extrémité d'un

ringard plongé dans un foyer s'échauffe au sein des charbons rouges et des gaz chauds, mais la chaleur se transmet dans toute la tige de métal par conduction et la poignée finit par être brûlante.

Le rayonnement consiste dans l'émission d'ondes comparables à celles qui émanent d'un corps lumineux : un foyer chauffe l'air d'une salle à la fois par convection et par rayonnement.

Tous les corps ne conduisent pas la chaleur : on appelle *calorifuges* les corps qui ne se laissent pas facilement traverser par elle : tels sont le bois, l'amianté, les textiles ; une capacité dans laquelle on a fait le vide constitue un excellent isolant.

On verra que, dans les gazogènes, il est bon de calorifuger certaines parties de l'installation, tandis que, au contraire, on doit intensifier les pertes de chaleur de certains foyers ou d'organes appelés refroidisseurs. On verra aussi l'importance de la conductibilité calorifique dans le comportement des tuyères.

6. PRESSION ATMOSPHÉRIQUE. VIDE OU DÉPRESSION. MESURE DE LA DÉPRESSION DANS UN GAZOGÈNE. — Le poids de l'air qui entoure le globe terrestre sur une épaisseur de quelques dizaines de kilomètres exerce une pression sur tous les corps baignant dans l'atmosphère.

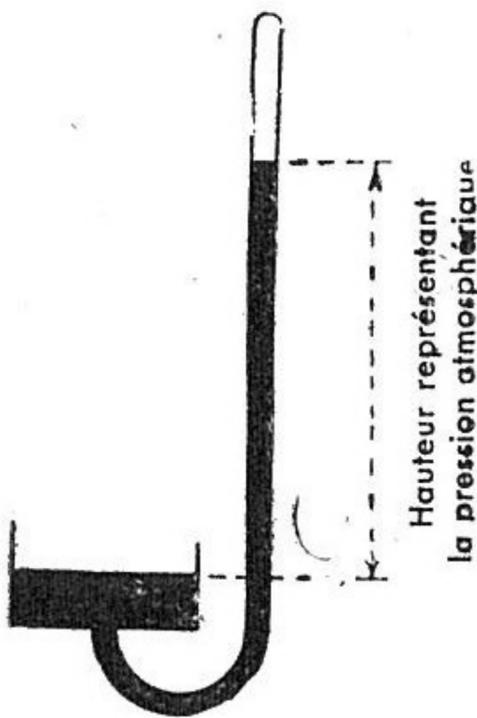


FIG. 1.

Cette pression, que l'on nomme pression atmosphérique, varie avec l'altitude du corps sur lequel elle s'exerce : elle est moins grande au sommet d'une montagne qu'au niveau de la mer, qui est généralement pris pour niveau de référence. La pression atmosphérique dépend encore de l'humidité et de la température de l'air, des conditions météorologiques.

Les variations de la pression atmosphérique sont indiquées par le baromètre à mercure ou par le baromètre métallique.

Le baromètre à mercure est constitué, en principe, par un tube recourbé (fig. 1), fermé à un bout et ouvert à l'autre ; il a été rempli de mercure en quantité suffisante, avant d'être placé dans la position indiquée ; dans cette position le mercure descend dans la branche fermée, se stabilise à un certain

niveau au-dessus duquel se forme une chambre vide d'air, tandis que la pression atmosphérique s'exerce sur le mercure de la branche ouverte : la colonne de mercure comprise entre les deux niveaux équilibre donc la pression atmosphérique.

Dans un baromètre métallique (ou anéroïde), la pression atmosphérique déforme une boîte de métal dans laquelle on a fait le vide : les déformations de la boîte sont transmises à une aiguille mobile devant un cadran gradué.

On constate, dans le baromètre à mercure, que la hauteur de la colonne est toujours voisine de 760 millimètres : on a convenu que cette hauteur de 760 millimètres de mercure correspondait à la pression atmosphérique « normale ». Le volume occupé par un gaz variant avec la température et la pression, on a été conduit à préciser que les mesures à effectuer sur un gaz (densité, pouvoir calorifique, etc.), devaient être faites à 0° sous la pression atmosphérique normale de 760 millimètres de mercure.

Une colonne de mercure de 760 millimètres de hauteur et de un centimètre carré de section pèse 1 kilo 033 : c'est pourquoi on dit fréquemment, avec une précision suffisante, que la pression atmosphérique est de 1 kilo : cm²; si, au lieu de mercure, on employait de l'eau, la hauteur de la colonne serait de 10 m. 33.

On peut donc exprimer la pression d'un gaz de différentes façons :

a) En millimètres de mercure, principalement s'il s'agit de mesurer des pressions inférieures ou très peu supérieures à la pression atmosphérique ;

b) En kilogrammes par centimètre carré, quand les pressions sont assez élevées ;

c) En millimètres d'eau quand les pressions à mesurer sont faibles : une colonne d'eau de 10 m. 33 ou 10.330 millimètres correspond à 1,033 kg. : cm²; une colonne d'eau de 1 millimètre de hauteur équivaut donc à une pression de 0 gr. 1 par centimètre carré.

Les *manomètres*, dont le baromètre est une réalisation particulière, sont des appareils destinés à mesurer les pressions : ils pourraient être à colonne d'eau ou de mercure, mais ils seraient trop encombrants; ils sont constitués, en général, par un tube fermé enroulé en spirale, communiquant par l'extrémité ouverte avec le réservoir contenant le fluide sous pression; la pression provoque une déformation de la spirale qui est transmise à une aiguille mobile devant un cadran gradué.

Considérons un gaz enfermé dans un réservoir ne communiquant pas avec l'atmosphère ; un manomètre à mercure enfermé dans le réservoir donnerait la pression « absolue » du gaz, ou pression propre du gaz. Par exemple, au moment de l'explosion, dans un moteur, la pression absolue peut s'élever à 40 kilos : cm^2 (et même plus). Mais cette pression n'est pas entièrement motrice car, sur l'autre face du piston, s'exerce la pression atmosphérique : on appelle pression effective la poussée réellement motrice, égale ici à $40 - 1 = 39$ kilos : cm^2 .

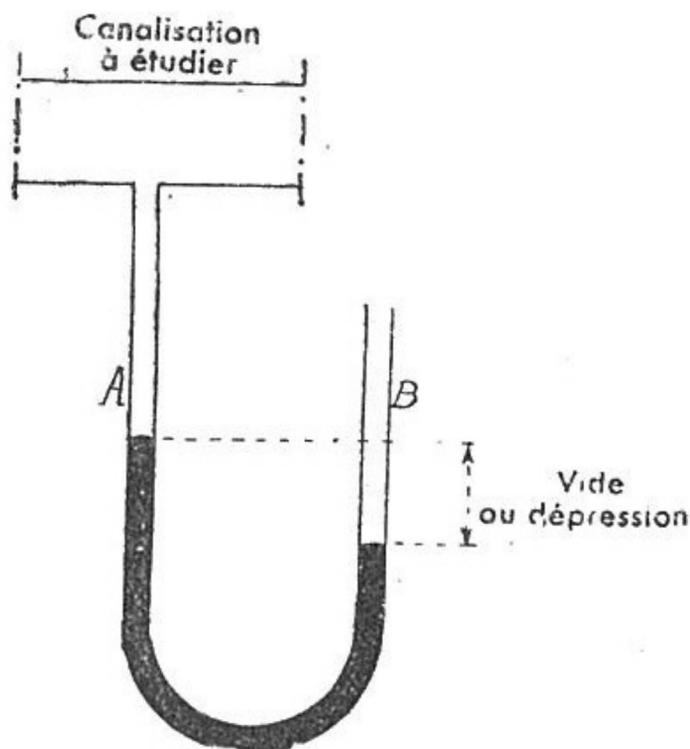


FIG. 2. — Schéma de manomètre à dépression.

Lorsque, dans le réservoir, la pression absolue est inférieure à la pression atmosphérique, on appelle *vide* ou *dépression* la différence entre la pression atmosphérique et la pression à l'intérieur du réservoir. Ainsi, pendant la course d'aspiration du moteur, le vide dans le cylindre, variable avec la vitesse de rotation, peut atteindre 600 millimètres d'eau (ou 60 gr. : cm^2 ou 44 millimètres de mercure).

C'est cette dépression qui appelle au moteur, suivant le cas, un mélange d'air et d'essence ou d'air et de gaz ; c'est elle aussi qui fait pénétrer dans un générateur de gaz l'air nécessaire à la combustion.



Dans une installation à gazogène, la dépression n'est pas la même partout. Pour la mesurer en un point déterminé, on peut réunir ce point avec l'extrémité A d'un tube en verre AB recourbé en forme de U (fig. 2) et rempli de mercure : lorsque le moteur est arrêté, le niveau est le même dans les deux branches ; quand le moteur tourne, le niveau s'élève dans A et s'abaisse dans B : la différence de niveau donne la

dépression au point étudié. Si, par exemple, on note une dénivellation de 15 millimètres de mercure, la dépression est :

$$10.330 \times 15$$

$$\frac{\quad}{760} = 205 \text{ millimètres d'eau ou } 20 \text{ gr. } 5 \text{ par}$$

centimètre carré (puisque des colonnes de 760 millimètres de mercure ou de 10.330 millimètres d'eau équilibrent la pression atmosphérique).

La différence entre les dépressions en deux points s'appelle *perte de charge* entre ces points.

On peut citer, comme provoquant des pertes de charge, les coudes, les changements de section et surtout les filtres.

La couche de combustible, la grille provoquent également une perte de charge.

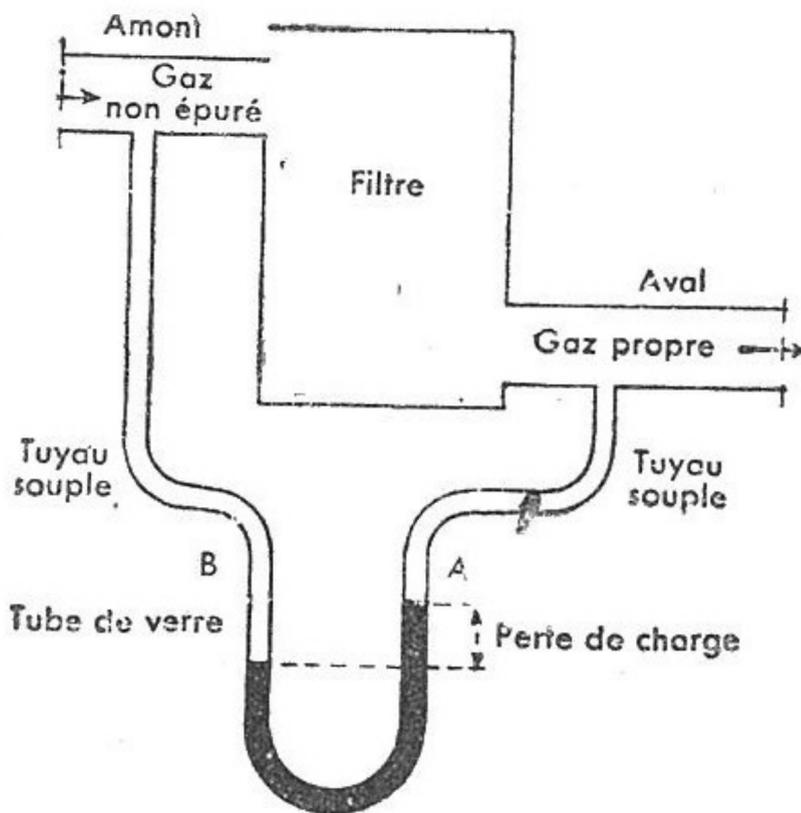


FIG. 3. — Schéma de montage pour la mesure d'une perte de charge.

Le schéma de la figure 3 montre comment on peut mesurer la perte de charge entre deux points, par exemple l'un en amont du filtre, l'autre en aval. Une perte de charge de 50 gr. : cm² est chose courante au passage du filtre. Un vide de 20 à 30 gr. : cm² dans la tuyère d'un gazogène assure une bonne marche du foyer (Gohin).

Après étalonnage (c'est-à-dire après comparaison avec un appareil similaire déjà en service) de l'appareil dont nous donnons le schéma, on peut facilement déceler le point précis où se produit une résistance anormale : corriger alors l'installation, remplacer une tuyère, modifier le filtre, etc.

