

Titre : Moteur à cylindre compensateur. Tramways à air comprimé. Voiture automobile  
pétroléo-pneumatique (Tamponnage pneumatique)

Auteur : Dalebroux, Henri

Mots-clés : Moteurs \* Cylindres ; Tramways ; Automobiles expérimentales

Description : 1 vol. (40 p.) ; 24 cm

Adresse : Bruxelles : Imprimerie des Travaux publics, 1909

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB A 13152

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?A13152>

*A Monsieur  
Maurice Hülsmann,  
Honorable Membre.  
H. Dalebroux  
A 13152  
Le 24. oct. 09.*

SOCIÉTÉ BELGE DES INGÉNIEURS ET DES INDUSTRIELS

**Moteur à cylindre compensateur**

**Tramways à air comprimé**

**Voiture automobile pétroléo-pneumatique**

(Tamponnage pneumatique)

COMMUNICATION

FAITE AU COMITÉ D'ÉTUDES

LE 11 MAI 1909

PAR

**M. H. DALEBROUX**

Ingénieur-Electricien

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOC. ANON.)  
169, rue de Flandre, 169

1909





**Moteur à cylindre compensateur**  
**Tramways à air comprimé**  
**Voiture automobile pétroléo-pneumatique**  
**(Tamponnage pneumatique)**

---

Communication faite le 11 Mai 1909

PAR

**M. H. DALEBROUX**

Ingénieur-Électricien

**I. — MOTEUR A CYLINDRE COMPENSATEUR**

(Brevets H. Dalebroux.)

Jusqu'en 1907, le pourcentage des moteurs à quatre cylindres s'accrut d'une façon continue et, en cette année, il était même rare de trouver des voitures munies d'autres moteurs ; lorsqu'en 1908, bon nombre de grands constructeurs présentèrent des véhicules ayant des moteurs de un et de deux cylindres.

Pourquoi ce revirement vers ces moteurs ? Est-ce pour diminuer le prix total de l'automobile ? Je ne le crois pas. En effet, en utilisant deux cylindres au lieu de quatre on fera une petite économie, mais, celle-ci est-elle à considérer sur le prix total de l'automobile ? Non. La tendance d'utiliser des moteurs à deux et à un cylindre provient d'un besoin : celui de diminuer l'entretien et l'amortissement qui représentent encore actuellement les dépenses les plus importantes.

Mais, si nous utilisons un moteur de deux cylindres fonctionnant suivant le cycle à quatre temps, nous pouvons produire successivement deux explosions consécutives et deux courses résistantes, ce qui amène le calage des bielles à  $180^\circ$  ; ou encore, nous pouvons répartir les explosions tous les deux temps, ce qui détermine le fonctionnement des pistons et des bielles montant et descendant en même temps.

Chacune de ces deux dispositions présente des inconvénients : la première solution donne un moteur plus ou moins bien équilibré, mais peu régulier, tandis qu'avec la deuxième, le moteur est plus régulier, mais loin d'être équilibré, et ce manque d'équilibrage a non seulement une répercussion sur l'usure même du moteur, mais encore sur tous les organes de la voiture.

Cependant, je tiens à faire remarquer que malgré ces défauts, le moteur à deux cylindres donne moins d'entretien et moins d'usure que le quatre cylindres.

C'est en vue de donner au moteur de deux cylindres fonctionnant

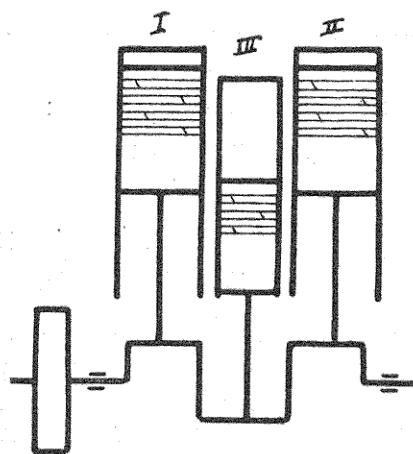


Fig. 1.

suivant le cycle à quatre temps les avantages d'un quatre cylindres que nous avons associé à ces deux cylindres I et II (fig. 1) un troisième III appelé *cylindre compensateur* qui comprime de l'air pendant les courses motrices et qui utilise la détente de cet air pendant les courses résistantes.

Les figures 2, 3, 4 et 5 montrent les coupes de ce moteur. Dans les coupes EF et GH, les cylindres extérieurs sont travailleurs, tandis que celui du milieu est compensateur. La coupe suivant IK est celle passant par l'axe du cylindre compensateur. La coupe ABCD est celle passant par un des cylindres moteurs.

Une partie de la puissance sert à comprimer l'air, cette puissance étant restituée quand le piston parcourt sa deuxième course.

En résumé, voici ce qui se passe pendant un cycle complet de ce moteur :

	1 <sup>er</sup> cylindre moteur	2 <sup>e</sup> cylindre moteur	Cylindre compensateur
1 <sup>er</sup> temps .	Explosion et détente	Aspiration	Compression de l'air
2 <sup>e</sup> temps .	Emission	Compression	Détente de l'air
3 <sup>e</sup> temps .	Aspiration	Explosion et détente	Compression de l'air
4 <sup>e</sup> temps .	Compression	Emission	Détente de l'air

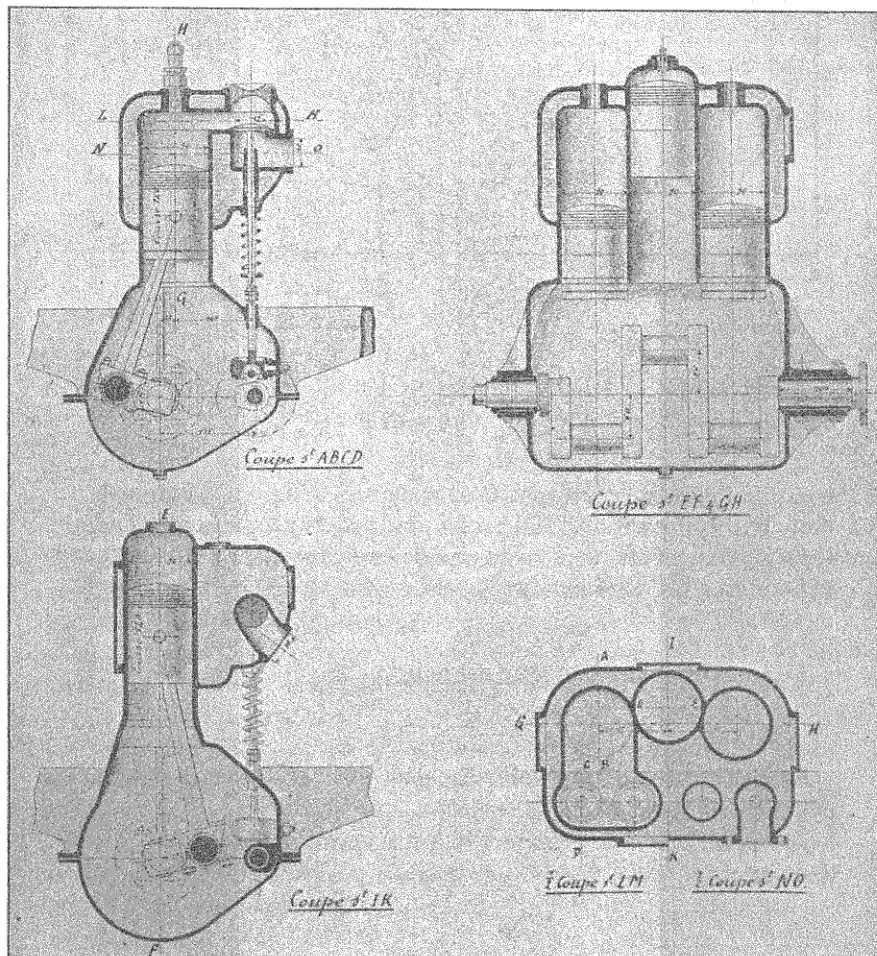


Fig. 2, 3, 4, 5.

Voyons quelle est la puissance qui doit être absorbée, puis restituée par le cylindre compensateur.

Représentons en abscisses par (fig. 6)  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$ , quatre courses consécutives du piston d'un des cylindres moteurs et en ordonnées les pressions qui y correspondent dans le cylindre compensateur III et dans les deux cylindres moteurs I et II (fig. 1) en faisant abstraction de la minime influence produite par l'admission et l'émission dans ces deux derniers cylindres.

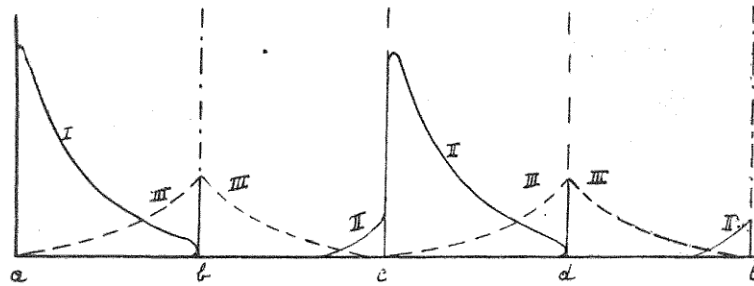


Fig. 6.

Appelons par :

$$d, \delta, a, c,$$

respectivement la détente, l'émission, l'admission et la compression dans le premier cylindre du moteur et par :

$$a, c, d, \delta,$$

les phénomènes correspondant dans le deuxième cylindre du moteur. En faisant abstraction de l'influence produite par l'admission et l'émission, nous voyons que les travaux produits successivement par les deux cylindres sont :

$$+d, -c, +d, -c.$$

Le travail moyen par tour est donc :

$$\frac{d - c}{2}$$

Soit  $\pi$  le travail que doit absorber puis restituer le piston du cylindre compensateur.

Attendu que  $d$  représente le seul travail positif, nous devons donc avoir :

$$\frac{d - c}{2} = d - \pi$$

d'où

$$\pi = \frac{d + c}{2}$$

Il faut donc que le travail restitué par le cylindre compensateur soit égal à la moitié du travail produit pendant la détente augmentée de la moitié du travail de compression des gaz explosants.

**Application du cylindre compensateur aux moteurs  
à deux temps.**

Le cylindre peut s'appliquer de la même manière aux moteurs à deux temps et à un seul cylindre.