On peut encore mesurer la dépression en un point de la canalisation de la manière suivante : prendre un tube de

verre de 10 m/m de diamètre environ et d'un mètre de longueur et le mettre en communication avec le point considéré à l'aide d'un tuyau de caoutchouc et d'un petit robinet fixé à celui-ci.

Le moteur étant en marche, plonger le tube de verre dans un récipient contenant de l'eau et ouvrir le robinet : on voit aussitôt l'eau monter dans le tube et, en accélérant le moteur pour le mettre à son régime régulier, on peut mesurer la hauteur maximum de l'eau dans le tube ; on obtient ainsi une valeur assez exacte de la dépression.

Pour qu'un gazogène fonctionne normalement il faut qu'il présente le moins de pertes de charge possible.

7. POUVOIR CALORIFIQUE. — On appelle pouvoir calorifique d'un combustible, la quantité de chaleur dégagée par la combustion de 1 kilo, de 1 litre ou de 1 mètre cube de ce combustible; on l'exprime en calories kilogramme par kilogramme (ce qu'on écrit en abrégé : cal. kg. : kg.) pour les combustibles solides ou liquides, parfois en cal. kg. : litre pour les liquides et en cal. kg. : m³ pour les combustibles gazeux. *Pour ces derniers, on suppose toujours que le mètre cube de gaz est pris à 0° et sous la pression atmosphérique.*

Voici les pouvoirs calorifiques de quelques combustibles :

Carbone amorphe	8.080 cal. kg. : kg.
Charbon de terre	7.000 à 8.500 cal. kg. : kg. suivant qualité.
Essence	10.500 cal. kg. : kg. ou 7.600 cal. kg. : litre.
Alcool éthylique pur	7.080 cal. kg. : kg.
Alcool éthylique dénaturé	5.900 cal. kg. : kg.
Alcool méthylique pur	5.330 cal. kg. : kg.
Gaz d'éclairage	4.500 cal. kg. : m ³ (à 0° sous la pression atmosphérique.)

8. PRODUITS DE LA COMBUSTION. — Les combustibles minéraux ou végétaux contiennent du carbone (ou charbon pur), de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote, de l'eau et des produits minéraux qui, après la combustion, formeront les cendres.

Pour amorcer la combustion d'une certaine masse de charbon, il faut allumer, c'est-à-dire chauffer au rouge un point de la masse et faire arriver de l'air sur ce point; si l'air arrive en quantité suffisante, toute la masse devient, peu à peu, incandescente, la température s'élève, puis, si on n'ajoute pas de charbon, le foyer s'éteint, il ne reste plus qu'un petit tas de cendres : la majeure partie du combustible s'est volatilisée, s'est transformée en gaz.

Nous ne considérerons, pour l'instant, que la gazéification du *carbone* ou charbon pur.

La combustion ou gazéification du carbone peut donner naissance à deux produits très différents, qu'il faut bien se garder de confondre :

le gaz carbonique ;
l'oxyde de carbone.

Lorsque, à une masse donnée de carbone, on fournit de l'air en quantité suffisante, la combustion est complète et le gaz produit est le GAZ CARBONIQUE ou ANHYDRIDE CARBONIQUE, gaz inerte incapable de brûler et, par conséquent, d'animer un moteur. En le produisant, on extrait du carbone toute la chaleur que celui-ci est capable de donner : c'est donc ce gaz que l'on cherche à obtenir dans les foyers domestiques, dans les foyers de locomotive, et que l'on retrouve dans les gaz d'échappement des moteurs à explosion.

Le gaz carbonique est incolore, d'une odeur piquante, d'une saveur légèrement aigrelette, plus lourd que l'air : 1 litre de ce gaz pris à 0° sous la pression atmosphérique pèse 1 gr. 977.

Lorsque, au contraire, le carbone incandescent est en excès par rapport à l'air, il se transforme bien en gaz, mais la combustion est incomplète et le gaz formé peut encore brûler. Ce nouveau gaz s'appelle OXYDE DE CARBONE et est capable d'actionner un moteur; C'EST CE GAZ QUE L'ON CHERCHE A PRODUIRE DANS UN GAZOGÈNE.

Il est, lui, incolore, inodore, insipide et légèrement plus léger que l'air : 1 litre d'oxyde de carbone pris à 0° sous la pression atmosphérique pèse 1 gr. 250.

Il prend naissance dans les foyers domestiques quand le *tirage*, ou appel d'air, est défectueux, et toute fuite est dangereuse car l'*oxyde de carbone* est un poison violent qui forme avec l'hémoglobine du sang une combinaison stable. Les globules sanguins chargés de distribuer l'oxygène dans l'organisme ne peuvent plus remplir leur fonction : il en résulte une véritable asphyxie. L'atmosphère est mortelle si elle contient 1 à 2 0/0 d'oxyde de carbone.

Dans un gazogène, l'oxyde de carbone est pour ainsi dire domestiqué et rendu inoffensif. Cependant, certaines précautions, que nous indiquerons, doivent être prises (Voir chapitre VI).

Il ne faudrait pas croire que la combustion du carbone donne toujours exclusivement l'un ou l'autre de ces deux gaz : généralement, ils sont tous deux produits simultanément.

ment. On ne peut guère éviter que les fumées des locomotives ne contiennent un peu d'oxyde de carbone et dans le gaz de gazogène, il peut exister un peu de gaz carbonique.

Cependant, ce dernier gaz possède une propriété intéressante : si on le fait passer, à l'abri de l'air, sur des charbons incandescents, il s'unit à une certaine proportion de carbone pour former de l'oxyde de carbone et devenir ainsi combustible : on dit que le gaz carbonique est *réduit* par le charbon.

Cette *réduction* joue un rôle de tout premier plan dans le fonctionnement du gazogène. Pour qu'elle puisse avoir lieu correctement et rapidement, il faut que le charbon soit à une température très élevée (1.100° à 1.200° au moins). On conçoit que seule la régularité de cette réduction, qui a pour but de transformer un gaz inerte en gaz actif, assure un régime de marche constant du moteur et que sa rapidité facilite les *reprises*.

Le foyer du gazogène doit donc toujours rester très vif, si l'on veut obtenir un gaz à pouvoir calorifique élevé.

Le pouvoir calorifique de l'oxyde de carbone est de 3.030 cal. kg. : m³ (1 mètre cube mesuré à 0° sous la pression atmosphérique).

9. L'EAU, un des corps les plus répandus dans la nature, existe sous trois états : solide, liquide et gazeux; rappelons quelques-unes de ses propriétés :

1° Quand l'eau est refroidie à moins de 0° C., elle se transforme en glace en augmentant de volume, et ce fait oblige les conducteurs à prendre quelques précautions en hiver, pour protéger les radiateurs (1) ;

2° Comme tous les corps, l'eau se dilate quand on la chauffe; par conséquent, 1 litre d'eau chaude pèse moins que 1 litre d'eau froide; cette remarque explique le fonctionnement du thermo-siphon (circulation d'eau de refroidissement autour du moteur) (1) ;

3° A l'air libre, l'eau s'évapore, se transforme en vapeur; ce phénomène de l'*évaporation* est sensible l'été surtout. Si l'eau est activement chauffée, sa transformation en vapeur, ou *vaporisation*, est rapide; si, d'autre part, on refroidit cette vapeur, elle revient à l'état liquide. On peut s'en rendre compte en plaçant un objet froid au-dessus d'un vase contenant de l'eau bouillante; l'objet froid se recouvre de gouttes d'eau; on dit que la vapeur s'est *condensée*.

(1) Voir *Le livre de l'Automobiliste*.

La condensation, à laquelle sont soumises toutes les vapeurs, explique les difficultés qu'on rencontre l'hiver pour lancer un moteur à essence : les produits volatils de l'essence se condensent sur les parois de la canalisation d'admission et du cylindre qui sont froids et le gaz admis, devenu trop pauvre, ne produit pas d'explosion. (Pour faciliter le départ, on peut procéder comme suit : vidanger le radiateur et faire le plein d'eau très chaude; faire chauffer les bougies; réchauffer le tuyau d'admission avec une brique chaude ou un fer à repasser.)

La vapeur d'eau est invisible; on ne voit pas la vapeur d'eau contenue dans l'air d'une salle, mais s'il fait froid dehors, les vitres se recouvrent d'une buée formée par la condensation de la vapeur d'eau existant à l'intérieur; si on verse de l'essence sur le parquet, l'odeur se répand dans toute la salle, mais on ne voit pas la vapeur d'essence; si on crée un courant d'air, la vapeur d'essence est entraînée, car la vapeur est intimement mélangée à l'air.

Pour séparer une vapeur d'un gaz, il faut d'abord la condenser ;

4° On a reconnu que l'eau était formée par la combinaison de deux gaz, ce que l'on peut mettre en évidence de la façon suivante :

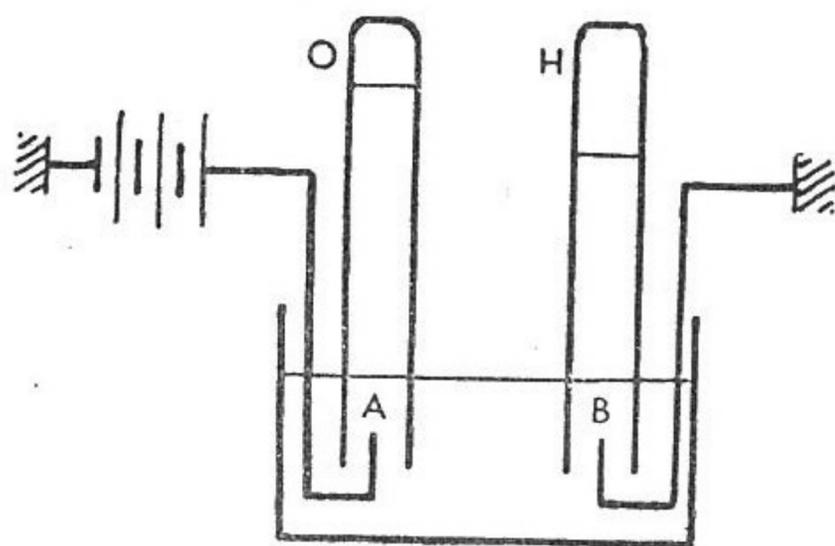


FIG. 4. — Schéma de montage pour la décomposition de l'eau.

Sur une cuvette pleine d'eau, on renverse deux éprouvettes (c'est-à-dire deux longs vases en verre) entièrement pleines d'eau et, sous chacune d'elles, on fait arriver un fil réuni aux bornes d'une batterie d'accumulateurs (l'eau est légèrement acidulée, pour réduire la résistance au passage du courant).

Dès que le courant passe, des bulles de gaz apparaissent sur les fils, en A et en B, puis montent en haut des éprouvettes. On constate que le volume du gaz dans l'éprouvette H est double du volume du gaz dans l'éprouvette O (fig. 4).

Retirons les éprouvettes et dans chacune d'elles introduisons un charbon rouge. Dans l'éprouvette O, le charbon continue à brûler, son éclat se ravive même; le gaz de cette éprouvette, qui entretient la combustion, est de l'oxygène. Dans l'éprouvette H, le charbon noircit, le gaz qu'elle contient est de l'hydrogène. Renversons cette éprouvette H et approchons une flamme de l'ouverture : le gaz brûle très rapidement avec l'oxygène de l'air ; on constate d'ailleurs qu'un corps froid (assiette, tôle), tenu près de l'ouverture de l'éprouvette pendant la combustion, se recouvre de gouttelettes d'eau.

L'hydrogène est donc un corps combustible (1) qui, en brûlant avec l'oxygène de l'air, forme de la vapeur d'eau et dégage une grande quantité de chaleur. D'après la remarque 3°, on conçoit que si la vapeur d'eau est condensée, la chaleur fournie par l'hydrogène est plus grande que si la vapeur reste à l'état de vapeur. Le pouvoir calorifique inférieur de l'hydrogène, c'est-à-dire avec production de vapeur non condensée, est de : 2.590 cal. kg. : m³.

C'est le plus léger de tous les gaz : 1 litre d'hydrogène pris à 0° et à la pression atmosphérique pèse 0 gr. 0898, c'est-à-dire quatorze fois et demie moins que l'air.

10. DISSOCIATION DE LA VAPEUR D'EAU. — L'hydrogène, en brûlant, dégage une grande quantité de chaleur et donne de la vapeur d'eau. Inversement, si l'on fait passer de la vapeur d'eau sur des charbons incandescents, elle est dissociée ou décomposée : l'hydrogène est libéré tandis que l'oxygène s'unit au carbone pour former de l'oxyde de carbone. La dissociation de la vapeur d'eau absorbe de la chaleur; elle ne peut se produire que si le foyer est très chaud (1.100 à 1.200° au moins).