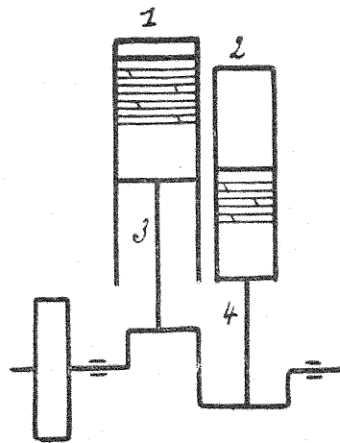


Fig. 7.

La figure 7 indique les dispositions relatives des pistons et des bielles du cylindre moteur 1 et du cylindre compensateur 2.

Dans ce cas, comme dans le précédent, la bielle 3 du piston moteur et la bielle 4 du piston compensateur sont calées l'une par rapport à l'autre à 180°. Lors de la course motrice il y a compression de l'air dans le cylindre compensateur 2 et détente de cet air pendant l'émission des gaz du cylindre moteur 1.

**Utilisation de ce cylindre compensateur  
aux moteurs tournant à une très grande vitesse.**

On voit par la disposition de la bielle du cylindre compensateur (par rapport aux bielles ou à la bielle des ou du cylindre moteur) que celle-ci est toujours soumise à la compression, ce qui évite les inconvénients du jeu.

De plus, l'effort s'exerçant dans un sens constant est très favorable au point de vue de la durée de la machine et de la douceur de marche. Cette disposition permet d'utiliser ce cylindre compensateur pour les moteurs fonctionnant à très grande vitesse.



### Désaxement.

Nous connaissons les avantages que présente le désaxage des cylindres moteurs, aussi dans ce moteur, ceux-ci seront excentrés. Le cylindre compensateur ne peut être désaxé par suite de

l'effort de compression agissant inversement de celui de la détente de l'air. Mais, ce non-désaxage est plutôt favorable au bon fonctionnement de ce moteur, si, toutefois les cylindres moteurs sont désaxés; car, dans ce cas, l'on a une petite avance à la compression de l'air et la plus haute compression de celui-ci ne correspond plus à la plus faible détente des gaz brûlés.

En effet, représentons (fig. 8) l'un des cylindres moteurs.

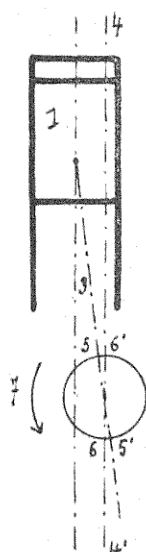


Fig. 8.

Soit 3 l'axe de la bielle attaquant son piston 1 et 4 4' l'axe du cylindre compensateur non excentré. La flèche 7 indique le sens de rotation.

On voit que lorsque la bielle du cylindre compensateur sera en 5, c'est-à-dire en haut de sa course, celle du cylindre compensateur sera en 5'; donc, lorsque commence la détente du mélange explosif, la compression dans le cylindre compensateur a déjà commencé et la détente de cet air commence avant la fin de la détente des gaz tonnants.

En un mot, en représentant (comme dans le diagramme précédent) les détentes dans les deux cylindres moteurs par 1 et 2, nous

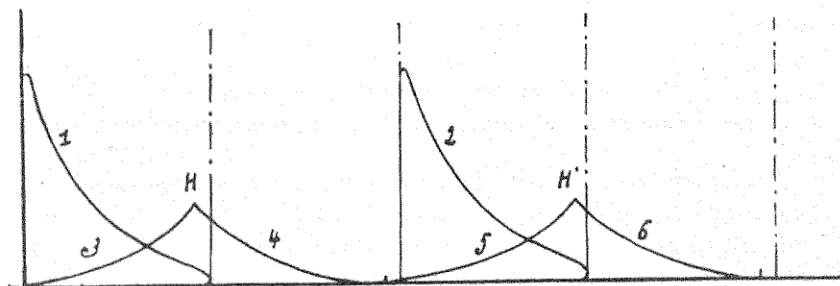


Fig. 9.

devons représenter les compressions et les détentes successives de l'air dans le cylindre compensateur par 3, 4, 5, 6. La plus haute compression de l'air aura lieu en H et H' (fig. 9).

### **Rendement.**

En réalité, dans ce moteur, une partie du travail étant absorbée, puis restituée à la course suivante, il est évident que cette transformation ne se fait pas sans une perte qui influence le rendement.

Mais voyons quelle est la fraction du travail qui doit être transformée ?

Nous devons calculer le cylindre compensateur pour la puissance du moteur le plus couramment utilisée : ainsi, pour un moteur pouvant donner vingt chevaux, nous calculerons le cylindre compensateur en supposant que le moteur fonctionne normalement qu'en ne développant que seize chevaux. Le cylindre compensateur absorbera donc environ huit chevaux qui seront restitués lors de la détente, moins une faible perte, presque insignifiante.

Mais, d'autre part, le rendement sera accru par suite de l'augmentation de la régularité obtenue et de la suppression d'un coussinet (il ne faut que deux coussinets au lieu de trois).

Il est probable que l'augmentation du rendement due à ces deux dernières causes soit supérieure à la diminution du rendement provenant de la transformation d'une partie du travail.

### **Échauffement du cylindre compensateur.**

L'échauffement de ce cylindre n'est dû qu'aux frottements de son piston ; en effet, l'échauffement provenant de la compression de l'air est compensé par le refroidissement produit à la détente.

Mais, en réalité, par suite de cette compression suivie d'une détente, le cylindre compensateur a plutôt une tendance à se refroidir : en effet, lors de la compression il y a transmission de la chaleur de l'air comprimé aux parois du cylindre compensateur et de celles-ci à l'air extérieur. L'air comprimé se refroidit et, à la fin de sa détente, cet air sera très faiblement raréfié et par conséquent le refroidissement produit lors de la détente dépassera l'échauffement dû à la compression.

Les fuites de l'air à travers les segments du piston tendent également à produire une raréfaction de l'air à la fin de la détente dans le cylindre compensateur.

J'aurais pu ne pas vous faire remarquer que le cylindre compensateur a une tendance à se refroidir, car ce refroidissement est infiniment petit.

Pour savoir ce qui existe *réellement*, il suffit de constater ce qui se passe dans les machines à vapeur « Willans » bien connues. Celles-ci sont compound ou à triple expansion. En vue de supprimer les inversions d'efforts sur la bielle se produisant à la fin de la course arrière et dues à l'inertie, cette machine est munie d'un piston mis en communication avec l'air à la fin de la course motrice. Cet air, comprimé pendant la course arrière, est détenu ensuite.

On constate que, par suite de cette compression suivie de détente, il n'y a aucun échauffement.

Pour le cylindre compensateur, la compression suivie de détente est utilisée dans un but tout différent, mais, au point de vue de l'échauffement, c'est le même phénomène qui se passe.

#### **Economie quant à la construction.**

L'adjonction de ce cylindre à un moteur de deux cylindres à quatre temps donne au moteur de deux cylindres les avantages d'un moteur de quatre cylindres. Ce cylindre n'augmentera pas sensiblement le prix d'un moteur de deux cylindres et diminuera de beaucoup celui d'un moteur de quatre cylindres. En effet, ce cylindre compensateur ne possède ni soupapes d'admission, ni soupapes d'émission ; il est muni simplement d'une petite soupape permettant de rétablir la pression atmosphérique à l'intérieur de ce cylindre. Nous n'avons besoin que de deux coussinets, tandis que les moteurs à quatre cylindres doivent en avoir au moins trois. Les coudes de la manivelle étant l'un par rapport à l'autre à 180°, la construction de celle-ci est simple et peu coûteuse. L'arbre coudé devant être complètement équilibré, il est nécessaire que le coude attaquant la bielle du cylindre compensateur soit plus fort que ceux attaqués par les cylindres moteurs (voir fig. 3). Il s'ensuit que la forme de cette manivelle se rapprochera du solide d'égale résistance, ce qui est favorable à une construction solide.

REMARQUE. — L'adjonction de ce cylindre compensateur ne change en rien la manière de construire les cylindres moteurs.

#### **Avantages du cylindre compensateur appliqué aux moteurs à quatre et à deux temps.**

L'adaptation de ce cylindre à un moteur de deux cylindres à quatre temps ou à un moteur d'un seul cylindre à deux temps donne à ces moteurs les avantages d'un moteur à quatre cylindres. Non seulement nous avons une aussi grande régularité qu'avec ces

derniers tout en diminuant le nombre de cylindres-moteurs de moitié, mais encore ce moteur est plus robuste, son prix, son entretien sont moins élevés, les vibrations sont moins sensibles et l'équilibrage est presque parfait.

REMARQUE I. — Le moteur de deux cylindres à quatre temps avec cylindre compensateur n'est en réalité qu'un moteur à deux temps, tout en profitant du cycle à quatre temps.

REMARQUE II. — Le moteur d'un cylindre à deux temps avec cylindre compensateur n'est en réalité qu'un moteur à un temps. C'est peut-être une des seules manières d'obtenir un moteur à un temps (avec un seul cylindre-moteur) permettant de fonctionner à très grande vitesse.

#### **Applications de ce moteur.**

Ce moteur peut être appliqué aux groupes électrogènes, aux automobiles, aux canots automobiles, etc.

\* \* \*

## **II. — TRAMWAYS A AIR COMPRIMÉ**

### **Aéromoteurs.**

Avant de vous causer des voitures tamponnées par l'air comprimé telles que je les conçois, je vous rappellerai succinctement les conditions de fonctionnement et les résultats obtenus depuis longtemps par les tramways à air comprimé, afin d'appuyer la nouvelle étude sur des bases sérieuses.

De cette manière, je pourrai également simplifier la description des voitures pétroléo-pneumatiques.

#### **I. — Généralités.**

Les tramways emportent avec eux des réservoirs où l'air est emmagasiné à haute pression.

Il est évident qu'au fur et à mesure de la marche de la voiture, la pression diminue à l'intérieur des réservoirs. Or, il est nécessaire que l'air soit admis aux cylindres-moteurs à une pression constante pour un profil déterminé de la voie, et que, selon la variation de ce profil ou selon l'allure de la voiture, la pression d'admission de l'air

puisse varier : c'est ce qui a fait naître l'existence du *régulateur* qui permet de faire tomber par simple manœuvre de soupapes la pression de l'air des réservoirs à la pression devant être utilisée. Mais, de cette manière, il se peut qu'à la fin du parcours la pression de l'air des réservoirs ne soit pas suffisante pour faire avancer la voiture : ainsi, il se pourrait que l'on ait à donner un coup de collier où l'air devrait être admis à 12 atmosphères alors que la pression à l'intérieur des réservoirs ne serait que de 10.

Pour remédier à cette difficulté, on divise les réservoirs en deux parties dont la plus petite appelée *réserve* n'est utilisée qu'à la fin du parcours. De cette manière, on peut toujours avoir une pression suffisante pour vaincre toutes les difficultés qui peuvent se présenter.

Il est évident qu'en faisant tomber la pression des réservoirs à la pression d'admission, on perd pratiquement une partie notable du travail de détente compris entre les deux pressions. Mais il est à remarquer que la température de l'air pendant cette transformation n'a pas changé, puisqu'aucun travail n'a été produit. C'est là un principe qui a été démontré par Joule en 1845.

Mais cette perte peut être retrouvée en réchauffant l'air avant son introduction dans les cylindres moteurs. Par suite de la faible capacité calorifique de l'air, la dépense occasionnée par ce réchauffage est presque nulle, comme nous le verrons plus loin.

Telle est la description générale du fonctionnement des tramways à air comprimé.

Nous détaillerons les parties qui nous intéressent particulièrement.

## II. — Réservoirs d'air.

*De la pression.* — En vue d'avoir un grand approvisionnement, les uns préfèrent emmagasiner l'air à haute pression (sur les lignes de Versailles la pression atteint 80 atmosphères) ; d'autres adoptent les faibles pressions en vue de diminuer la perte du travail de détente. La formule connue :  $23.793 \log N$  kilogrammètres donnant le travail total de compression à  $N$  atmosphères d'un mètre cube d'introduction d'air (dont la température reste constante) dans les réservoirs permet de se rendre rapidement compte que le travail à produire croît rapidement avec la pression. En effet, aux pressions :

15	20	25	45	60	80	atmosphères
correspondent les travaux totaux ;						
27946	30955	33261	39335	42307	45280	

On voit qu'il y a avantage au point de vue du travail à produire d'utiliser les faibles pressions. C'est dans ce but que M. Popp comprime l'air entre 15 et 20 atmosphères seulement.

Mais, d'un autre côté, cette faible pression nécessite la présence de grands réservoirs et oblige à multiplier les points de chargement, à moins d'utiliser des appareils de chargement automatique; mais ceux-ci sont sujets à produire des accidents et des fuites.

Une pression trop élevée n'est pas à conseiller si l'on désire utiliser dans certaines parties la simple robinetterie à boisseau.

Ces considérations ont fait adopter des pressions variant entre 25 et 50 atmosphères.

*Capacité et poids des réservoirs.* — La consommation d'air d'une automobile est de 10 kilogrammes par kilomètre-voiture et de 12 kilogrammes si elle a une remorque. En prévoyant 2 kilogrammes pour les pertes et fautes manœuvres, nous aurons donc à emmagasiner pour un parcours de 10 kilomètres 140 kilogrammes d'air; lesquels pourront être facilement logés dans des réservoirs de deux à trois mètres cubes, l'air étant comprimé à 45 atmosphères. Ces réservoirs peuvent être aisément placés sur une automobile.

M. Mékarski place ses réservoirs au nombre de 9, traversalement entre les longerons, sous le plancher. Leur longueur est d'environ 1 m. 50 et leur diamètre de 0 m. 60. Leur capacité totale varie selon les types entre 2 mètres cubes et 1/2 et 3 mètres cubes.

Les réservoirs se composent de deux groupes: l'un appelé *batterie* se compose de sept réservoirs; l'autre, la *réserve*, se compose de deux réservoirs. Nous avons montré plus haut le but de cette réserve.

Le poids des réservoirs est de 12 kilogrammes par kilogramme d'air emmagasiné à 50 atmosphères; mais à présent, grâce aux aciers spéciaux, ce poids peut être fortement réduit.

### III. — Réchauffage de l'air.

L'air contient toujours une certaine quantité d'eau qui, par suite de l'abaissement considérable de la température à la fin de la détente, se transformerait sans réchauffage en petits grelons qui boucheraient rapidement les orifices et arrêteraient la machine.

C'est là un des inconvénients qui a retardé pendant longtemps l'utilisation des moteurs à air comprimé.

Il est donc nécessaire de chauffer l'air suffisamment pour qu'à la fin de la détente sa température ne soit pas inférieure à 0°.

Non seulement le réchauffage permet d'utiliser les moteurs à détente, mais encore il permet d'augmenter dans de grandes proportions le travail produit pendant cette détente.

L'air peut être réchauffé avant son entrée dans les cylindres ou pendant la détente, de manière à avoir une détente isotherme. Ces deux opérations peuvent également s'accomplir en même temps.

#### RÉCHAUFFAGE PRÉALABLE

Le premier procédé de réchauffage a été mis en pratique par M. Popp qui intercale un réchauffeur entre la conduite et l'aéromoteur.

Pour les installations fixes, l'air est amené de la canalisation urbaine à un petit poêle chauffé au coke et muni d'une double paroi avec chicane qui forme une enveloppe annulaire à travers laquelle l'air circule et en sort à une température assez élevée. L'air ainsi chauffé se rend à l'aéromoteur.

Nous pouvons représenter graphiquement les phénomènes qui se passent en réchauffant l'air de cette manière.

Supposons qu'un certain volume d'air AC à la pression P soit chauffé à pression constante. Il se dilatera et occupera un volume représenté par AC' (fig. 10).

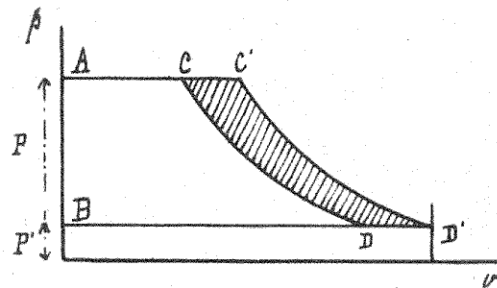


Fig. 10.

Les courbes CD et C'D' représenteront les détentes adiabatiques avec et sans réchauffage préalable.

L'augmentation de travail sera représentée par l'aire CC'D'D.

Pratiquement on a obtenu dans le cas de détentes adiabatiques (CD) c'est-à-dire sans réchauffage préalable, des consommations variant de 22 à 32 mètres cubes par cheval-heure.

En chauffant l'air dans des poêles à 170°, la température finale après détente adiabatique (C'D') était de 17° et la consommation a été réduite à 19 mètres cubes.

On voit donc qu'il y aurait intérêt à élever la température de l'air le plus possible. Mais, il y a une limite à ce réchauffage ; en effet, les huiles de graissage se décomposent à une certaine température. Il y a quelques années, à l'époque où l'on exploitait couramment les tramways à air comprimé, cette limite était de 270° ; mais, actuellement, grâce aux huiles spéciales que l'on utilise, il n'y a aucun inconvénient à dépasser beaucoup ce dernier chiffre.

#### AÉROMOTEUR COMPOUND

En vue d'éviter un réchauffage trop élevé et un abaissement trop considérable de la température, M. Popp fractionne la détente de telle façon que, dans un même cylindre, elle ne soit jamais poussée assez loin pour que la température tombe en dessous de 0°.

L'air, après un premier réchauffage, se détend partiellement dans le petit cylindre, puis passe dans un réservoir intermédiaire pour s'y réchauffer avant d'entrer dans le grand cylindre où la détente se prolonge.

Représentons graphiquement les phénomènes qui se passent :

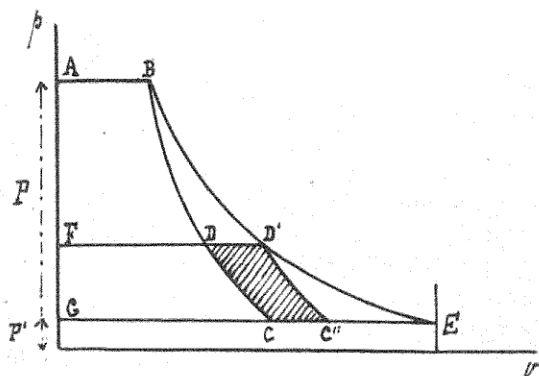


Fig. 11.

Soit AB le volume admis au petit cylindre, il se détend suivant l'adiabatique BD.

Si, après l'échappement, l'air est ensuite réchauffé jusqu'à sa température initiale, il rentrera dans le grand cylindre non sous le



volume FD, mais sous le volume FD', le point D' se trouvant sur l'isothermique partant du point B.

La détente au grand cylindre s'effectuera suivant l'adiabatique D'C''.

Le gain réalisé par la détente étagée sera donc représenté par l'aire DD'C''C.

#### RÉCHAUFFAGE PENDANT LA DÉTENTE

*Système Cornet.* — Ce procédé, qui consiste à réchauffer l'air pendant la détente, a été mis en pratique par M. Cornet qui injecte de l'eau dans l'aéromoteur pendant la détente au moyen d'une pompe foulante et d'un pulvérisateur.

Il faut injecter suffisamment d'eau pour que celle-ci, cédant son calorique à l'air, sa température ne descende pas en dessous de 0°. De cette manière on se rapproche de la détente isothermique.

Représentons graphiquement les phénomènes qui se passent :

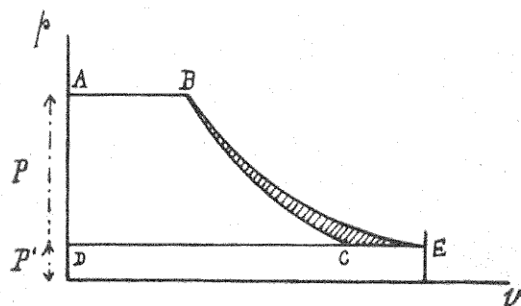


Fig. 12.

Soit AB un volume d'air admis à la pression P. La détente adiabatique de cet air est représentée par BC et celle isothermique par BE. Le gain de travail qu'amène dans ce cas le réchauffage est représenté par la surface de l'aire hachurée BEC (fig. 12).