11. GAZOGÈNE. — Un gazogène est un appareil destiné à transformer un combustible solide en combustible gazeux.

La connaissance des principes qui viennent d'être exposés permettra de mieux comprendre le processus de cette transformation.

Le gazogène doit tendre :

a) À produire le plus d'oxyde de carbone possible, donc à réduire en oxyde de carbone le gaz carbonique qui a pu se former ;

(1) Cette propriété explique pourquoi il est imprudent de s'éclairer avec une lampe à flamme nue pour examiner une batterie d'accumulateurs en charge : le passage du courant décompose l'eau acidulée et l'hydrogène qui se dégage peut s'enflammer.

b) A dissocier la majeure partie de l'eau que le combustible peut contenir.

Le gaz produit contient naturellement beaucoup d'azote, puisque ce n'est pas de l'oxygène pur qui entre en jeu, mais de l'air qui n'en contient que 21 0/0 en volume.

Si le combustible était du carbone pur et sec, si l'air était également sec et si, enfin, le gazogène était parfait, le gaz obtenu serait formé de 1/3 d'oxyde de carbone et de 2/3 d'azote, et le pouvoir calorifique serait de

$$\frac{3.030}{3} = 1.010 \text{ cal. kg. : m}^3$$

Ce simple calcul met en relief l'influence nuisible de l'azote. Mais le combustible, bois ou charbon de bois, et l'air contiennent toujours de l'eau dont la dissociation se fait sans introduction d'azote, de sorte qu'en réalité le pouvoir calorifique du gaz de gazogène est d'environ 1.200 cal. kg. : m³. Nous préciserons plus loin sa valeur (Voir § 28 et § 35).

12. LE GAZ DES FORÊTS (1). — On appelle ainsi le gaz produit en partant du bois ou du charbon de bois. Formé essentiellement d'oxyde de carbone, d'hydrogène et d'azote, il est combustible et peut être utilisé dans des moteurs, après avoir été additionné de l'air nécessaire à sa combustion.

L'intérêt de l'emploi du Gaz des Forêts sera mis en relief au paragraphe 23.

13. COMPRESSION D'UN GAZ. — Quand on manœuvre rapidement une pompe à air pour gonfler un pneumatique, on constate que le cylindre de métal s'échauffe; ce fait est général : quand on comprime un gaz, c'est-à-dire quand on réduit son volume, on augmente non seulement sa pression, mais aussi sa température.

14. ECHAUFFEMENT D'UN GAZ ; AVANCE A L'ALLUMAGE. — Inversement, si on chauffe un gaz sans lui laisser la possibilité de se dilater, sa pression monte.

Dans la théorie du moteur à explosion, on suppose tout d'abord que la combustion du mélange air-essence ou air-gaz se fait en un temps nul quand le piston passe exactement au point mort haut : la combustion du mélange dégage une grande quantité de chaleur et la pression croît brusquement.

(1) Cette appellation est due à M. le professeur COUPAN, membre de l'Académie d'Agriculture, qui l'a proposée au Congrès de Blois en 1925.

Si le moteur n'était pas lancé, aucun mouvement ne se produirait, la bielle et la manivelle étant en ligne droite, mais comme le moteur est lancé, le piston dépasse le point mort et il reçoit une vive impulsion.

Or, la durée de la combustion n'est pas nulle et quand la combustion se termine, le piston a déjà parcouru une partie de sa course et l'on conçoit que, à cause de la durée de la combustion, la pression d'explosion est plus faible que si le phénomène avait lieu à volume constant. Pour rapprocher cette pression de la pression théorique, on provoque l'allumage *avant* le passage du piston au point mort, de façon que l'explosion se termine peu après le passage en ce point.

15. DÉTENTE D'UN GAZ. — Ouvrons la valve d'un pneumatique gonflé : le pneu s'aplatit, la pression baisse, on dit que le gaz se détend, c'est-à-dire que l'ouverture de la soupape de la valve lui permet d'occuper un volume plus grand ; la main, placée dans le jet, reçoit une impression de froid : la détente d'un gaz est donc accompagnée de son refroidissement. Si le gaz qui se détend contient de la vapeur d'eau, le refroidissement dû à la détente en produit la condensation : cette remarque trouvera son application un peu plus loin.

B. — Principes de mécanique

16. FORCE. — Aucun corps ne peut, de lui-même, modifier son état de repos ou son état de mouvement.

On appelle *force* toute cause capable de mettre en mouvement un corps au repos ou, si le corps est en mouvement, toute cause capable de rendre ce mouvement plus lent ou plus rapide.

On conçoit donc que les forces puissent être motrices ou résistantes. Par exemple : la force musculaire, la force d'expansion des gaz, sont des forces qui sont tantôt motrices, tantôt résistantes ; le frottement qui gêne le glissement d'un corps sur un autre, la résistance de l'air à l'avancement d'une voiture sont des forces résistantes.

Pour mesurer les forces, on les compare à l'une d'elles, la pesanteur. Le poids d'un corps qui, en effet, représente l'influence exercée par la terre sur lui, est une force qui nous est des plus familières. Il est particulièrement aisé de vérifier l'égalité ou la différence de deux poids.

L'unité de force est le kilogramme (kg.). On dira, par exemple, que pour déplacer une voiture pesant 1.000 kilos,

il faut exercer une poussée de 16 kilos environ. Cet effort sert à vaincre la résistance du sol et les frottements des arbres dans leurs paliers.

17. TRAVAIL. — On dit qu'une force produit du travail quand elle a vaincu une résistance. La notion de *travail* associe intimement les idées de force et de déplacement. Par exemple, une poussée de 10 kilos sur une voiture de 1.000 kilos est insuffisante pour déplacer la voiture : cette force ne produit aucun travail.

Il y a encore production de travail si l'effet de la force a été un changement de vitesse, ou encore une déformation du corps sur lequel la force agit.

Nous définirons le travail simplement en prenant le cas particulier où une force produit le déplacement d'un corps dans la même direction qu'elle. On conçoit que le travail soit d'autant plus important que la force est plus grande et que le chemin parcouru est plus long. En mécanique, on appelle *travail d'une force* le produit de cette force (en kg.) par le chemin parcouru (en mètres), lorsque le déplacement se produit dans la direction de la force.

L'unité de travail est le *kilogrammètre* (kgm.), travail d'une force de 1 kg. qui déplace le corps auquel elle est appliquée, de 1 m. dans sa direction :

$$1 \text{ kgm.} = 1 \text{ kg.} \times 1 \text{ m.}$$

Ainsi, en déplaçant la voiture de 4 mètres, on a développé un travail de :

$$16 \times 4 = 64 \text{ kgm.}$$

18. PUISSANCE. — Confions à un homme robuste la tâche de monter 500 kg. de briques, par exemple à 4 m. de hauteur. A chaque montée, il pourra sans peine transporter 25 kg.; un jeune manœuvre ne pourra, sans fatigue, emporter plus de 5 kg. par montée. Quand tous deux auront terminé leur mission, ils auront effectué le même travail :

$$500 \text{ kg.} \times 4 \text{ m.} = 2.000 \text{ kgm.}$$

mais l'homme a fourni ce travail en cinq fois moins de temps que le jeune manœuvre qui, à chaque montée, emporte une charge cinq fois plus faible. On dit que l'homme est plus *puissant* que le jeune manœuvre. De même, de deux moteurs fournissant le même travail, le plus puissant est celui qui effectue ce travail dans le moins de temps : *c'est le temps qui détermine la notion de puissance.*

On appelle *puissance d'un moteur* et non *force d'un moteur* le travail que ce moteur fournit en une seconde; on l'évalue en *chevaux* : 1 cheval (1 CV) correspond à un travail de 75 kgm. par seconde (1).

Exemple : On a pu mesurer la résistance opposée par l'air à l'avancement des véhicules : insignifiante si la voiture avance lentement (par exemple, si on la pousse à la main), elle augmente très rapidement avec la vitesse; ainsi, on a constaté que cette résistance quadruplait quand on passait d'une vitesse à une vitesse deux fois plus grande.

Admettons que, à la vitesse de 72 km.-heure, cette résistance soit de 64 kg. pour la voiture de 1.000 kg. déjà considérée.

La résistance totale à vaincre comprend :

16 kg. pour la résistance opposée par le roulement sur le sol.

64 kg. pour la résistance de l'air, soit en tout :

80 kg. (force).

Comme le chemin parcouru en une heure est égal à 72 km. ou 72.000 m., le travail *utile* fourni par le moteur est, en une heure :

$$\begin{array}{rcl} \text{Force} \times \text{chemin parcouru} & = & \text{travail.} \\ 80 \times 72.000 & = & 5.760.000 \text{ kgm.} \end{array}$$

En une seconde, le travail fourni est 3.600 fois moindre (1 h. = 60 min. \times 60 = 3.600 secondes) ou :

$$\frac{5.760.000}{3.600} = 1.600 \text{ kgm. par seconde (puissance).}$$

$$\text{ou } \frac{1.600}{75} = 21 \text{ CV environ (puissance).}$$

19. RENDEMENT ORGANIQUE DE LA TRANSMISSION. — Nous venons de parler du travail *utile* fourni par le moteur; c'est que, en effet, le moteur doit, outre les résistances opposées par le sol et par l'air, vaincre encore les résistances de frottement présentées par les organes de transmission : on appelle *rendement organique de la transmission*, la fraction de la puissance du moteur qui est disponible pour l'avancement de la voiture; on peut l'évaluer à 80 0/0 environ, de

(1) On emploie souvent comme unités de puissance, le *watt*, l'hectowatt et le kilowatt :

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ watts} = 7,36 \text{ hW} = 0,736 \text{ kW.}$$

sorte que la puissance du moteur à placer sur la voiture doit être $\frac{21}{0,80} = 26 \text{ CV}$ (1).

Nous aurons à parler du rendement en de multiples circonstances. Il convient de noter qu'un rendement, quel qu'il soit, est toujours inférieur à 1.

20. EQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CALORIE. — Considérons le mélange air-gaz comprimé dans la chambre de combustion d'un moteur. La combustion de ce mélange met en liberté un certain nombre de calories, la température du gaz augmente considérablement, ainsi que la pression (Voir § 14, p. 25) et le piston est chassé dans le cylindre : la force expansive du gaz provient ainsi de la chaleur et comme elle produit du travail, on voit que l'on peut transformer la chaleur en travail.

Les physiciens ont reconnu que : *une calorie pouvait produire environ 425 kgm.* Ce nombre est appelé *équivalent mécanique de la calorie.*

21. CHEVAL-HEURE. EQUIVALENT CALORIFIQUE DU CHEVAL-HEURE. — Le cheval-heure (CV H) est le travail qu'un moteur d'une puissance de 1 CV produit en 1 heure ou 3.600 secondes. 1 CVH représente donc $75 \times 3.600 = 270.000 \text{ kgm.}$ qui correspondent à

$$\frac{270.000}{425} = 635 \text{ calories (2).}$$

(1) Quand un moteur est construit, il est essayé au banc : on lui fait entraîner par exemple une dynamo de rendement connu. Une simple lecture sur des appareils de mesures électriques permet de calculer la puissance de la dynamo. La puissance du moteur est égale au quotient de la puissance de la dynamo par son rendement. Pour la voiture essayée, la puissance au banc (ou au frein) devrait être de 26 CV au moins.

Remarquons que les constructeurs de voitures de ce poids et atteignant la vitesse envisagée, annoncent des moteurs de 6 à 8 CV. Cela provient de ce que, il y a quelques années, les voitures supportaient un impôt calculé sur une puissance déterminée à l'aide d'une formule désuète, qui ne correspond plus avec la connaissance que nous avons actuellement des moteurs à explosion.

On ne peut guère donner de règle pour calculer la puissance réelle d'un moteur connaissant sa puissance *fiscale.*

(2) Il existe d'autres unités de travail fréquemment utilisées, telles que le watt-heure (Wh), l'hectowatt-heure (hWh), le kilowatt-heure (kWh). On passe aisément de l'une à l'autre car 1 hWh vaut 36.720 kgm.

Ce nombre est appelé *l'équivalent calorifique du cheval-heure*.

Ainsi, le moteur de la voiture, considérée plus haut, transformerait en travail, par heure :

$$26 \times 635 = 16.510 \text{ calories.}$$

22. RENDEMENT THERMIQUE D'UN MOTEUR. CONSOMMATION. — Un moteur ne peut malheureusement pas transformer en travail utile toutes les calories qu'il reçoit : une certaine partie du travail fourni par la combustion sert à actionner divers organes auxiliaires (pompes à huile et à eau, dynamo, magnéto, etc.) ou à vaincre des frottements; d'autre part, les gaz d'échappement et l'eau de refroidissement emportent de la chaleur qui ne produit aucun travail. On appelle *rendement thermique du moteur* ou *rendement effectif* (1) la fraction de la chaleur contenue dans le carburant qui est transformée en travail utile.

On évalue le rendement moyen d'un bon moteur à essence à 0,26 environ, c'est-à-dire aux 26 centièmes de la chaleur dégagée dans les cylindres. Il faudrait alors fournir au moteur

déjà étudié : $\frac{16.510}{0,26} = 63.733$ calories par heure. L'essence

ayant un pouvoir calorifique moyen de 7.600 cal. kg. : litre,

la consommation horaire serait $\frac{63.733}{7.600} = 8,4$ l. environ (2),

et comme la voiture parcourt 72 km.-heure, la consommation aux 100 km. serait $\frac{8,4 \times 100}{72} = 11,7$ litres.

Nous reviendrons plus loin (Voir § 113, p. 121) sur la question du rendement d'un moteur alimenté par un gazogène.

(1) Le lecteur doit être mis en garde contre une expression familière qui prête à confusion. On dit souvent : le moteur ne « rend » pas : il faut entendre par là que le moteur développe une puissance moindre que d'habitude ; l'expression « le moteur ne tire pas », tout aussi familière, paraît plus heureuse car elle ne prête pas, comme la première, à la confusion du rendement et de la puissance, qui sont des choses absolument différentes.

(2) La consommation par CVH serait $\frac{8,4}{26} = 0,32$, soit un tiers de litre d'essence.

CHAPITRE II

Les carburants forestiers

23. LA FORÊT FRANÇAISE couvre 10.500.000 hectares, c'est-à-dire à peu près $1/5$ de la superficie du territoire métropolitain.

La France, qui est un des pays les plus boisés d'Europe, possède quelques régions de grandes forêts : les Landes, les Vosges, le Jura, les Alpes, les Pyrénées, le Morvan, la Normandie, les Ardennes. Elle possède également de nombreuses forêts de moindre étendue, réparties dans toutes les régions, de sorte qu'on peut aisément trouver un peu partout du bois à des conditions avantageuses.

Le bois a perdu de sa valeur par la généralisation des constructions en fer et en béton, par l'emploi d'essences exotiques en ébénisterie; l'utilisation des carburants forestiers pourrait améliorer considérablement la situation des populations forestières et contribuer à la revalorisation d'une de nos grandes richesses nationales.

Les amis des arbres peuvent d'ailleurs être rassurés : il n'est pas question d'exploiter abusivement nos belles forêts, mais d'en faire une exploitation raisonnée et bienfaisante. Actuellement, on tire surtout parti des *bois d'œuvre* destinés à la charpente, à la menuiserie, à l'ébénisterie, à diverses industries (mines, chemins de fer, papeteries, etc.).

Les *bois de feu*, branchages, houppiers, déchets de débit ou de travail, trouvent peu d'acquéreurs; la production annuelle en bois de feu est évaluée à environ 30 millions de stères de bois de feu, dont plus de 12 millions sont à peu près inutilisés.

Ce sont ces laissés pour compte qu'il s'agit surtout de convertir en carburants propres à l'alimentation des moteurs. Leur emploi encouragerait à reboiser des terrains de culture difficile et donnerait du travail à de nombreux chômeurs ; outre la création d'une nouvelle richesse, on pourrait, par

le reboisement, assainir le climat de certaines régions, régulariser le débit des cours d'eau, et mettre fin à des inondations catastrophiques.

Utiliser les carburants forestiers, c'est diminuer la sortie de l'or nécessaire à solder nos achats d'essence à l'étranger. C'est aussi, pour l'usager, réaliser une bonne affaire, comme nous le montrerons plus loin.



Le bois peut être employé sous sa forme naturelle (bois cru) ou transformé en charbon de bois. Le charbon roux, les agglomérés sont deux formes récentes des carburants forestiers, qui semblent, surtout en ce qui concerne ces derniers, appelées à un grand développement dans un avenir prochain.

A. — LE BOIS

24. ESSENCES. — Tous les bois peuvent être utilisés. Il faut distinguer les bois « *feuillus* » à larges feuilles, des bois *résineux* dont les feuilles affectent la forme d'aiguilles (feuilles aciculaires).

Les bois *feuillus* comprennent :

Des bois *durs* (charme, chêne, orme, frêne, hêtre, etc.) ;

Des bois *tendres* (peuplier, bouleau, érable, aulne, platane, etc.) ;

Des bois *fins* (noyer, merisier, poirier, buis) ; ces derniers ne fournissent, en bois de feu, qu'un tonnage très réduit.

Les bois *résineux* les plus répandus sont : le pin, le sapin, l'épicéa, le mélèze.

Tandis que les bois *durs* s'allument et se consomment assez lentement, les bois *tendres* et *résineux* s'enflamment vite et disparaissent rapidement ; les premiers donnent donc une marche économique, les seconds facilitent les reprises.

D'autre part, les bois *durs* étant plus lourds que les bois *tendres* et que les *résineux* (Voir § 28, p. 34), ils assurent, pour un même volume de trémie, un plus grand rayon d'action. Suivant le service demandé au véhicule ou simplement au moteur, et suivant le ravitaillement dont on dispose, on a intérêt à faire des mélanges des diverses essences.

Les bois de démolition (charpente, menuiserie, traverses de chemin de fer) peuvent être utilisés après enlèvement des ferrures, pierres ou gravats qui pourraient former des mâchefers préjudiciables à la bonne marche des gazogènes.

25. BOIS VERT, BOIS SEC, SÉCHAGE. — Le bois vert, fraîchement abattu est d'un emploi peu recommandé : la forte proportion d'eau qu'il contient, qui peut dépasser 50 0/0 et atteint fréquemment 40 0/0, rend l'allumage pénible et donne un gaz humide dont nous verrons plus loin les inconvénients. Il est préférable de faire sécher le bois, de façon à amener la proportion d'eau à moins de 20 0/0.

Dès l'abattage, on opère un triage : les menus bois (moins de 2 cm. de diamètre) sont mis en fagots, les rondins de 2 à 6 ou 7 cm. sont coupés à la longueur de 66 cm. (*charbonnette*) ; les plus grosses branches sont fendues en deux ou en quatre (quartelage).

Les bois sont mis en tas sur des traverses, de façon à empêcher la moisissure des bûches inférieures au contact du sol ; ils sèchent ainsi pendant six à huit mois.

On peut débiter le bois vert en petits morceaux ; le bois débité est laissé en couches de 70 à 80 cm. sur des planchers ajourés ; de temps en temps on remue le tas à la fourche, pour activer le séchage ; on peut aussi le loger dans des sacs en filet à larges mailles de jute ou de corde de papier. Les sacs sont suspendus et le séchage est rapide.

Pendant la période de séchage, la pluie ne peut avoir que d'heureux effets en diluant la sève qui contient la majeure partie de l'eau de constitution du bois ; après une pluie, le bois doit être aéré, afin d'éviter la moisissure ou piquage, le bois piqué perdant beaucoup de sa valeur.

26. USAGES COMMERCIAUX. — L'unité normale de volume pour la vente des bois de chauffage est le stère qui correspond à 1 mètre cube.

Cette unité est moins employée dans les centres forestiers que la corde, dont les dimensions varient suivant les régions et peuvent être, par exemple :

Longueur : 5 m. 33.

Largeur : 0 m. 66.

Hauteur : 0 m. 70 à 0 m. 74.

Le volume de la corde équivaut, en moyenne, à 2,5 stères.

La corde normale contient trois sortes de bûches dans les proportions suivantes :

Menu : 20 0/0.

Charbonnette : 30 0/0.

Rondins sciés : 50 0/0.

27. DÉBIT ET STOCKAGE. — Les constructeurs de gazogènes insistent pour que les morceaux de bois-carburant ne dépassent pas certaines dimensions : les plus gros ne doivent

pas avoir plus de 7 à 8 cm. d'arête. La régularité des formes et des dimensions n'est pas à rechercher : les menus morceaux s'allument rapidement et favorisent les reprises, les plus gros donnent une marche économique. Suivant le service demandé au moteur et suivant les possibilités de ravitaillement, il peut être avantageux de faire des mélanges de diverses essences débitées en divers calibres; si le mélange devait comporter une forte proportion de chêne, ce bois serait débité en morceaux de 5 à 6 cm. au plus.

Il est indispensable de suivre les indications qui précèdent, données par la plupart des constructeurs : les très petits morceaux se tassent et l'activité du foyer, difficilement traversé par l'air, se ralentit; si, d'autre part, certaines dimensions dépassent le maximum fixé, la descente du bois est irrégulière, il se forme des voûtes et la marche du moteur est troublée.

Le débit du bois se fait au moyen de scies qui le découpent à la longueur voulue, et de fendeuses; ces machines sont généralement automatiques (scie Gloppe, par exemple).

Le *bois déchiqueté* est obtenu à l'aide de volants munis de couteaux dont la tranche est présentée obliquement aux fibres : l'échantillon obtenu coupé en « sifflet » présente une arête mince qui facilite l'allumage. La superdécoupeuse J. D., de la Société des Carburants Forestiers Champenois, la découpeuse de Romanet, la serpe-hélice Salomon, donnent d'excellents résultats en opérant sur du bois vert.

Dans la grande majorité des cas, les agriculteurs (car, comme nous le montrerons au § 36, le bois est pour eux d'un emploi tout indiqué) peuvent, pendant la mauvaise saison, préparer sur place, leur provision de bois pour la campagne suivante. L'achat en commun d'un appareil à débiter le bois assurera un prix de revient très réduit du combustible.

Le bois débité est stocké, comme il vient d'être indiqué, à l'abri de la pluie; en tenant compte de la densité donnée ci-après et de l'épaisseur de la couche, on peut stocker environ :