Ce système a été souvent employé dans les mines en utilisant de l'eau à 20 ou 25°; mais il présentait comme difficulté pratique l'évacuation incommode de l'eau d'injection.

#### RÉCHAUFFAGE AVANT ET PENDANT LA DÉTENTE

*Système Mèkarsky.* — Ce système, appliqué aux tramways à air comprimé consiste à réchauffer l'air non seulement avant son introduction dans les cylindres, mais encore pendant la détente.

L'air des réservoirs, avant d'arriver au régulateur, traverse une bouillotte renfermant de l'eau chaude à  $160^{\circ}$  où il s'échauffe en se chargeant en même temps de vapeur d'eau, qui, lors de la détente, se condensera lorsque la température baissera et abandonnera sa chaleur latente de vaporisation.

De cette manière, la courbe de la détente se rapprochera plus de l'isothermique que de l'adiabatique.

Représentons par BC la détente adiabatique sans réchauffage préalable d'un poids déterminé d'air dont le volume est représenté par AB. Après réchauffage, le volume devient AB'. Si l'on ne réchauffe pas l'air pendant la détente, celle-ci se fera suivant l'adiabatique B'C'. En réchauffant l'air pendant la détente, celle-ci se fera suivant la détente représentée par B'E comprise entre l'isotherme B'E' et l'adiabatique B'C'.

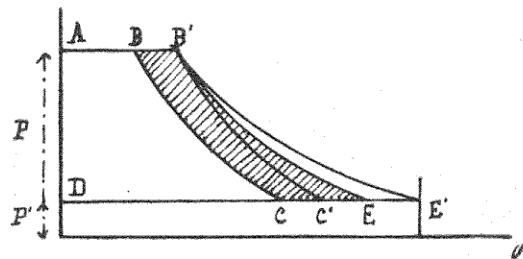


Fig. 13.

L'augmentation de travail obtenue sera donc représentée par la surface BCEB'.

#### EXEMPLES NUMÉRIQUES :

Rendons-nous compte par quelques chiffres de l'importance du réchauffage de l'air.

Supposons d'abord que l'air soit admis dans les cylindres moteurs à une température de  $15^{\circ}$  et se détente de 6 atmosphères à la pression atmosphérique et adiabatiquement, c'est-à-dire sans réchauffage pendant la détente.

La quantité de chaleur disparue pendant la détente par kilogramme d'air est de :

$$0,17 (T - T')$$

T et T' étant les températures absolues de l'air avant et après

la détente et 0,17 étant la capacité calorifique de l'air sec.

Le travail correspondant sera :

$$425 \times 0,17 (T - T') \quad (1)$$

425 étant l'équivalent mécanique de la chaleur.

Ecrivons la formule de Laplace :

$$\frac{T}{T'} = \left( \frac{P}{P'} \right)^{0,291} \quad (2)$$

Dans notre cas :

$$\frac{P}{P'} = 6.$$

Supposons l'air introduit dans les cylindres successivement aux températures centigrades :

15°      100°      150°      200°      300°

auxquelles il suffit d'ajouter 273 pour avoir les températures absolues T.

La formule (2) nous donnera les températures T' à la sortie de l'air auxquelles correspondent les températures centigrades suivantes :

— 102°      — 52°      — 22°      + 8°      + 67°.

Par la formule (1) nous obtiendrons les travaux en kilogrammètres correspondant à ces chutes de températures :

8,354      10,853      12,281      13,709      16,636

On voit donc qu'en réchauffant l'air à 300° on double le travail produit par la détente.

Mais, cette augmentation de travail n'est obtenue qu'à l'aide d'une dépense de combustible ; seulement, la quantité de chaleur absorbée par ce réchauffage est presque nulle.

En effet, pour 300° elle est de  $0,17 \times 300 = 51$  calories par kilogramme d'air, c'est-à-dire la chaleur fournie par la combustion de 10 grammes de charbon.

Dans un essai comparatif sur un même moteur, on a obtenu les chiffres suivants pour le coût d'un cheval-heure :

A froid, le moteur consomme 25 m3 284 à 1,5 centime, d'où une dépense de 38 centimes. A chaud, la consommation d'air est de 18 m3 890 à 1,5 centime, celle du charbon nécessaire au réchauffage étant de 0 kilog. 18 à 5 centimes, ce qui amène une dépense totale de 29 centimes.

Supposons à présent que la température de l'air reste constante pendant la détente.

Pour comprimer de 1 à 6 atmosphères un mètre cube d'air dont la température est constante, il faut développer :

$$23.793 \log. 6 = 18.515 \text{ kilogrammètres.}$$

Aux températures considérées précédemment le poids du mètre cube étant de :

$$1 \text{ kg. } 226 \quad 0 \text{ kg. } 946 \quad 0 \text{ kg. } 835 \quad 0 \text{ kg. } 746 \quad 0 \text{ kg. } 616$$

Nous devons donc développer pour comprimer de 1 à 6 atmosphères un kilogramme d'air à ces diverses températures :

$$15.110 \quad 19.560 \quad 22.190 \quad 24.810 \quad 30.060 \text{ kilogrammètres.}$$

Attendu que les phénomènes sont réversibles, 1 kilogramme d'air pris aux températures précédentes, en se dilatant de 6 à 1 atmosphère, sans changer de température, produit par sa détente seule les quantités de travail précédentes.

En comparant les différents chiffres obtenus, on voit que :

1° Le travail de la détente adiabatique de 1 kilogramme d'air à 6 atmosphères sans réchauffage préalable est 8.354 kilogrammètres ;

2° Le travail de la détente adiabatique de 1 kilogramme d'air à 6 atmosphères avec réchauffage préalable de l'air à 300° est de 16.636 kilogrammètres, c'est-à-dire double du travail précédent ;

3° Le travail de la détente isothermique (température constante à l'intérieur du cylindre) de 1 kilogramme d'air à 6 atmosphères avec le réchauffage préalable de l'air à 300° est de 30.060 kilogrammètres, c'est-à-dire un travail 3,6 fois plus grand que dans le cas de la détente adiabatique sans réchauffage préalable.

Pratiquement, en échauffant l'air pendant la détente comme le fait M. Mékarsky, on obtient un travail de détente égal à peu près à la moyenne arithmétique de ceux que donneraient les détentes isothermiques et adiabatiques.

Nous pouvons facilement nous rendre compte qu'il suffit d'un faible poids d'eau pour réchauffer l'air et le saturer de vapeur, comme le fait M. Mékarsky.

Le poids d'eau pratiquement emmagasiné dans la bouillotte, à 160° est de 300 kilogrammes pour une provision de 200 kilogrammes d'air à 50 atmosphères.

#### IV. — Rendements.

*Rendement du compresseur.* — Le rendement dynamique du compresseur est le rapport entre le travail minimum de compression correspondant à l'hypothèse de la loi isothermique au travail indiqué de la vapeur sur le piston de la machine motrice.

Dans les compresseurs ordinaires, le rendement dynamique est de 0.65; mais, dans d'excellentes conditions, on peut atteindre 0.75.

*Rendement de la canalisation.* — Celui-ci est le rapport de la quantité de travail que peut rendre l'air à la sortie de la conduite, à la quantité de travail disponible à son entrée dans celle-ci.

Ce rendement est ordinairement très élevé.

*Rendement de l'aéromoteur.* — C'est le rapport du travail indiqué sur le piston de l'aéromoteur au travail de la détente isothermique complète.

Nous avons vu plus haut que la consommation minimum d'air nécessaire par cheval-heure avec détente adiabatique à froid varie entre 22 et 32 mètres cubes. Prenons la moyenne 27 mètres cubes.

Avec la détente isotherme, il faudrait 14,58 mètres cubes par cheval-heure.

Le rendement de l'aéromoteur avec détente adiabatique sera donc de :

$$\frac{14,58}{27} = 0,54.$$

Si nous réchauffons l'air avant son introduction dans le moteur, la consommation étant alors de 19 mètres cubes, le rendement sera dans ce cas :

$$\frac{14,58}{19} = 0,767.$$

Mais, en réchauffant l'air en même temps pendant la détente on se rapprochera de l'isothermique et le rendement se rapprochera de l'unité. On pourrait même dépasser l'unité attendu que le combustible employé à chauffer l'air lui fournit de l'énergie.

*Rendement final de la transmission.* — C'est le rapport du travail indiqué sur le piston de l'aéromoteur à celui dépensé pour comprimer l'air.

Il est évidemment égal au produit des trois rendements précédents.

Donc, si le rendement dynamique total du compresseur est de 0,65,

celui de la canalisation de 0,976, et celui de l'aéromoteur égal à l'unité, le rendement final sera :

$$0,65 \times 0,976 \times 1 = 64 \text{ } \%. .$$

Ce rendement varie, mais il est difficile de dépasser 65 %.

Pratiquement, on calcule le rendement final comme étant le rapport du travail utile mesuré au frein sur l'arbre de l'aéromoteur au travail indiqué de la machine motrice à vapeur.

Dans ce cas, il faudra introduire dans les calculs un quatrième facteur : le rendement organique de l'aéromoteur, que l'on peut égaler à 0,80.

Le rendement final serait alors :

$$0,64 \times 0,80 = 51,20 \text{ } \%. .$$

Voyons ce que l'expérience donne dans le cas des tramways à air comprimé.

D'après les relevés faits pendant une année à la Compagnie des Chemins de fer nogentais, la consommation d'air par kilomètre parcouru a été 10 kilogrammes.

Les compresseurs peuvent fournir au minimum 5 kilogrammes d'air comprimé à 45 atmosphères par cheval-heure, ce qui nous donne deux chevaux-heure au maximum pour valeur de la force employée à l'usine pour comprimer les 10 kilogrammes d'air, laquelle correspond à :

$$2 \times 75 \times 3.600 = 540.000 \text{ kilogrammètres.}$$

L'effort moyen de traction d'un tramway sur rails est de 15 kilogrammes; son poids moyen en charge, de 12 tonnes; le travail dépensé pour tirer l'automobile par kilomètre est :

$$15 \times 12 \times 1.000 = 180.000 \text{ kilogrammètres.}$$

Le rapport entre le travail effectivement produit et le travail dépensé à l'usine est donc :

$$\frac{180.000}{540.000} = 0,33.$$

Ce rendement est inférieur à celui obtenu précédemment par suite du rendement organique de l'automobile et de celui de la canalisation qui sont inférieurs à ceux envisagés plus haut.