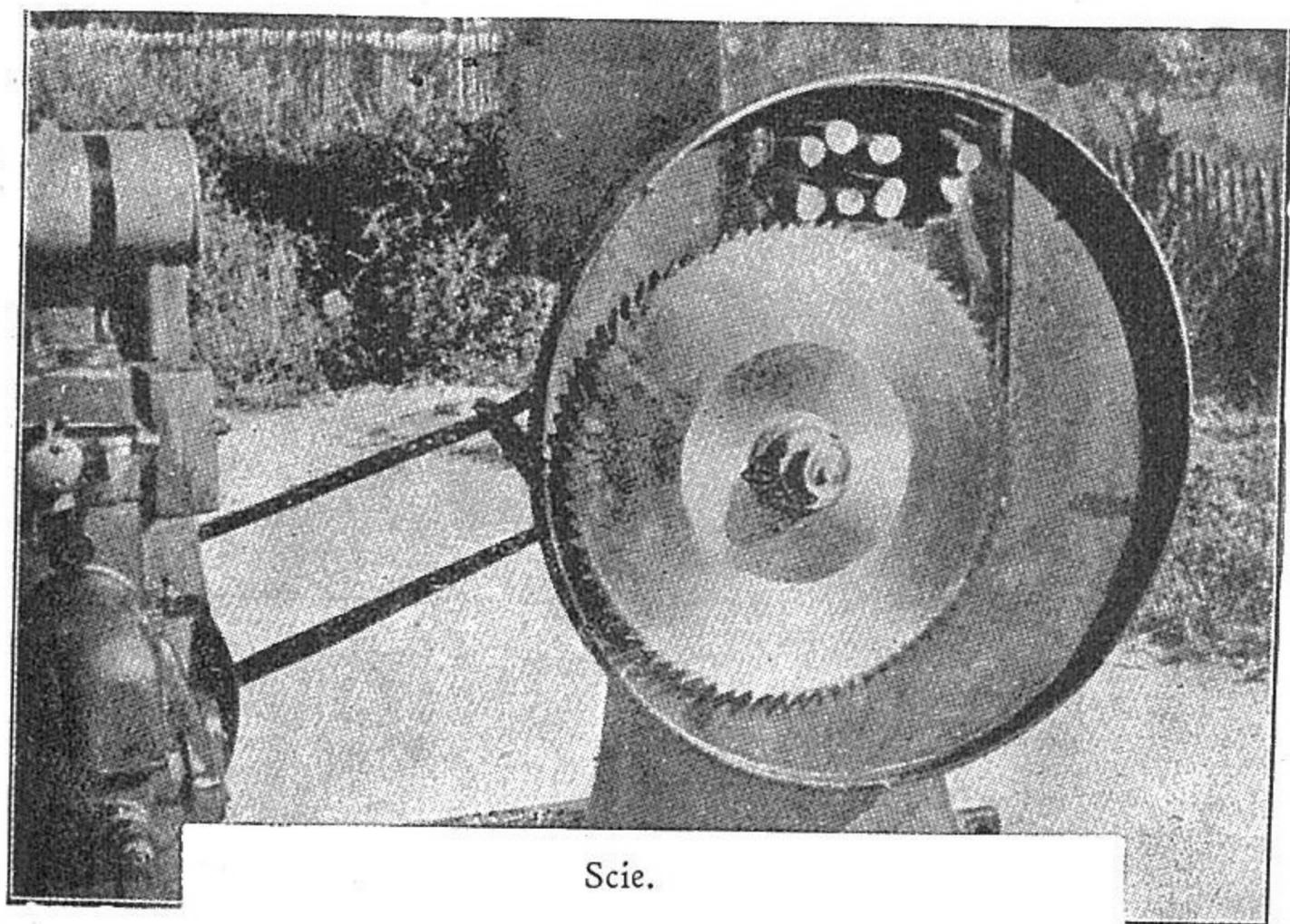
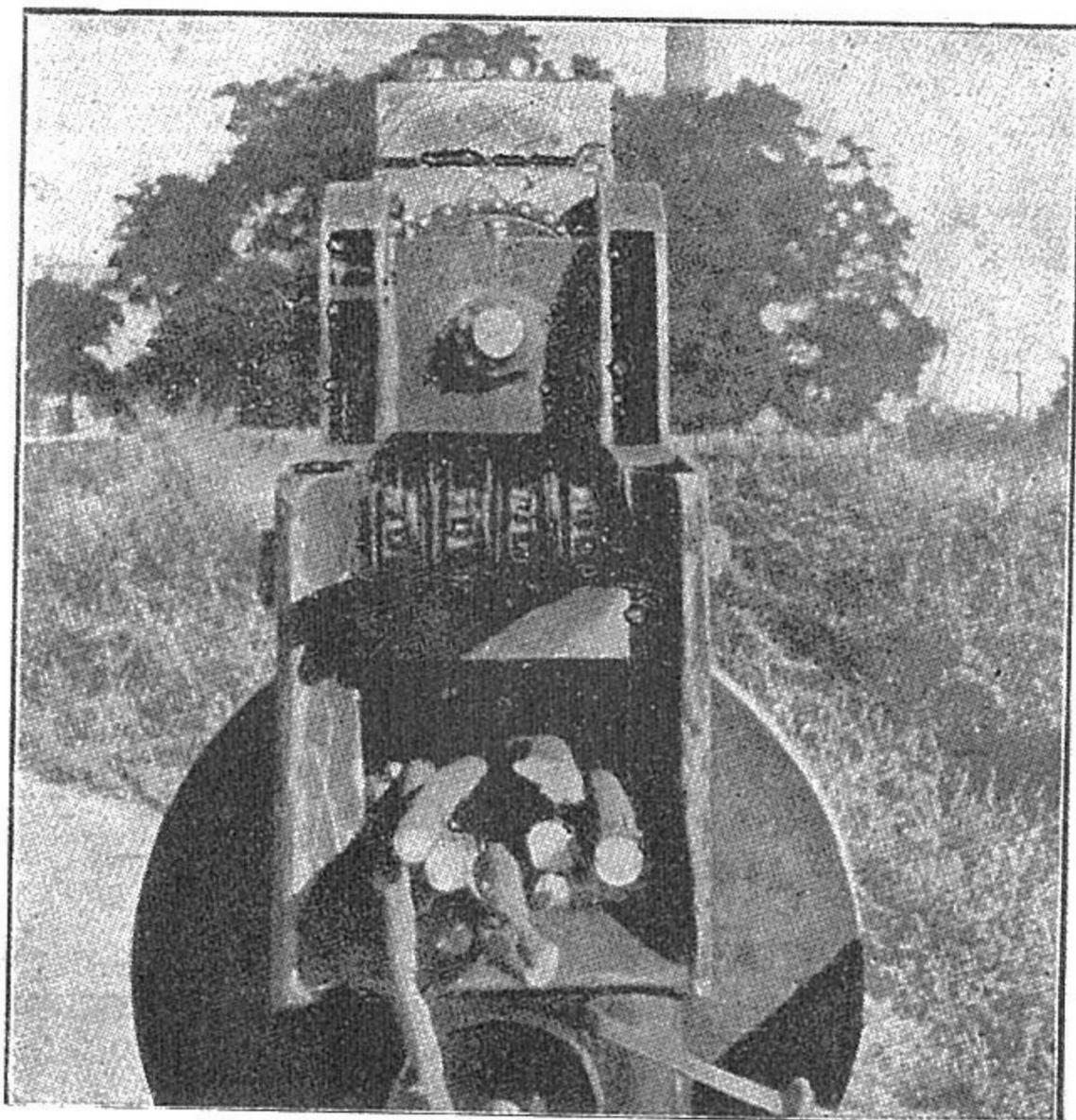
$$300 \text{ kg.} \times 1 \text{ m}^2 \times 0 \text{ m. } 80 = 240 \text{ kg.}$$

par mètre carré de plancher; le bois est ensuite livré dans le commerce en sacs de papier ou de jute.

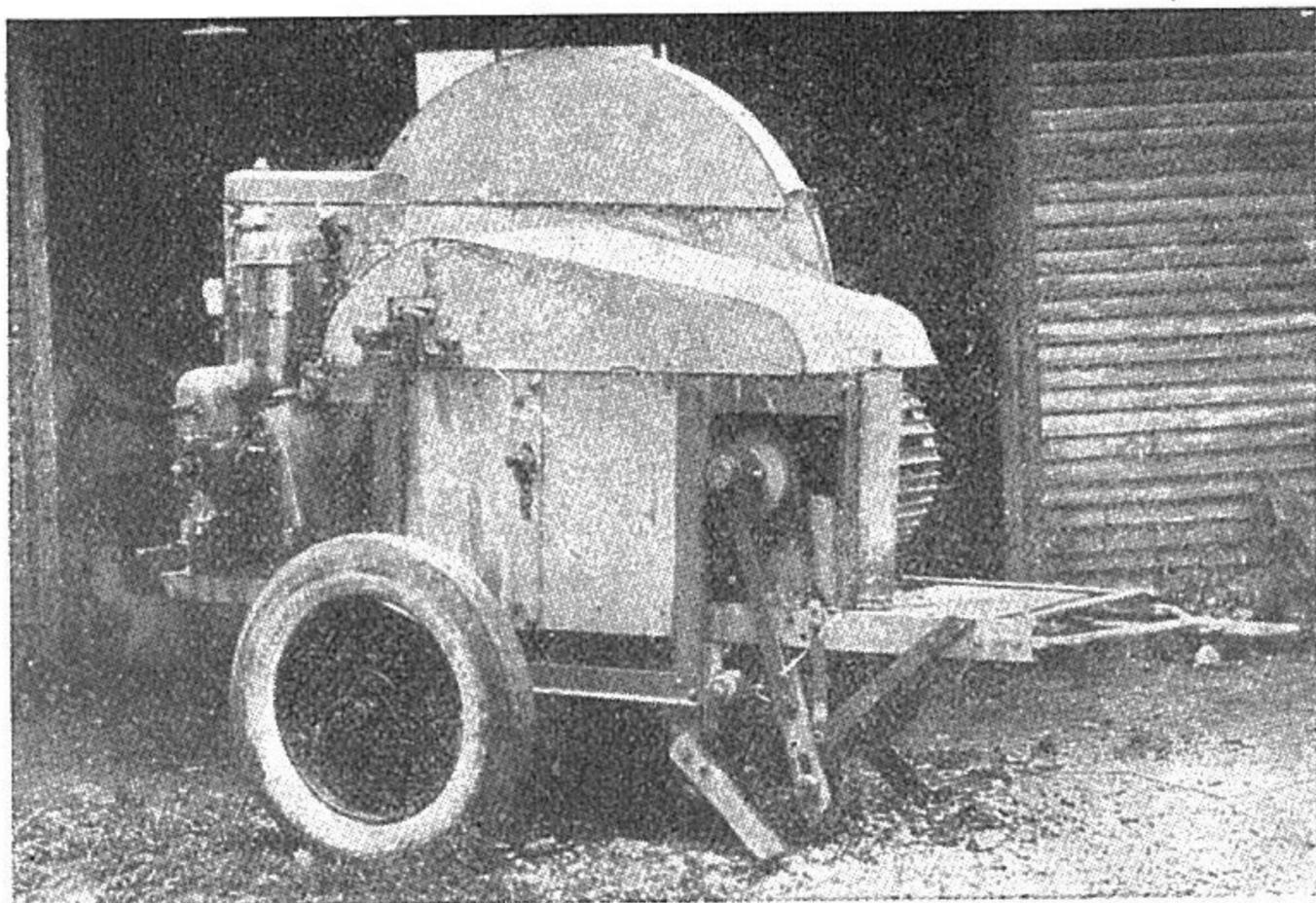
28. PROPRIÉTÉS DU BOIS ET DU GAZ DE BOIS. — 1° *Densité du bois* :

Il faut distinguer, en ce qui concerne les bois utilisés dans l'alimentation des gazogènes, trois aspects de la densité :

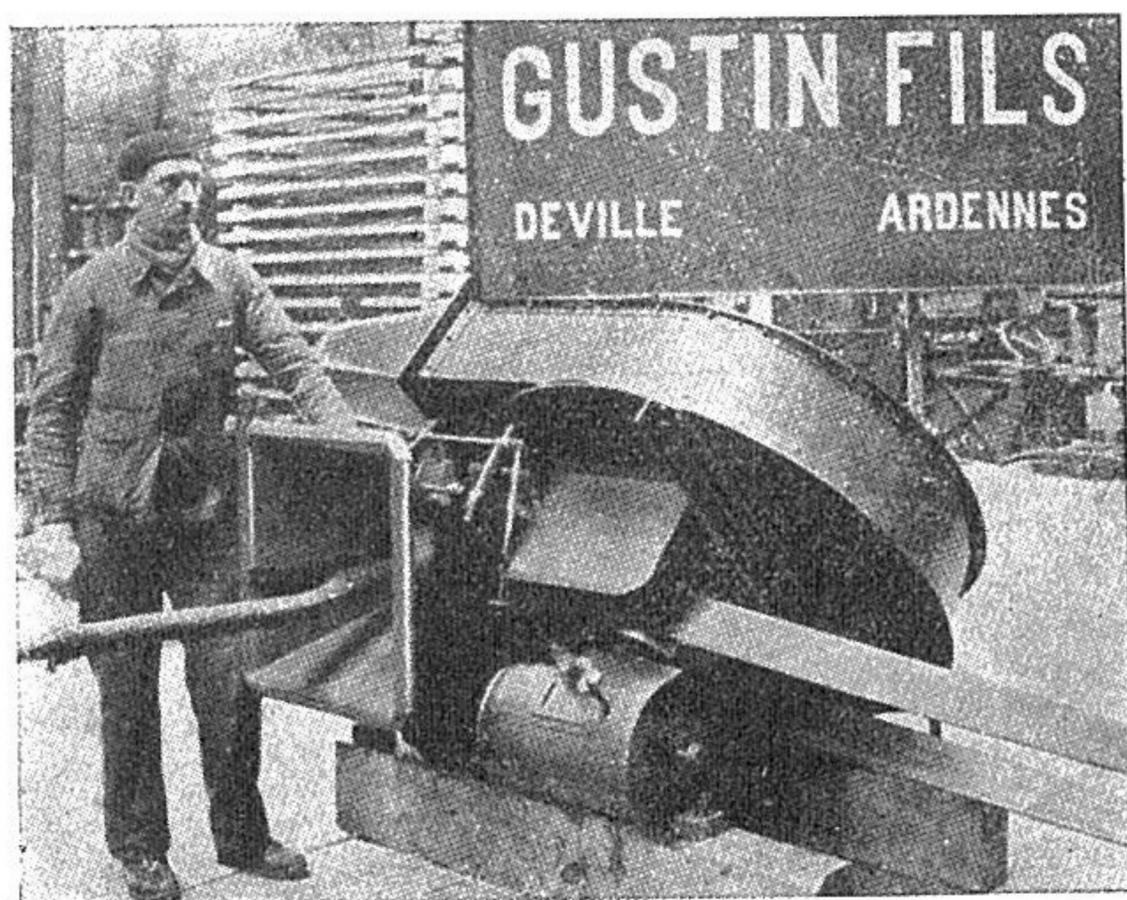
QUELQUES MACHINES A DEBITER LE BOIS



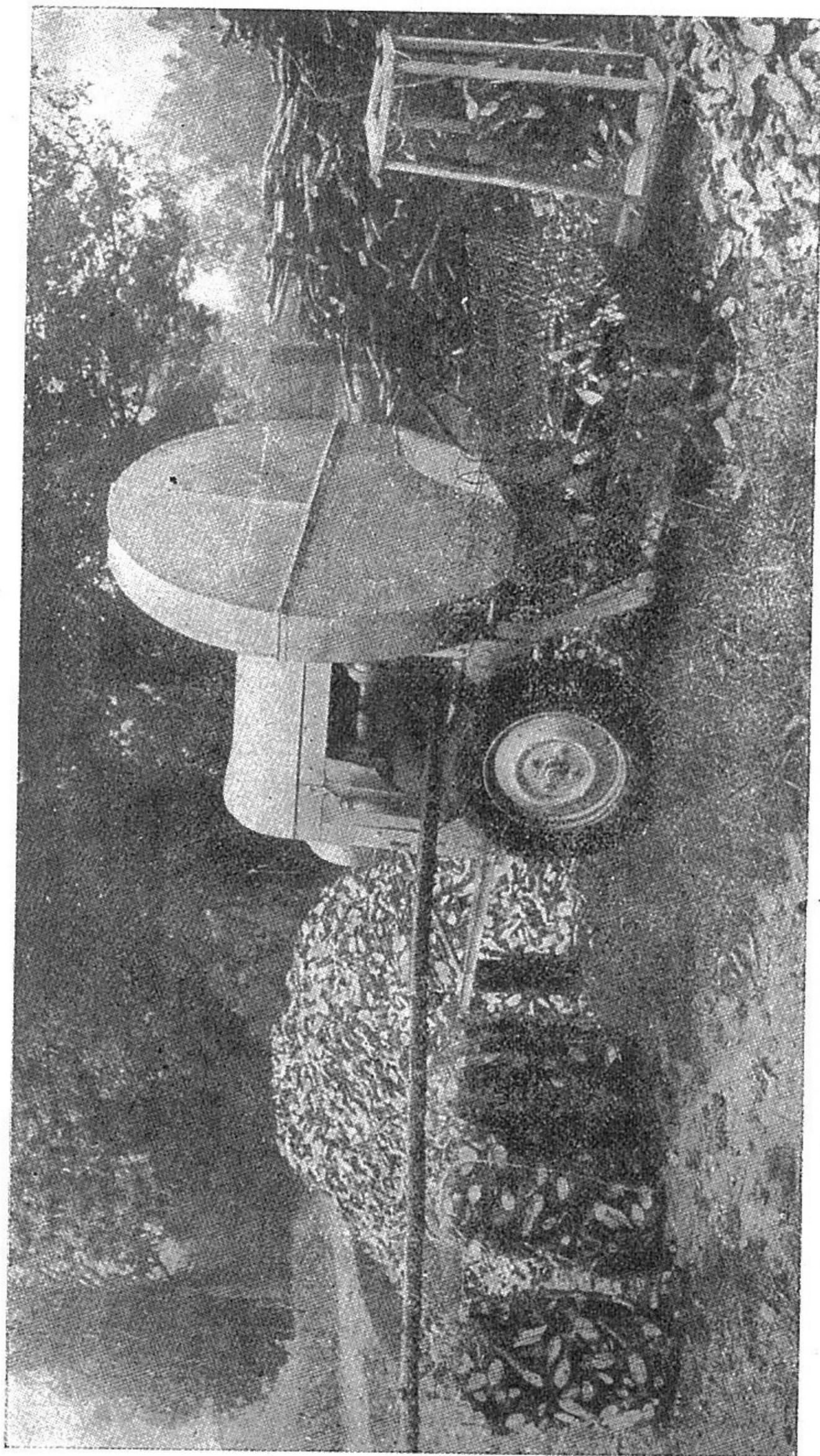
Scie.



Super-découpeuse J. D.



Découpeuse



Serpe hélice

a) Tous les bois *desséchés et réduits en poudre fine* sont plus lourds que l'eau. Leur densité moyenne est alors de 1,50 (sensiblement la même, quelle que soit l'espèce). Elle peut être considérée comme la *densité réelle*.

b) En raison des cavités, de l'air et des gaz qu'ils contiennent, les bois sont pratiquement plus légers que l'eau : leur *densité pratique* est donc leur *densité apparente*.

Cette densité apparente varie avec les conditions de végétation, la région dans laquelle l'arbre s'est développé, la nature du sol, l'âge, la présence ou l'absence de sève, la proportion d'eau.

Par exemple, à l'état vert, le poids du mètre cube réel, c'est-à-dire sans vide, ou poids spécifique du sapin, peut varier de 700 kg. à 1.000 kg., celui du hêtre de 800 kg. à 1.100 kg., celui du peuplier, de 700 kg. à 900 kg.

A l'état sec, c'est-à-dire avec 15 0/0 d'humidité, ces poids varient :

Pour le sapin, de 400 à 600 kg. ;

Pour le hêtre, de 650 à 850 kg. ;

Pour le peuplier, de 350 à 600 kg.

Ces déterminations de poids spécifiques s'effectuent par pesée d'éprouvettes et par mesure de leur volume au moyen d'un appareil spécialement étudié à cette fin et qu'on appelle voluménomètre à mercure.

c) Dans un gazogène, on remplit la trémie de morceaux de bois dont les dimensions sont indiquées plus haut. Le rayon d'action du véhicule sera fonction du poids du combustible versé dans la trémie.

Il importe donc de connaître ce poids pour un bois déterminé.

Nous appellerons *densité de chargement* le poids de bois carburant convenablement débité que l'on peut verser et tasser dans une trémie de 1 mètre cube. Suivant la grosseur des morceaux, suivant l'essence et l'humidité du bois, la densité de chargement varie entre 280 et 350 kg. par mètre cube.

2° Pouvoirs calorifiques :

a) Du bois, suivant l'humidité . 3.000 à 3.500 cal. kg. : kg.

b) Du gaz de bois (1) 1.200 à 1.300 cal. kg. : m³

c) Du mélange air-gaz de bois (1) 550 à 600 cal. kg. : m³

(1) Nous rappellerons : 1° que le pouvoir calorifique d'un gaz s'entend pour 1 mètre cube de gaz mesuré à 0° sous la pression atmosphérique ; 2° que le pouvoir calorifique du mélange air-vapeur d'essence est 850 cal. kg. : m³.

3° *Consommation d'un moteur* : environ 1 kg. : CV-H de bois à 20 0/0 d'eau.

En ce qui concerne les véhicules, la consommation dépend non seulement du bois, mais aussi de la vitesse et de la forme de la voiture, de la vitesse du vent et de sa direction. Le conducteur a aussi une influence qui peut être sensible. Voici quelques exemples :

Un camion pesant 8 t. 5 dépense 80 kg. de bois aux 100 km., à la vitesse de 50 km. à l'heure.

Un autobus (23 places assises) consomme 100 kg. de bois aux 100 km.

Une voiture de tourisme 19 CV, 4 places, consomme 30 à 35 kg. de bois de pin maritime aux 100 km., à la vitesse moyenne de 60 km.-h.

Les nombres donnés dans ce paragraphe n'ont rien d'absolu; ce sont des valeurs moyennes, mais ils permettent de dire que :

2 KG. 600 A 2 KG. 800 DE BOIS, SOIT ENVIRON 9 DM³
OU 9 L., PEUVENT REMPLACER 1 LITRE D'ESSENCE

Dans ces conditions, une propriété exploitée tous les vingt-cinq ans (1/25 de la surface mis en coupe chaque année), peut produire annuellement un tonnage de bois équivalent à 200-220 litres d'essence par are.

29. CENDRES. ECORÇAGE. — Les bois doivent laisser très peu de cendres. L'écorce des arbres poussant dans des terrains sablonneux ou exposés au vent est susceptible de contenir de la silice; cette silice fond à la haute température du foyer et il se forme des galettes de mâchefers qui gênent le passage du gaz.

Il est recommandé d'écorcer les bois avant débit, mais l'opération est coûteuse.

B. — LE CHARBON DE BOIS

Le charbon de bois peut être obtenu par divers procédés :

30. PROCÉDÉ DES MEULES FORESTIÈRES. — Le dressage est différent selon le type de meules, la capacité et selon que l'allumage se fait par la partie supérieure ou par la partie inférieure. Il est courant d'utiliser la méthode suivante :

Le bois est coupé en tronçons de 66 à 70 cm. (charbonnette). Le charbonnier construit d'abord une sorte de cheminée triangulaire ou carrée, puis, tout autour, il dispose le

bois dressé à peu près verticalement sur deux ou trois couches superposées. Quand la meule est suffisamment volumineuse, il couvre le tout de mousse, de feuilles, puis de terre battue et ménage quelques orifices d'entrée d'air à la base de l'édifice. La meule est allumée à l'aide de brandons versés dans la cheminée; une fumée abondante, d'abord rendue blanche par la présence de vapeur d'eau, puis jaunâtre et fuligineuse par la distillation des goudrons, sort de la cheminée; quand elle s'éclaircit, devient bleutée, le charbonnier obture la cheminée, ouvre des événements un peu plus bas, pour les reboucher quand, de nouveau, la fumée est claire et en pratiquer d'autres en descendant, et ainsi de suite. La carbonisation dure de vingt-quatre à trente-six heures, quelquefois plusieurs jours, suivant la grosseur de la meule et la nature du bois, après quoi on laisse refroidir pendant un temps suffisant, en bouchant tous les orifices. Enfin, on démolit la meule et on trie le charbon pour éliminer les parties terreuses, les pierres et les fumerons.

Cette fabrication demande beaucoup d'expérience et d'attention du charbonnier, qui doit tenir compte de la nature du bois, du vent, de la température, de l'aspect des fumées, du temps sec ou humide, de l'irrégularité du tassement, etc.

31. PROCÉDÉ DES FOURS MÉTALLIQUES DÉMONTABLES. — Dans ce procédé, on construit la meule comme précédemment, mais la couverture de mousse et de terre est remplacée par une enveloppe métallique en plusieurs parties qui s'assemblent très rapidement. Ce procédé permet d'obtenir un charbon plus pur, plus homogène, car la cuisson est plus régulière, et demande moins de surveillance.

Le charbon « GEKA » est obtenu à l'aide d'un four démontable dans lequel on carbonise, sans les débiter, les vieilles traverses de chemin de fer (1).

De nombreuses mesures effectuées avant et après carbonisation permettent de dire que l'on peut obtenir de 150 à 250 kg. de charbon par tonne de bois ou 60 à 85 kg. par stère.

32. DISTILLATION DU BOIS. — Dans les procédés précédents, les fumées emportent des produits de haute valeur : la distillation du bois consiste à condenser ces fumées. Par

(1) L'idée de carboniser les vieilles traverses de chemin de fer est heureuse, car on doit, en France, remplacer chaque année 5 à 6 millions de traverses.

un traitement approprié du distillat, on peut obtenir des produits qui trouvent leur emploi dans diverses industries et en pharmacie.