En outre, les compresseurs et moteurs utilisés dans les essais ne possédaient pas tous les perfectionnements possibles. Les fuites sont aussi une cause de ce faible rendement.

Dans la locomotive à air comprimé étudiée par M. Mékarsky, les cylindres sont en tandem et permettent d'utiliser une pression d'admission plus élevée.

L'air est réchauffé à 120°.

Dans ces conditions, le rendement de la locomotive ne serait pas éloigné de 51 %.

\* \* \*

### III. — VOITURE PÉTROLÉO-PNEUMATIQUE

(Tamponnage pneumatique)

(Brevets H. Dalebroux)

Par suite de sa constitution, le moteur à explosions ne peut être appliqué à l'automobile qu'en utilisant des artifices.

Une solution est la transmission mécanique par cône d'embrayage, changements de vitesse et différentiel. Ce procédé peut être applicable à des voitures légères ; mais, s'il s'agit des « poids lourds », il n'en est pas moins que barbare.

Les inventeurs ont donné au problème qui se présentait diverses solutions. Citons entre autres : Le tamponnage du moteur à explosions par une batterie d'accumulateurs, la transmission électrique, la transmission hydraulique.

La comparaison de ces divers procédés a été décrite précédemment.

La solution que je préconise est le *tamponnage du moteur à explosions par l'air comprimé*.

Pour cela, il faut, dans les descentes et lorsque l'on freine, un compresseur servant à accumuler de l'air dans un réservoir et un aéromoteur qui puisse utiliser cet air aux démarrages et dans les côtes.

Attendu que le compresseur et l'aéromoteur ne doivent jamais fonctionner simultanément, la même machine servira soit comme compresseur, soit comme moteur ; de même que dans les voitures tamponnées électriquement, c'est le même organe qui fonctionne soit comme moteur, soit comme générateur.

L'appareil dont je me sers pour remplir cette double fonction est le cylindre compensateur du moteur décrit précédemment.

La figure 14 montre la disposition générale de cette voiture.

Il est facile de concevoir que ce cylindre compensateur 4 peut être relié par une conduite 3 à un réservoir 2.

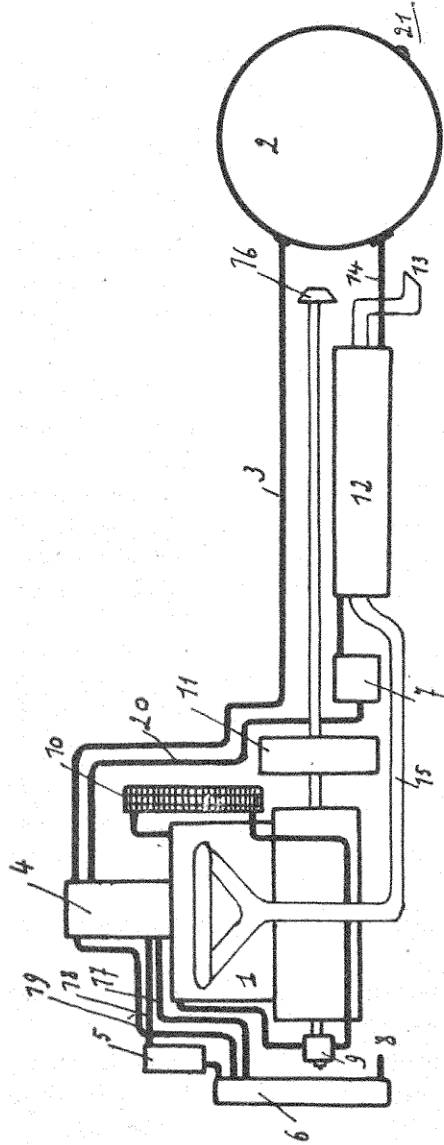


Fig. 14.

LÉGENDE :

- |  |  |   |
|--|--|---|
| 1. Moteur.                                       | 9. Pompe centrifuge.                                       | 17. Echappement de l'air de l'aéromoteur.   |
| 2. Réservoir d'air comprimé.                     | 10. Radiateur.   | 18. Sortie de l'air après la première compression.                                  |
| 3. Conduite de l'air comprimé dans le réservoir. | 11. Embrayage.   | 19. Rentrée de l'air comprimé dans le petit cylindre après la première compression. |
| 4. Cylindre compensateur.                        | 12. Echangeur et silencieux.                               | 20. Entrée de l'air comprimé dans le petit cylindre de l'aéromoteur.                |
| 5. Réservoir intermédiaire.                      | 13. Echappement des gaz brûlés.                            | 21. Soupape.  |
| 6. Récipient d'eau ou échangeur de chaleur.      | 14. Conduite d'arrivée de l'air comprimé dans l'échangeur. |   |
| 7. Régulateur.                                   | 15. Conduite des gaz brûlés dans l'échangeur.              |   |
| 8. Emission de l'air de l'aéromoteur.            | 16. Pignon d'attaque du différentiel.                      |   |



Ce dernier agira de la même manière que la batterie-tampon formée d'accumulateurs électriques.

Aux démarrages et dans les côtes, la détente de l'air dans le cylindre compensateur permet d'aider le moteur à essence, et quand celui-ci aura un excès de puissance, cet excès sera récupéré par le cylindre compensateur faisant fonction de compresseur.

Lorsque la voiture roule à une allure telle que toute la puissance du moteur thermique soit utilisée, le piston du cylindre compensateur sera soumis alors à l'action de la pression de l'air du réservoir et agira comme équilibreur. Ainsi, l'action compensatrice de ce cylindre sera plus judicieuse que dans le cas où celui-ci n'est pas réuni à un réservoir où l'air est sous pression.

REMARQUE. — La construction d'un appareil pouvant fonctionner consécutivement comme aéromoteur et compresseur ne présente aucune difficulté.

En effet, un tel appareil a déjà été utilisé pour faciliter la mise en marche des moteurs à courants alternatifs. Au démarrage, on l'utilisait comme aéromoteur; et, lorsque le moteur électrique fonctionnait normalement, ce même appareil comprimait l'air nécessaire au démarrage.

#### **Compression de l'air dans le réservoir.**

A quelle pression faudra-t-il comprimer l'air dans le réservoir?

Comme nous l'avons vu dans l'exposé sommaire fait sur les tramways à air comprimé, la perte du travail de détente croît avec la pression.

D'autre part, une faible pression oblige à utiliser des réservoirs de grandes capacités.

Pour ces considérations, nous utiliserons une pression comprise entre 25 et 30 atmosphères.

Pour atteindre cette pression dans de bonnes conditions, il est évident que nous devons utiliser une compression à deux étages.

A cet effet, le cylindre compensateur se composera de deux cylindres dont les pistons 1 et 2 seront disposés en tandem comme l'indique le schéma représenté par la figure 15.

Ces derniers seront reliés par une même tige 3, le piston 1 étant seul attaqué par une bielle dont l'axe est représenté par 4.

Chaque piston comprimera à simple effet sur sa face supérieure de manière qu'il puisse remplir aux moments opportuns leur rôle de compensateur.

L'air sera comprimé par le piston 1 de 1 à 5 atmosphères, par exemple dans un réservoir intermédiaire 5 (fig. 14), et de celui-ci, il passera au cylindre supérieur pour être comprimé à 25 atmosphères. Le piston 2 ne subissant pas de pression latérale, peut être moins long que le piston 1, ce qui diminue l'encombrement nécessité par ce cylindre.

L'air, après avoir été comprimé de 1 à 5 atmosphères, doit être refroidi. Dans ce but, après la première compression, il traversera le réservoir intermédiaire 5 (fig. 14), et de là, il passera à travers un tube en forme de serpentín 1 (fig. 16) placé dans un récipient 4 contenant de l'eau.

Pour opérer le refroidissement de celle-ci, l'air détendu dans l'aéromoteur avant son émission dans l'atmosphère traversera un tube 2 également en forme de serpentín et placé dans ce même récipient. Celui-ci est représenté par 6 dans la figure 14.

De cette manière la température de l'air avant sa deuxième compression sera ramenée à une vingtaine de degrés et cela sans devoir produire une circulation de l'eau placée dans ce récipient.

Après la plus haute compression, l'air sera refoulé par la conduite 3 dans le réservoir 2 (fig. 14).

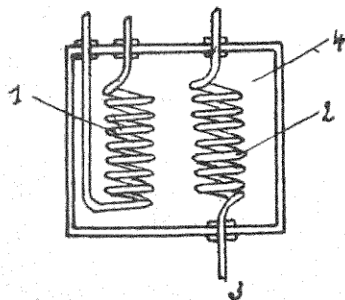


Fig. 16.

REMARQUE. — En vue de diminuer le plus possible l'influence de l'espace nuisible lors de la compression, la course des pistons sera la plus grande admissible. Celle du grand piston sera au moins aussi longue que le diamètre du grand cylindre. L'avantage d'une

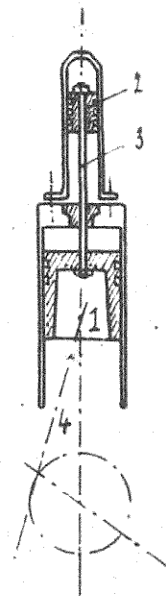


Fig. 15.

longue course permet également une longue détente lors du fonctionnement du cylindre compensateur comme aéromoteur; et, par conséquent, une plus haute pression d'admission, avantage indiqué précédemment.

#### **Détente de l'air dans l'aéromoteur.**

De même que nous comprimons l'air au moyen d'une compression étagée, nous profitons de la facilité qui se présente pour diviser en deux parties la détente de celui-ci dans l'aéromoteur.

L'air se détendra d'abord dans le petit cylindre à la sortie duquel on le réchauffera en le faisant circuler dans une enveloppe placée autour des cylindres moteurs; puis, la détente se prolongera dans le grand cylindre.

Le principal avantage de cette double détente, est de pouvoir admettre l'air à l'entrée du petit cylindre à une pression beaucoup plus élevée que si nous n'avions qu'une seule détente. La pression d'admission pourra, en effet, être ainsi de 10 à 12 atmosphères.