Le bois est préalablement coupé et séché à l'air; quelque temps avant l'emploi, on charge la charbonnette sur des wagonnets qui séjournent dans un tunnel parcouru par de l'air chaud, afin d'obtenir un séchage plus poussé. Les chargements sont ensuite introduits dans des cornues (fig. 5) que l'on chauffe : le bois distille, les produits de distillation passent dans un condenseur refroidi par de l'eau courante froide, constitué par des tubes horizontaux de gros diamètres pour la commodité des visites et du nettoyage. Les produits con-

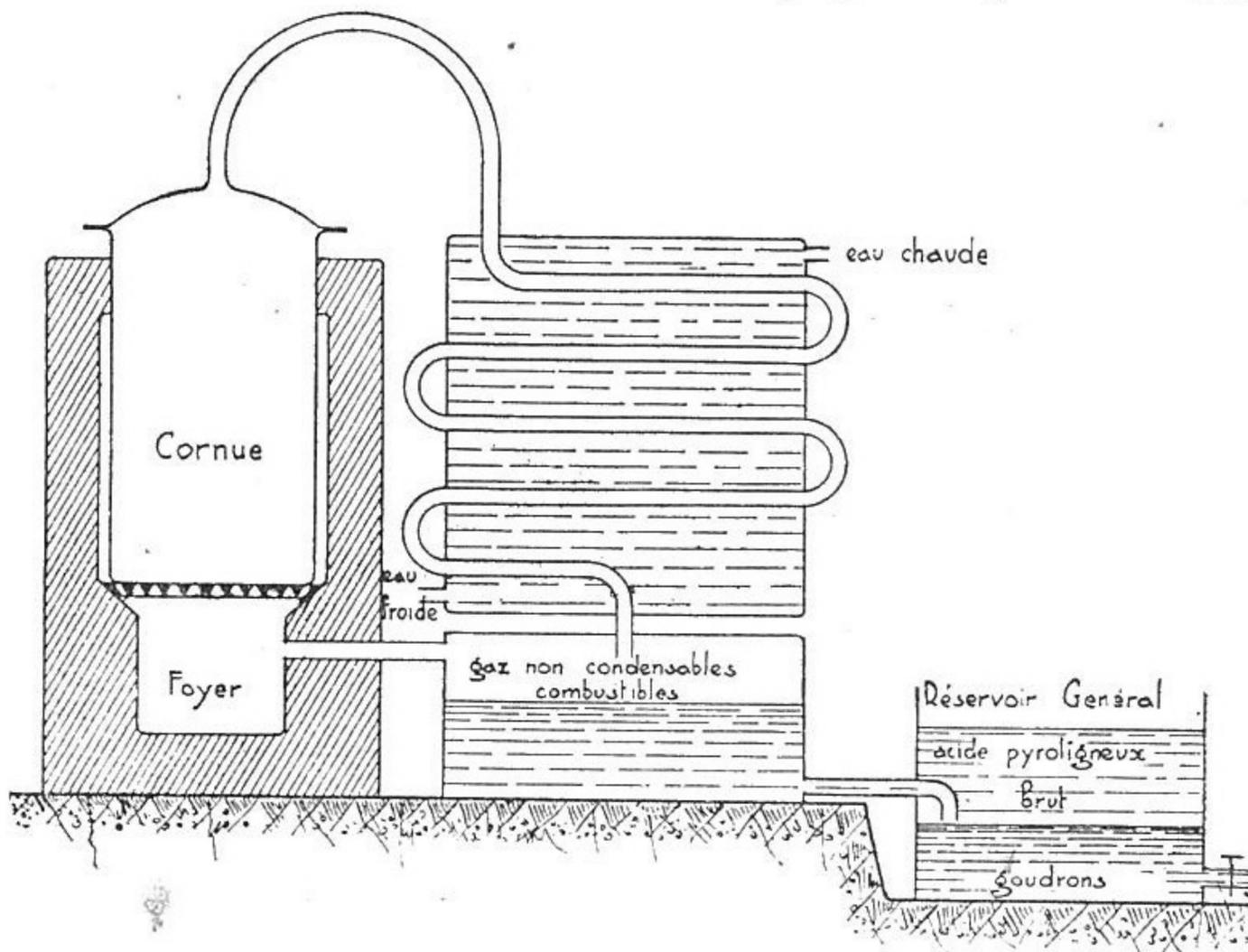


FIG. 5. — Schéma d'un appareil pour la distillation du bois.

densés se réunissent dans une cuve sous forme d'un jus noir appelé « *pyroligneux brut* » tandis que les gaz non condensés sont envoyés au foyer de la cornue où ils brûlent. Des jus pyroligneux, on peut retirer de l'acide acétique, de l'alcool, de la créosote, du goudron de bois et bien d'autres produits qu'il n'y a pas lieu d'énumérer ici.

Le bois étant, nous l'avons vu, une matière première de composition extrêmement variable et de propriétés irrégulières, les rendements en produits de distillation sont eux-mêmes différents et les indications que l'on trouve à ce sujet n'ont

qu'une valeur très relative, notamment si la teneur en eau n'est pas simultanément indiquée.

Les rendements diffèrent encore sensiblement suivant l'allure de la distillation et sa rapidité.

33. PRÉPARATION ET STOCKAGE DU CHARBON DE BOIS. — Le charbon est trié (on enlève les pierres, les incuits, les amas terreux), puis concassé et dépoussiéré par criblage. Ces deux dernières opérations conduisent à un résultat intéressant : le charbon fourni par l'écorce est très friable et est éliminé; comme c'est surtout l'écorce qui contient les matières inertes, il y aura d'autant moins de cendres et de mâchefers, dans le foyer du gazogène, que le concassage et le dépoussiérage auront été mieux conduits. Pour les raisons déjà indiquées pour le bois (éviter les voûtes et le tassement du combustible, voir § 27, p. 33), il faut suivre strictement les prescriptions des constructeurs.

Les bois durs donnent des charbons durs, les bois tendres et les résineux, donnent des charbons tendres, donc un peu plus friables et plus légers et, par conséquent, un peu plus encombrants.

Le charbon de bois est livré en sacs de papier fort de 10 à 12 kg.

Comme le charbon de bois peut absorber une proportion notable de son poids d'eau, il importe de stocker les sacs dans des endroits secs. On utilise cependant couramment des charbons contenant 7 à 8 0/0 d'eau; cette eau passant, sous forme de vapeur, sur les charbons rouges, est décomposée (Voir § 10) et le gaz s'enrichit d'hydrogène et d'oxyde de carbone sans apport d'azote, puisque l'air n'intervient pas.

La section des sacs de 10 kg. se rapproche d'un carré de 30 cm. de côté. Leur longueur est d'environ 70 cm. Pour stocker une tonne de charbon en sacs, on peut donc compter comme nécessaire une surface couverte de 4 m. 80 × 0 m. 70, les sacs étant empilés sur environ 1 m. 80 de haut.

34. NORMES COMMERCIALES DU CHARBON DE BOIS POUR GAZOGÈNES. — Les conditions de bonne utilisation auxquelles doivent satisfaire les charbons de bois pour gazogènes peuvent être ainsi résumées :

ASPECT. — Le charbon bien cuit a une cassure nette, d'un beau noir brillant, parfois un peu bleuté, sur laquelle les canaux du bois apparaissent parfaitement ; il rend un son clair quand on le heurte sur un corps dur.

HUMIDITÉ. — Le charbon doit être sec : le charbon humide perd sa sonorité, sa cassure est d'un noir mat.

L'humidité constatée dans certains charbons du commerce atteint parfois 10 0/0. Ce taux est un peu élevé; en pratique courante, il ne doit pas dépasser 8 0/0. Pour avoir une indication très sommaire sur la teneur en eau d'un charbon, on peut procéder de la manière suivante : peser 1.000 grammes de l'échantillon à examiner et les placer dans le four bien chauffé d'une cuisinière. Au bout d'une heure, par exemple, peser à nouveau. La différence de poids constatée représente, d'une manière approximative, la quantité d'eau disparue par évaporation et permet d'en déterminer le pourcentage.

CENDRES. — La proportion de cendres peut être limitée à 5 0/0 (cela ne veut pas dire qu'un charbon contenant un pourcentage plus élevé de matières cendreuses soit inutilisable, mais seulement qu'il entraînera au nettoyage plus fréquent des appareils et qu'il fera baisser le rendement de l'installation après un certain temps de marche).

On peut déterminer approximativement la proportion de cendres contenues dans un charbon en chauffant dans un plat de fer, 1.000 grammes de ce charbon sec, de manière à en provoquer l'allumage et la combustion complète. On pèse ensuite les cendres résultant de cette combustion, et le poids obtenu rapporté au poids initial fournit l'indication cherchée.

Pour obtenir une indication plus exacte, il faut avoir recours à des méthodes de laboratoire et définir les conditions de l'incinération. Les cendres peuvent, en effet, contenir des carbonates qui se dissocient lorsque la température est assez élevée.

La composition centésimale des cendres de charbon de bois est très variable. Il résulte des expériences effectuées par le Comité Central de Culture Mécanique que certaines de ces cendres contiennent, en effet, jusqu'à 80 0/0 de silice, alors que d'autres en contiennent moins de 2 0/0. En revanche, celles qui sont pauvres en silice sont, en général, très calcaires, leur teneur en chaux dépassant 60 0/0. C'est dans cette dernière catégorie que l'on rencontre surtout des cendres infusibles au-dessous de 1.500 à 1.600°, se présentant comme de véritables poussières. On conçoit que ces divergences de composition soient de nature à influencer sur la tenue des combustibles dans les foyers des gazogènes. Les éléments qui entrent dans la composition des cendres sont : la silice, l'oxyde de fer, l'alumine, la chaux et la magnésie.

RÉSISTANCE MÉCANIQUE. POUSSIER. — La résistance du charbon doit être aussi grande que possible pour éviter la formation du poussier. (On a envisagé de l'évaluer en mesurant la charge d'écrasement suivant la direction des rayons médullaires.) Le poussier ayant les chocs et les frottements pour origine, on évitera de faire subir aux sacs toute manipulation inutile.

CORPS ÉTRANGERS. — Les corps étrangers doivent être éliminés lors du concassage et du criblage. Les résidus de terre, pierre, sable, doivent être également écartés avec soin.

FUMERONS. — Le charbon ne doit pas en contenir : dans un gazogène à charbon de bois les fumerons distilleraient et les toiles des filtres seraient rapidement colmatées.

DENSITÉ DE CHARGEMENT. — Pour les gazogènes destinés à être adaptés à des véhicules, il est intéressant d'obtenir un rayon d'action aussi grand que possible. La quantité de combustible brûlé au CV-H étant déterminée et le volume de la trémie ne pouvant être augmenté sans inconvénient, il y a intérêt à utiliser des combustibles dont le poids soit élevé par unité de volume apparent. Le Comité Central de culture mécanique a proposé de fixer à 200 kg. au mètre cube de trémie, le minimum de densité des *charbons marchands* destinés à être utilisés loin des lieux de production. En outre, il recommande la vente du charbon au poids et non au volume, sous réserve que la teneur en eau ne dépasse pas 8 0/0.

La densité de chargement sera d'autant plus élevée que la densité propre des grains sera, elle-même, plus grande.

Valeur moyenne de la densité de chargement de quelques combustibles courants :

Charbon de bois	200 à 280 kg./m ³
Comprimés de charbon de bois	500 à 800 kg./m ³
Semi-cokes minéraux	400 à 500 kg./m ³
Anthracite environ	800 kg./m ³
Mélanges	400 à 600 kg./m ³

Pour une qualité de charbon donnée, le concassage permet de faire varier la densité de chargement, cependant un fractionnement trop poussé conduit à une perte assez élevée au concassage.

CÁLIBRAGE. — Pour les gazogènes transportables, deux calibres peuvent suffire : l'un pour les gazogènes à tuyère, l'autre pour les gazogènes à entrée d'air périphérique (Panhard). Le premier de ces mélanges (Gohin) contiendra

des grains mesurant de 8 à 30 m/m, le second (Panhard), des grains mesurant de 25 à 70 m/m.

On peut remarquer que la valeur réelle d'un carburant pour gazogènes est déterminée par des mesures complémentaires qui ont été à dessein séparées des précédentes, parce qu'elles ne sont pas immédiatement indispensables et parce qu'elles exigent, pour être tout à fait exactes, l'intervention du laboratoire et de spécialistes exercés.

C'est ainsi qu'il sera intéressant d'avoir des indications sur les propriétés suivantes :

L'*inflammabilité*, qui est déterminée par la température à laquelle un combustible chauffé progressivement s'enflamme. Elle est susceptible de caractériser la plus ou moins grande vivacité des reprises et la rapidité des départs.

La *combustibilité*, qui correspond à la faculté du charbon de brûler plus ou moins rapidement.

La *réactivité*, qui est l'aptitude du combustible à assurer correctement la transformation du gaz carbonique en oxyde de carbone et la dissociation de la vapeur d'eau.

On peut, par exemple, l'apprécier en faisant passer du gaz carbonique dans un tube réfractaire contenant du charbon granulé et en mesurant le volume de l'oxyde de carbone formé à 1.000° durant quinze minutes, dans les produits recueillis à la sortie du tube.