Le fonctionnement permettant au cylindre compensateur de satisfaire à ces conditions, peut se faire aisément en le munissant d'une distribution judicieusement appropriée.

#### **Régulateur.**

Pour amener la pression du réservoir à celle d'utilisation, nous nous servirons d'un régulateur 7 (fig. 14), semblable à ceux utilisés pour les tramways à air comprimé.

#### **Réchauffage de l'air. — Echangeur.**

Non seulement nous réchaufferons l'air dans un réservoir intermédiaire, mais encore nous l'échaufferons avant son entrée dans le petit cylindre.

Dans ce but, nous nous servirons d'un échangeur dont la chaleur nécessaire pour échauffer l'air sera empruntée aux calories provenant des produits de la combustion dans les cylindres moteurs, calories perdues actuellement.

Les figures 17 et 18 sont les schémas des deux coupes principales passant à travers l'échangeur que je préconise.

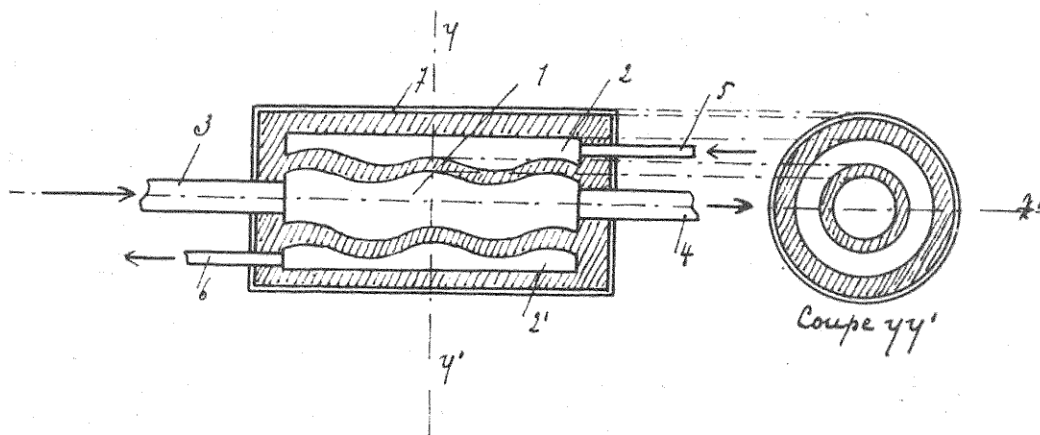


Fig. 17 et 18.

Celui-ci se compose d'un bloc métallique ayant deux chambres distinctes : la première est un cylindre formé par la surface 1 tournant autour de l'axe  $xx'$  et la deuxième est un tore formé par la révolution de la surface 2 autour du même axe.

Ces deux chambres sont remplies de rognures métalliques de manière à présenter une grande surface en contact avec les gaz et cela sans grande complication.

Les produits brûlés de la combustion arrivent à haute température dans l'échangeur par 3 et en sortent par 4 après avoir échauffé les rognures placées dans la chambre 1 ; tandis que l'air arrive du réservoir par la conduite 5, s'échauffe au contact des rognures placées dans la chambre torique 22' et en sort par la conduite 6 pour se rendre au régulateur. L'échangeur sera entouré de calorifuge 7 en vue d'éviter le plus possible les pertes de chaleur vers l'extérieur.

Les gaz brûlés passent d'une façon continue à travers l'échangeur, tandis que l'air ne le traverse que par intermittences à des intervalles de temps ordinairement assez éloignés les uns des autres et pendant un temps habituellement très court. Il s'ensuit que cet appareil conviendra parfaitement pour échauffer toujours fortement l'air.

D'autres dispositions d'échangeur, meilleures mêmes que celle-ci

permettent de résoudre cette question. Mon but n'est que d'en montrer une solution simple.

L'air en passant dans l'échangeur s'échauffera d'abord fortement. La température de l'air due à ce réchauffage diminuera au fur et à mesure de son passage jusqu'au moment où le régime sera établi. Il faut calculer l'échangeur de telle façon qu'à ce moment la température de l'air soit suffisamment élevée pour qu'à la fin de sa détente dans l'aéromoteur elle ne descende jamais en dessous de 0°. L'échauffement de l'air de cette manière ne coûte absolument rien.

Il présente, en outre, l'avantage de refroidir les produits brûlés avant leur échappement, car, ce refroidissement produit une contraction facilitant l'émission de ces produits.

La disposition de l'échangeur par rapport au réservoir (fig. 14) montre que nous n'échauffons pas l'air à l'intérieur de celui-ci, mais à sa sortie seulement.

En effet, il est préférable que l'air placé dans le réservoir soit le plus froid possible en vue de pouvoir en accumuler un grand poids sous le plus petit volume.

Nous placerons le régulateur de manière que l'air y passe, non pas avant d'avoir traversé l'échangeur, mais après son passage dans ce dernier, de manière qu'au moment d'utiliser l'aéromoteur, nous ayons déjà une certaine quantité d'air qui ne contribuera pas à refroidir l'échangeur. En effet, voici le phénomène qui se passe : lorsque les gaz brûlés passent à travers l'échangeur, sans que l'air ne le traverse, les chambres 1 et 2 prennent rapidement une température de régime.

Si nous plaçons le régulateur à la sortie de l'air de l'échangeur, nous aurons à notre disposition la quantité d'air chaud se trouvant dans l'échangeur et nous bénéficierons de la chaleur qui lui a été fournie.

Cette disposition permet aussi à la conduite 5 de s'échauffer par conductibilité (fig. 17), de telle sorte que l'air arrivant dans l'échangeur s'échauffe progressivement.

Dans la figure 14 l'échangeur est représenté par 12 et le régulateur se placera en 7. Nous aurons soin d'entourer les conduites 15 et 20 de calorifuge.

Les deux cylindres moteurs ainsi que le cylindre compensateur seront entourés d'une enveloppe d'eau ordinaire. Pour établir la circulation et le refroidissement de celle-ci, nous nous servirons comme dans tous les moteurs d'une pompe 9 et d'un radiateur 10 (fig. 14).

La circulation d'eau autour du cylindre compensateur a pour but de le refroidir lorsqu'il agit comme compresseur et de le réchauffer quand il fonctionne comme aëromoteur : en effet, la compression et la détente amèneront toujours une température respectivement plus ou moins élevée que celle de l'eau de circulation.

En résumé, nous avons : 1<sup>o</sup> pour la compression : refroidissement pendant celle-ci et après la première compression ; 2<sup>o</sup> pour la détente : l'air est échauffé avant et pendant chaque détente.

Donc, la compression et la détente de l'air s'effectueront suivant des courbes se rapprochant de l'isothermique, c'est-à-dire dans les meilleures conditions admissibles.

REMARQUE. — Le cylindre compensateur n'agissant toujours comme compresseur ou moteur que momentanément, il n'y a pas lieu de craindre un échauffement ou un refroidissement nuisible, attendu qu'une température de régime n'aurait pas le temps de s'établir. D'ailleurs, par les moyens prévus, l'échauffement ni le refroidissement ne sauraient être poussés fort loin.

#### Vitesse du groupe.

Au point de vue du compresseur, il est nécessaire d'employer un moteur tournant à marche lente. C'est pourquoi, nous ne dépasserons pas la vitesse de 750 tours par minute.

Mais, s'il est utile d'avoir un bon compresseur, il est pour les « poids lourds » d'une bien plus grande importance d'avoir un moteur thermique fonctionnant dans les meilleures conditions. En effet, celui-ci fonctionne continuellement, tandis qu'on ne doit comprimer que par intermittences.

Donc, si le rendement de ce dernier n'a guère d'importance, il n'en est pas de même de celui du moteur thermique, pour lequel, l'économie de fonctionnement doit être considérée avec grande attention.

Entre le moteur des voitures légères et celui des « poids lourds » la différence est grande. En effet, pour ces derniers, la solidité, l'endurance et l'économie priment la légèreté. Or, c'est précisément le moteur à marche lente qui possède ces qualités et convient particulièrement aux besoins des « poids lourds ».

Cette marche lente aura comme cause l'augmentation du poids du moteur ; mais, il est à remarquer que cette réserve en air comprimé permet d'éviter la présence d'un moteur extrêmement puissant et peu économique en marche normale.

### **Capacité des réservoirs.**

En se rapportant aux chiffres obtenus pratiquement par les tramways fonctionnant par l'air comprimé et aux conditions de fonctionnement des moteurs d'automobiles, on peut en déduire la capacité du réservoir nécessaire pour tamponner le moteur thermique. Considérons un service d'autobus : dans ce cas, le trajet de la voiture automobile est bien déterminé et on pourra connaître exactement le volume d'air à accumuler.

Considérons le cas d'un autobus, comportant trente-six places, destiné aux transports en commun dans les grandes villes, pesant, la charge complète, 6.500 kilogrammes et muni d'un moteur thermique de 30 chevaux. Prenons, par exemple, le trajet très défectueux situé à Bruxelles entre la Bourse et la place Communale d'Ixelles et vice-versa, soit 6 kilomètres.

Nous avons vu que la quantité d'air nécessaire pour un tramway de 12 tonnes était en moyenne de 10 kilogrammes par kilomètre-voiture, l'air étant comprimé à 45 atmosphères.

Admettons que le moteur à air fournisse d'une façon continue une puissance égale au tiers de la puissance totale, laquelle serait donc de 45 chevaux.

Dans ces conditions, nous aurons besoin, par kilomètre-voiture, au maximum de 2 kilogrammes, soit 6 kilogrammes pour les 3 kilomètres de la montée.

Dans la descente, on n'utilisera pas d'air ; au contraire, nous l'accumulons. Ces 6 kilogrammes d'air à 45 atmosphères pourront aisément se placer dans un réservoir de 130 litres.

En employant l'air à 25 atmosphères, notre réservoir devrait avoir une capacité maximum de 250 litres. Par mesure de précaution, nous utiliserons un réservoir de 300 litres. Celui-ci peut, sans difficultés, se placer sur une voiture automobile.

REMARQUE. — Il est inutile de diviser les réservoirs en deux parties. En effet, pour cette voiture la « réserve » n'a pas de raison d'être.

### **Poids des réservoirs.**

Nous pouvons admettre un poids de 6 kilogrammes par kilogramme d'air emmagasiné à 25 atmosphères ; ce qui fait, pour un réservoir pouvant contenir 8 kilogrammes d'air par exemple, un poids de 48 kilogrammes.

### De la variation de puissance.

Avec l'air comprimé, on pourra faire varier la puissance du cylindre compensateur (fonctionnant comme aéromoteur) jusqu'à doubler celle du moteur à essence. Il suffira pour cela de changer simplement la pression d'admission de l'air.

Cette variation de puissance ne peut être obtenue électriquement qu'au moyen d'une batterie et d'un moteur électrique d'un poids et d'un prix très élevés.

### Suppression des changements de vitesse mécanique.

Par suite de la facilité avec laquelle on peut faire varier la puissance du moteur thermique pour une même vitesse déterminée de celui-ci, nous pouvons, comme dans la voiture tamponnée électriquement, supprimer la boîte de changements de vitesse sans aucun inconvénient.

Nous nous servirons simplement de roues dentées pour la marche en arrière.

### Représentation graphique.

Nous pouvons exprimer graphiquement le but réalisé par ce procédé (fig. 19).

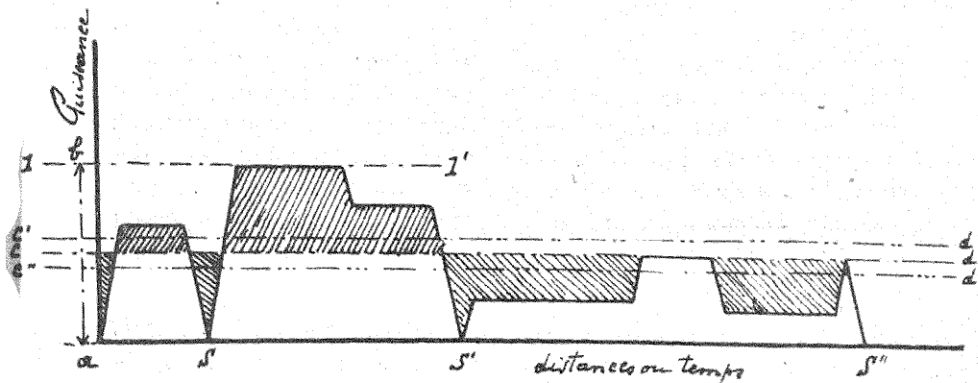


Fig. 19.

Soit un diagramme donnant la puissance que doit avoir à chaque instant le moteur en fonction du chemin parcouru, pour une vitesse constante de la voiture.



Si nous n'augmentons pas le couple par un changement de vitesse, il faudrait que la puissance du moteur fût d'au moins 65 chevaux et variât continuellement.

Dans ces conditions, le moteur à essence ne pourrait fonctionner économiquement que fort rarement.

Représentons par  $cd$  la puissance moyenne fournie par le moteur. Prenons-la, par exemple, égale à 30 chevaux.

Les surfaces hachurées en dessous de  $cd$  sont égales à celles se trouvant au-dessus de cette même ligne.

Dans la voiture pétroléo-pneumatique le moteur à essence aura toujours la même puissance  $cd$ , car les variations de celle-ci seront fournies par le cylindre compensateur fonctionnant soit comme compresseur, soit comme aëromoteur.

Dans ces conditions, chaque fois que nous atteindrons un point de même altitude, nous nous trouverons dans les mêmes conditions qu'au départ, c'est-à-dire que la pression de l'air dans le réservoir sera la même à chaque point de même niveau.

Comme pratiquement, le rendement de la transmission pneumatique n'est pas égal à l'unité, cette dernière condition ne sera satisfaite qu'en augmentant un peu la puissance moyenne du moteur à essence. Nous la prendrons égale à l'ordonnée de  $c'd'$  correspondant à environ 35 chevaux.

Par ce faible accroissement de la puissance du moteur, nous disposerons, pour accumuler l'air d'un travail trois fois environ plus grand que celui qui doit être rendu par l'aëromoteur.

Nous avons supposé dans ce qui précède que nous ne comprimions que lorsque la voiture est en marche ; mais, *pratiquement*, nous pouvons comprimer lorsque celle-ci est à l'arrêt. Ainsi, si nous considérons un service d'autobus, à chaque stationnement (correspondant aux points  $S$   $S'$   $S''$ ) nous pourrions comprimer si la pression de l'air dans le réservoir n'est pas à son maximum.

Dans ces conditions, au lieu de devoir augmenter la puissance du moteur, nous pourrions la diminuer et lui donner une valeur réelle représentée par l'ordonnée de  $c''d''$ .

REMARQUE. — Il résulte de ce qui précède que nous pouvons considérer le cylindre compensateur comme un auto-régulateur de la vitesse.

Nous calculerons la valeur de  $cd$  de telle façon qu'elle corresponde à la puissance qui permettrait de faire fonctionner la voiture en palier à la vitesse considérée, laquelle doit correspondre

à l'allure la plus habituellement utilisée. En effet, avec les « poids lourds » il existe une vitesse déterminée dont on ne s'écarte pas souvent et comprise, selon le genre de véhicule, entre 10 et 25 kilomètres à l'heure.

Il peut arriver que l'excès de puissance donné par le moteur à essence ne soit pas suffisant pour comprimer l'air tout en maintenant la vitesse de la voiture et par conséquent tout le travail représenté par les surfaces situées en dessous de *cd* ne pourrait être complètement récupéré. Mais d'autre part, il existe des motifs (passages difficiles, règlements) forçant la voiture à rouler à une vitesse inférieure à celle habituellement utilisée et pendant laquelle nous pourrions comprimer l'air grâce à l'embrayage spécial que nous préconisons permettant au moteur de donner sa puissance maximum même lorsque la voiture avance à une vitesse réduite.

#### Embrayage.

Les figures 20 et 21 donnent le schéma des coupes de cet embrayage.

Supposons le moteur en marche et que nous désirons démarrer.

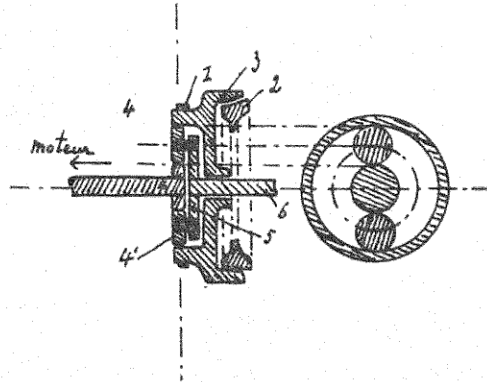


Fig. 20 et 21.

Nous voyons qu'en serrant le frein à bande 1 nous immobilisons progressivement la couronne 3. Les satellites 4 et 4' vont se développer sur la couronne 3 dentée intérieurement et entraîneront le plateau 5 et par conséquent l'arbre 6 qui tournera à la vitesse réduite.

Pour tourner à la vitesse normale, il suffira de desserrer le frein à bande 1 et d'embrayer le cône 2 solidaire de l'arbre 6 dans le sens de la rotation. Nous aurons ainsi la prise directe sans l'intervention des roues dentées.

Le cône 2 peut être remplacé par un embrayage à plateaux métalliques.

En résumé, il suffit d'agir sur 1 ou sur 2 pour avoir la vitesse réduite ou l'embrayage direct. Cet embrayage permet de démarrer avec une souplesse remarquable et cela au moyen d'une seule manœuvre; et, il est à remarquer, que, quelle que soit la rapidité de sa manœuvre, celui-ci se faisant toujours progressivement les roues dentées ne peuvent jamais recevoir de chocs.

L'embrayage est calculé de manière que la voiture puisse gravir toutes les côtes sans l'aide de l'aéromoteur. Ceci est utile pour le cas où il arriverait un accident à ce dernier.

Donc, cet embrayage est fait dans le but d'avoir un démarrage extrêmement progressif et fort rapide, d'utiliser le moteur dans les meilleures conditions et de prévoir les accidents pouvant se produire aux appareils à air.

L'embrayage à bande ne sera utilisé qu'exceptionnellement, attendu que lorsque la voiture roule normalement, c'est toujours la prise directe que nous employons, celle-ci pouvant toujours être utilisée grâce aux fonctions du cylindre compensateur.

REMARQUE. — Il peut arriver dans des cas exceptionnels que l'on ait à gravir une rampe très longue telle que la réserve de l'air emmagasiné ne soit pas suffisante pour tamponner pendant toute la rampe.

Grâce à cet embrayage spécial, nous pourrions continuer notre route sans devoir attendre que le réservoir soit rechargé.

### **Manœuvres.**

Dans l'auto mixte tamponnée par une batterie d'accumulateurs électriques, les variations d'allure se font au moyen du levier commandant l'excitation.

Dans cette voiture-ci ces variations s'effectueront en faisant fonctionner le cylindre compensateur comme compresseur ou aéromoteur et en faisant varier la pression d'admission de l'air au moyen du régulateur. Ces trois opérations s'effectueront au moyen d'un seul levier.

Voyons de quelle manière il faut agir pour utiliser le minimum d'air.

Supposons la voiture à l'arrêt. Après la mise en marche du moteur à essence, nous embrayons pour démarrer. La vitesse du moteur thermique tombera, de ce fait, admettons à trois cents tours, à laquelle correspondra une puissance non suffisante pour faire avancer la voiture. Nous fournirons donc la puissance supplémentaire nécessaire au moyen de l'aéromoteur de manière à augmenter la vitesse jusqu'au moment où les cylindres thermiques auront une puissance suffisante pour faire avancer le véhicule. Celle-ci est, en effet, fonction de la vitesse de la voiture, puisque normalement le moteur attaque le différentiel en prise directe.

Il faut donc arriver le plus rapidement à la vitesse permettant de donner aux cylindres thermiques une puissance suffisante pour actionner la voiture par leurs propres moyens.

Pour cela, il faut introduire l'air dans l'aéromoteur à haute pression et ouvrir complètement la valve d'admission du mélange tonnant.

D'ailleurs, il faut toujours qu'automatiquement cette valve s'ouvre complètement dès que fonctionne l'aéromoteur.

Non seulement, de cette manière nous acquérons rapidement la vitesse demandée, mais encore, en admettant l'air à haute pression, l'on augmente le rendement de la transmission pneumatique.