A ces caractéristiques des combustibles forestiers, on peut encore ajouter :

La *porosité* exprimée par le poids de vapeur d'eau fixée sur une quantité connue de combustible dans des conditions bien déterminées.

La *composition chimique*, enfin, qui est de nature à compléter utilement les précédentes déterminations.

35. QUELQUES PROPRIÉTÉS DU CHARBON DE BOIS. — 1 m³ de charbon de bois pèse de 175 à 280 kg. Cette densité de chargement dépend de la grosseur des morceaux, du mode de fabrication, de l'humidité, de la nature du bois.

Pouvoir calorifique du charbon de bois : 7.500 à 8.000 cal. kg. : kg.

Pouvoir calorifique du gaz de charbon de bois : environ 1.100 à 1.200 cal. kg. : m³.

Pouvoir calorifique du mélange air-gaz : 550 à 590 cal. kg. : m³.

Consommation : 500 gr. en moyenne par CV-H.

Exemples de consommation :

Un camion 10 t., 23 CV consomme en moyenne 45 kg. de charbon aux 100 km.

Une voiture de tourisme 13 CV, 4 places consomme environ 18 à 20 kg. aux 100 km. Son rayon d'action peut atteindre 250 km.

Un autobus de 23 places assises consomme de 45 à 50 kg. aux 100 km.

De multiples essais ont permis d'établir que (1) :

1 KG. 200 A 1 KG. 500 DE CHARBON DE BOIS, SOIT 6 DM³ OU 6 L., PEUVENT REMPLACER 1 L. D'ESSENCE.

36. COMPARAISON DU BOIS ET DU CHARBON DE BOIS. ...

a) Le bois n'est pas fragile et sa manutention est propre; le charbon est friable, sale, mais la présentation en sacs de papier, une manutention faite avec soin, atténuent ces inconvénients.

b) Le charbon de bois ne distille pas dans le gazogène, tandis que, pour le bois, tout se passe comme dans une cornue (Voir § 32, p. 37) et des précautions doivent être prises pour éliminer les acides et les goudrons (Vor § 43, p. 53).

c) L'emploi du bois permet d'éviter les frais de carbonisation et la perte de calories entraînée par cette opération ainsi que le concassage, générateur de poussière; par contre, il nécessite une opération de débitage dont il faut tenir compte dans les calculs de prix de revient.

d) Le bois contient beaucoup d'eau et toute la vapeur d'eau n'est pas décomposée; il en résulte :

1° Que le gaz de bois doit être séché ;

2° Que les rechargements doivent être fréquents pour que la qualité du gaz ne varie pas (Voir § 74, p. 75) ;

3° Que pendant les arrêts et les ralentis prolongés (longues descentes), l'eau continue à s'évaporer et que la vapeur doit traverser un foyer moins actif, de sorte qu'au moment de la reprise, le moteur reçoit du gaz humide.

(1) Les chiffres ci-dessus, donnés à titre indicatif, n'ont rien d'absolu ; ils dépendent de l'adaptation qui a été faite du moteur et de la manière dont est conduit le véhicule. On a pu, dans certains cas, vérifier l'équivalence 1 l. d'essence = 1 kg. de charbon de bois.

e) Pour produire le même travail, il sera nécessaire d'utiliser un poids deux fois plus grand de bois que de charbon, d'où découle un accroissement sensible de la charge de carburant transportée.

f) Pour la même raison, les frais de transport du lieu d'abattage au point d'utilisation seront plus élevés pour le bois que pour le charbon.

g) Le nettoyage d'appareils à charbon est plus simple, plus rapide, plus propre, moins fréquent que celui des appareils à bois.

La durée de ces appareils est plus longue.

h) Le charbon est très hygroscopique et sa conservation est difficile.

De nombreux véhicules marchent au bois, à la grande satisfaction des usagers, il semble cependant préférable de réserver ce combustible à des installations fixes ou à des véhicules s'éloignant peu du garage, dans les fermes ou dans les entreprises, telle que des scieries ou menuiseries, qui disposent gratuitement de déchets de fabrication.

Le gazogène à bois doit trouver un large débouché dans les applications rurales, notamment pour l'équipement des camions s'éloignant peu de l'exploitation et des tracteurs agricoles. Le gazogène à bois sera donc plus spécifiquement le gazogène agricole.

C. — CHARBON ROUX — AGGLOMERES

Le souci d'éliminer certains des inconvénients du bois et du charbon de bois a orienté les recherches vers deux solutions différentes.

37. CHARBON ROUX OU BOIS TORRÉFIÉ. — M. le professeur DUPONT l'obtient en ne poussant pas à fond la carbonisation.

Il fabrique ainsi un produit appelé *charbon roux* ou *bois torréfié*, qui n'est plus tout à fait du bois proprement dit (donc ne contient pas d'eau et distille peu) et n'est pas encore du charbon (donc n'est pas friable et n'absorbe pas l'eau). Le bois est torréfié entre 100 et 290°, mais c'est vers 275°-290° que les produits obtenus paraissent être les plus satisfaisants; vers ces températures, ils possèdent, en effet, un pouvoir calorifique supérieur à celui des bois cuits à plus basse température.

Le pouvoir calorifique du charbon roux est de 5.700 à 6.800 cal. kg. : kg., suivant la température de cuisson.

38. AGGLOMÉRÉS. — Il en existe plusieurs types de formes et de compositions différentes, suivant le procédé de fabrication dont ils dérivent.

Certaines usines proposent des agglomérés constitués par des mélanges de charbon de bois et de charbon minéral qui ont l'avantage de n'exiger qu'une faible proportion de liant.

Les agglomérés de charbon de bois pur, dont la réactivité est meilleure sont moins aisés à obtenir, notamment en raison de la difficulté que l'on éprouve à associer une très forte compression avec un débit suffisant des presses.

Ces dernières sont le plus souvent des roues à empreintes (Sahut Conreur) avec lesquelles on obtient des boulets-type « CARBONITE-ÉTAT » (HENNEBUTE) ou des machines à moule ouvert (Boulet et Cie) dans lesquelles on peut réaliser une compression sensiblement plus élevée (procédé DEFRENE).

Les machines à moule ouvert présentent en outre l'avantage de fonctionner avec des mélanges froids.

Voici, sommairement, la suite des opérations de la fabrication des agglomérés : le charbon de bois est pulvérisé, puis mélangé avec un liant (goudron, brai, etc.), et la pâte est formée en boulets à l'aide d'une presse; les boulets sont enfin recuits à l'abri de l'air.

Un aggloméré de bonne fabrication n'absorbe pas l'eau ; il peut être manipulé sans trop de précautions. À la combustion, chaque boulet s'amenuise en conservant sa forme et les voûtes ne sont pas à craindre. Les boulets donnent peu de poussière, ils n'absorbent pas l'eau : on peut éteindre les boulets incandescents dans l'eau et s'en resservir peu de temps après.

En raison de leur grande densité les agglomérés donnent au véhicule, à volume de trémie égal, un rayon d'action beaucoup plus étendu.

D. — COMBUSTIBLES D'ORIGINE MINÉRALE AUTRES CARBURANTS DE REMPLACEMENT

39. On appelle carburants de remplacement les combustibles susceptibles d'être substitués à l'essence minérale pour l'alimentation des moteurs à explosion.

Citons comme carburants de remplacement, le benzol, l'essence de synthèse, qu'on peut tirer de la houille et des schistes bitumineux, les gaz que l'on peut extraire de la houille ou des

végétaux et l'alcool provenant du traitement de produits agricoles ou forestiers. L'électricité est également une force motrice d'origine nationale, mais son emploi exige le remplacement des moteurs thermiques par des moteurs électriques, ce qui n'est pas sans soulever des questions d'ordre industriel peu faciles à résoudre. L'étude de la valeur respective de ces différents carburants et de leurs possibilités d'avenir ne saurait être envisagée dans le cadre de cet ouvrage (1), nous nous contenterons de comparer les combustibles minéraux et végétaux qui peuvent être transformés en combustibles gazeux dans un gazogène. Nous avons d'ailleurs déjà montré (Voir § 23, p. 37) l'intérêt propre aux carburants forestiers.

Les combustibles d'origine minérale, notamment l'anthracite, sont, dans de nombreux cas, utilisés pour l'alimentation des gazogènes.

Voici, d'après M. le professeur LEBEAU, les principales caractéristiques de quelques-uns de ces combustibles :

	Grains de Vicogne	Gazorex de la Grand'Combe	SEMI-COKES	
			Carbolux	Grésillon de Nœux
Densité de chargement	0,777	0,77	0,502	0,67
Humidité (100-105°)	1,2	0,35	3,28	1,15
Matières volatiles	7,95	7,5	14	8,15
Carbone	86,04	89,37	80,15	85,75
Cendres % sur 5 gr. . . .	9,65	4,1	8,80	7,5
Point d'inflammabilité	455° à 510°	525-530°	490-495°	520-525°
Point de fusion des cendres . . .	1400° à 1500°	—	1200°	1280°
Pouvoir calorifique sup ^r	7750	—	7056	7.450

Aux essais, les charbons minéraux n'ont pas donné des puissances égales à celles développées par les charbons de bois. La diminution constatée pour les anthracites a dépassé 10 0/0; certains semi-cokes n'ont pu fonctionner dans des foyers à section étroite. En revanche, les mélanges anthracite-charbon de bois ou semi-coke-charbon de bois ont permis d'atteindre et de maintenir la puissance maximum.

Les variations de puissance constatées au cours des essais sont, en grande partie, imputables à l'accumulation de mâchefer et des cendres, cependant cet inconvénient est moins sensible dans les gazogènes à grille verticale.

(1) Consulter à ce sujet : *Le déclin du pétrole et l'avènement des nouveaux carburants*, par Pierre QUEUILLE. Librairie du Recueil SIREY, éditeur, 25, rue Soufflot, Paris.

Les mélanges que l'on trouve dans le commerce sont variables; leur teneur en charbon de bois varie de 20 à 45 0/0 en poids. Cette teneur détermine leur densité de chargement qui est, en moyenne, de 0,500, propre à assurer un rayon d'action étendu.

En résumé, les combustibles d'origine minérale et notamment l'anhracite, ont un pouvoir calorifique élevé et une forte densité : ils sont donc moins encombrants que le bois et que le charbon de bois, mais ils sont cendreux ou forment des mâchefers gênants, difficiles à extraire et les filtres s'encrassent rapidement. De plus, ils contiennent souvent du soufre et des impuretés diverses. Seules, quelques sortes d'anhracite se prêtent à l'alimentation des gazogènes.

On a vérifié, enfin, que le charbon de bois était plus inflammable, plus combustible, plus *réactif* que les combustibles minéraux.

La comparaison des résultats obtenus a permis de constater que les carburants forestiers constituaient la plus sûre et la meilleure réserve de carburants de complément qui pouvaient être mis, à l'heure actuelle, à la disposition des usagers.

CHAPITRE III

Généralités sur les Gazogènes

40. ELÉMENTS DE L'INSTALLATION. — Une installation de force motrice à gazogène comprend (fig. 6) :

- A. Le générateur de gaz.
- B. Le refroidisseur.
- C. Les épurateurs.
- D. Le mélangeur, qui peut comprendre un carburateur auxiliaire.
- E. Le ventilateur-aspirateur d'allumage.
- F. Le moteur; son étude fera l'objet d'un chapitre spécial.

A. — LE GÉNÉRATEUR

41. LE GÉNÉRATEUR reçoit, dans une trémie, le combustible, bois, charbon de bois ou agglomérés et le transforme en gaz, dans le foyer. Ce gaz est formé principalement d'oxyde de carbone, d'hydrogène d'azote. Son pouvoir calorifique varie de 1.200 à 1.350 cal. kg. : m³ pour le gaz de bois et de 1.150 à 1.250 cal. kg. : m³ pour le gaz de charbon de bois.

Dans un gazogène à bois (Imbert-Berliet, Imbert-Renault, Brandt, etc.), le bois subit les mêmes transformations que dans une cornue de distillation (Voir § 32, p. 37 : il sèche, puis distille des produits acides et goudronneux (nous appellerons *pyroligneux* l'ensemble de ces produits). Il faut que la vapeur d'eau et les pyroligneux soient réduits, au moins pour une forte proportion dans le foyer car leur introduction en grande quantité dans les épurateurs rendrait le filtrage défectueux et le moteur pourrait être détérioré : attaque du métal, usure rapide, encrassement des soupapes, des bougies. Leur décomposition enrichit d'ailleurs le gaz : le gaz de bois