En outre, en agissant de la sorte, le moteur à essence atteindra rapidement sa vitesse de régime et ne fonctionnera toujours que momentanément dans de mauvaises conditions.

*Mise en marche automatique du moteur thermique.* — Celle-ci peut s'effectuer facilement grâce à la réserve d'air comprimé.

#### **Rendement.**

En comparant le rendement de la transmission pneumatique de cette voiture à celui obtenu pratiquement par les tramways à air comprimé, nous ne ferons pas d'erreur, à admettre, dans notre cas, un rendement de 50 %.

Dans le cas de la voiture pétroléo-pneumatique, le rendement de la transmission n'est relatif qu'à une petite fraction du travail réellement produit; c'est pourquoi, ce rendement n'a en réalité qu'une minime importance.

Mais, grâce à la transformation de cette faible fraction de la puissance produite, nous pouvons utiliser un moteur moins puis-

sant et fonctionnant toujours avec la même charge, c'est-à-dire dans les meilleures conditions; de telle sorte que, par l'artifice que nous employons, nous élevons de beaucoup le *rendement final moyen* de la voiture.

#### **Freinage de la voiture par l'air comprimé.**

Les freins ordinaires ont le grand désavantage de s'échauffer rapidement et cet effet se produit surtout dans les pays montagneux où les descentes sont longues. Aussi, il est nécessaire de munir les voitures d'au moins deux freins, de manière à les utiliser à tour de rôle, et, malgré cela, ils s'usent fort rapidement.

De plus, attendu qu'ils agissent souvent brusquement, ils produisent un effet désastreux sur les bandages et sur le mécanisme.

Dans la voiture pétroléo-pneumatique, c'est le cylindre compensateur qui fait en grande partie fonction de frein en agissant comme compresseur et en récupérant une grande fraction de l'énergie dissipée en chaleur par les freins.

On utilisera le frein ordinaire pour compléter l'action du freinage par le compresseur.

C'est le levier du frein qui fait fonctionner le cylindre compensateur comme compresseur.

Celui-ci agit seul au commencement du déplacement de ce levier et, en accentuant sa manœuvre, on agit en même temps sur le compresseur et sur le frein ordinaire.

Ce dernier est également actionné par l'air comprimé, ce qui en rend l'effet excessivement rapide et permet de se rendre maître à chaque instant de l'allure de la voiture.

L'effort nécessaire pour freiner est insignifiant, attendu que le levier opérant le freinage n'a d'autre but que d'ouvrir la valve admettant l'air sur le piston du frein.

Le freinage conçu de cette manière peut être aussi rapide qu'on le désire; mais, agissant d'une façon continue, il ne peut produire de chocs, contrairement à ce qui se passe avec le frein à main. Le mécanisme est ainsi ménagé et nous obtenons une très importante économie de bandages.

Le freinage de cette voiture présente donc les avantages suivants :

- Récupération de l'énergie dissipée en chaleur par les freins;
- Suppression presque totale de l'usure des freins;

Freinage rapide et sans chocs ;  
Le freinage s'opère sans efforts ;  
Ménagement du mécanisme ;  
Economie de bandages ;  
Sécurité de fonctionnement ;  
Absence de danger ;  
Suppression du blocage des roues arrière.

### CONCLUSIONS

Cette voiture permet d'utiliser un moteur à essence de faible puissance fonctionnant toujours dans de bonnes conditions, sans devoir se servir de changement de vitesse.

Grâce à la double fonction du cylindre compensateur, nous pouvons produire une puissance extrêmement variable et une élasticité remarquable empêchant le mécanisme et les bandages de recevoir les brusques variations d'efforts qui amènent habituellement une usure beaucoup trop rapide.

Ce qui donne une valeur à cette voiture, ce sont les artifices facilement praticables qui ont permis de donner au problème qui se posait une solution élégante.

Il nous est, en effet, inutile d'utiliser une dynamo et une batterie d'accumulateurs d'un poids et d'un prix élevés. Ces derniers sont simplement remplacés par un réservoir peu coûteux qui ne demande aucun entretien et par le cylindre compensateur, organe très simple donnant au moteur à essence de grands avantages.

Nous obtenons les mêmes avantages que les voitures à vapeur ; mais la voiture pétroléo-pneumatique est infiniment plus simple et sa surveillance est beaucoup moins grande. En outre, nous ne dépendons pas d'un combustible dont le réglage est fort difficile.

En résumé, voici les principaux avantages que présente cette voiture :

Suppression des changements de vitesse mécaniques ;  
Variation de vitesse toujours progressive ;  
Travail extrêmement variable suivant le profil de la route ;  
Moteur thermique moins puissant ;  
Réduction du nombre de cylindres-moteurs de moitié avec mêmes avantages ;  
Moteur robuste et bien équilibré ;  
Récupération des calories perdues à l'échappement ;

- Récupération de l'énergie perdue en chaleur au freinage ;
- Suppression presque totale de l'usure des freins ;
- Suppression de l'échauffement anormal des freins ;
- Freinage rapide, progressif et sans chocs ;
- Suppression du blocage des roues arrière ;
- Freinage sans efforts ;
- Diminution de l'usure des bandages ;
- Ménagement du mécanisme ;
- Réduction *notable* des frais d'entretien et d'amortissement ;
- Mise en marche automatique du moteur thermique ;
- Utilisation de l'air comprimé pour le gonflement des pneumatiques ;
- Fonctionnement automatique des signaux avertisseurs au moyen de l'air ;
- Sécurité de fonctionnement ;
- Absence de danger ;
- Manœuvre extrêmement simple.

Un grand avantage de cette voiture est la possibilité, lorsqu'elle est à l'arrêt, d'utiliser l'air comprimé pour actionner des perforatrices, des foreuses, etc., en un mot, pour tous les appareils pouvant être mus par l'air comprimé. Au point de vue militaire, cet avantage peut être d'une très grande importance.

Nous rappelons que pour les services d'autobus, les dépenses totales par kilomètre-voiture varient de 0 fr. 82 à 1 fr. 22, dont les plus importantes sont :

Le combustible, 15,5 % à 23 % des dépenses totales par kilomètre-voiture ;

L'entretien des bandages, 9,5 % à 19 % des dépenses totales par kilomètre-voiture ;

L'entretien des voitures, 13,5 % à 26 % des dépenses totales par kilomètre-voiture ;

L'amortissement des voitures, 32 % des dépenses totales par kilomètre-voiture.

Ces quelques chiffres ont été recueillis dans les réponses aux questionnaires du XV<sup>e</sup> Congrès international de Tramways et de Chemins de fer d'intérêt local.

Avec la voiture pétroléo-pneumatique, ces principales dépenses diminuent fortement, ce qui donne la possibilité de rendre rémunérateur le plus grand nombre des exploitations de « poids lourds » et d'étendre considérablement le champ d'action des automobiles industrielles.

### **Applications des moteurs à essence tamponnés par l'air comprimé**

*Application aux locomotives.* — Le tamponnage pneumatique des moteurs à essence peut être utilisé avec grand intérêt, comme force motrice des locomotives. En effet, ce qui manque à ceux-ci pour cette application, c'est leur peu d'élasticité et l'absence du coup de collier que l'on obtient avec la vapeur. Or, le tamponnage pneumatique des moteurs à essence leur donne ces avantages tout en supprimant les inconvénients de la vapeur.

Pour les locomotives n'ayant pas un service continu, et notamment celles utilisées par les chemins de fer vicinaux, ce tamponnage présente particulièrement de sérieux avantages. En effet, ces locomotives nécessitent pour leur conduite un mécanicien et un chauffeur. Ce dernier peut être supprimé par le tamponnage pneumatique, le chabon étant remplacé par l'essence qui alimente le moteur automatiquement. En outre, on ne se trouve pas dans l'obligation de maintenir la chaudière sous pression pendant les périodes de non-utilisation (comme on doit le faire avec la vapeur), ce qui amène une sérieuse économie de combustible. Avec le tamponnage pneumatique, nous supprimons le temps nécessaire pour allumer le foyer et mettre la chaudière sous pression. Il suffit simplement pour démarrer de mettre le moteur à essence en marche et d'attendre quelques instants pour comprimer l'air dans les réservoirs afin d'obtenir la puissance nécessaire au départ.

*Application aux sous-marins.* — Le tamponnage pneumatique peut également être appliqué avec intérêt aux sous-marins.

Lorsque ceux-ci se trouvent à la surface de l'eau, le moteur à essence fonctionnerait pour la propulsion et pour comprimer l'air; et, lorsque la navigation a lieu sous l'eau, le sous-marin n'avancerait qu'au moyen de l'aéromoteur.

A la surface de l'eau, le moteur à essence et l'aéromoteur peuvent fonctionner simultanément, afin d'échapper au danger.

L'utilisation du tamponnage pneumatique aux sous-marins est très judicieuse, car il supprime les mauvaises émanations que présentent ordinairement les autres moyens de propulsion, et permet l'utilisation de l'air comprimé de cette manière pour les différentes manœuvres.



*Application aux tramways.* — Le tamponnage pneumatique du moteur à essence convient particulièrement pour la traction des tramways. En effet, on économise l'intérêt et l'amortissement du capital immobilisé par la centrale, les sous-stations, les feeders, les fils de contact lesquels sont supprimés. D'autre part, le prix des voitures munies d'un moteur à essence tamponné par l'air comprimé n'est guère plus élevé que celui des tramways électriques qui nécessitent la présence de deux moteurs électriques assez coûteux.

Le poids des voitures est sensiblement le même pour chaque type de voiture.

Chaque voiture possédant son moteur à essence et ses réservoirs d'air permet leur indépendance de fonctionnement. On n'est plus tributaire des accidents se produisant à la centrale ou aux sous-stations pouvant amener un arrêt complet de toutes les voitures.

En outre, si le trafic croît, il suffit de mettre en service un plus grand nombre de voitures, tandis qu'avec la traction électrique le nombre de celles-ci est fonction de la puissance pouvant être fournie par la centrale.

Telles sont les diverses applications du tamponnage pneumatique, qui, *contrairement au tamponnage électrique*, présente le grand avantage de pouvoir s'effectuer au moyen d'organes extrêmement robustes et simples dont le maniement ne demande qu'une éducation très rudimentaire.

