

LOCOMOTIVE MIXTE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE  
POUR LA MANOEUVRE DES WAGONS A MARCHANDISES,

Par EM. UYTBORCK,  
INGÉNIEUR DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

---

Fig. 1 à 3, p. 162 à 166.

---

Cette note a pour objet la description de la locomotive mixte système Pieper, construite par la Compagnie internationale d'électricité, à Liège, et commandée par l'Administration des chemins de fer de l'État belge, pour la manœuvre des wagons à marchandises.

L'engin, d'un principe entièrement neuf en matière de locomotive de manœuvre, a figuré à l'exposition de Milan (1906) avant sa mise en service.

Nous verrons plus loin que les organes principaux de la locomotive sont un moteur thermique à explosion, une dynamo électrique à courant continu et une batterie d'accumulateurs électriques.

C'est parce que la propulsion du véhicule tracteur, aux moments où il doit développer un maximum de puissance, s'effectue par les efforts combinés du moteur thermique et de la dynamo — cette dernière fonctionnant comme moteur électrique — que l'inventeur a dénommé l'engin : locomotive mixte.

Il convient de commencer par faire quelques remarques relatives à l'emploi exclusif du moteur à explosion pour un service de traction. On saisira mieux ainsi les avantages propres au nouveau système.

Le moteur à explosion présente les particularités suivantes :

- a) La nécessité d'une mise en marche préalable;
- b) La constance pratique du couple à toutes les allures;
- c) Le faible écart entre le maximum et le minimum des vitesses de bon rendement.

Un moteur de ce genre ne se prête pas aisément à un service de traction appliqué à des masses importantes. Son emploi nécessiterait des organes d'embrayage et de changement de vitesse aptes à subir, les uns des glissements prolongés et les autres

des mises en prise très fréquentes de roues d'engrenages animées de vitesses différentes. Or, ce sont précisément là les difficultés que l'on rencontre dans la construction de ces appareils — difficultés qui sont loin d'être résolues pour les embrayages et changements de vitesses accouplés à des moteurs quelque peu puissants.

On objectera que le moteur à explosion est employé avec grand succès dans l'automobilisme. Nous ferons remarquer que l'on a coutume de munir les voitures automobiles de moteurs extrêmement puissants par rapport à leur poids : ainsi une voiture de 800 kilogrammes est couramment munie d'un moteur pouvant développer 24 chevaux. Quelle serait, pour garder la même proportion, la puissance des moteurs dont il faudrait munir une locomotive destinée à un train de 300 tonnes ? La puissance maximum devrait atteindre 900 chevaux. Or, les moteurs à quatre cylindres couramment construits pour l'automobilisme, ne dépassent guère une puissance de 100 chevaux. Tout récemment, la Wolseley Company de Londres a étudié un type de moteur à pétrole de 140 chevaux, destiné à une voiture automotrice de chemin de fer. Mais ces puissances doivent être considérées actuellement comme des limites. Les 24 chevaux de l'automobile de 800 kilogrammes ne sont complètement utilisés que lorsque la voiture gravit des pentes raides et surtout pendant les périodes d'accélération, aux démarrages et changements de vitesse. Aux autres moments, la puissance moyenne nécessaire ne dépasse guère le tiers du maximum de puissance. La souplesse de l'engin moteur est obtenue simplement au détriment de sa complète utilisation. Il est dès lors naturel que l'emploi exclusif du moteur à explosion convenant parfaitement pour l'automobile, soit moins avantageux pour les omnibus automobiles et devienne pour ainsi dire impraticable pour des locomotives manœuvrant des masses importantes.

Nous tenons ici à faire remarquer cependant que, bien que ne considérant nullement comme irréalisable l'application pure et simple des moteurs à explosion pour la traction sur chemins de fer, nous constatons que des moteurs de forte puissance et peu encombrants, des appareils d'embrayages et des dispositifs de changements de vitesses pour ces fortes puissances, n'existent pas et sont encore à étudier.

Décrivons sommairement le principe même du fonctionnement de la locomotive en question ; nous décrirons plus loin en détail ses différents organes.

M<sup>r</sup> Henri Pieper a eu l'idée d'adjoindre au moteur à explosion une machine dynamo électrique, à volonté réceptrice ou génératrice, et montée à demeure sur l'axe du moteur à explosion. L'adjonction de cette machine électrique apporte immédiatement au moteur à explosion une souplesse qui lui faisait défaut et, de plus, permet de faire monter la puissance moyenne développée par le moteur thermique, pour ainsi dire, à sa puissance maximum.

Lorsqu'une grande puissance est nécessaire, la dynamo, alimentée par une batterie d'accumulateurs, fonctionne comme moteur et ajoute sa puissance à celle du moteur à explosion. Lorsque la puissance demandée est voisine de la puissance maximum du moteur à explosion, la dynamo est rendue inactive. Quand la puissance

Fig. 1 et 2. — Locomotive mixte des chemins de fer de l'État belge pour la manœuvre des wagons à marchandises.

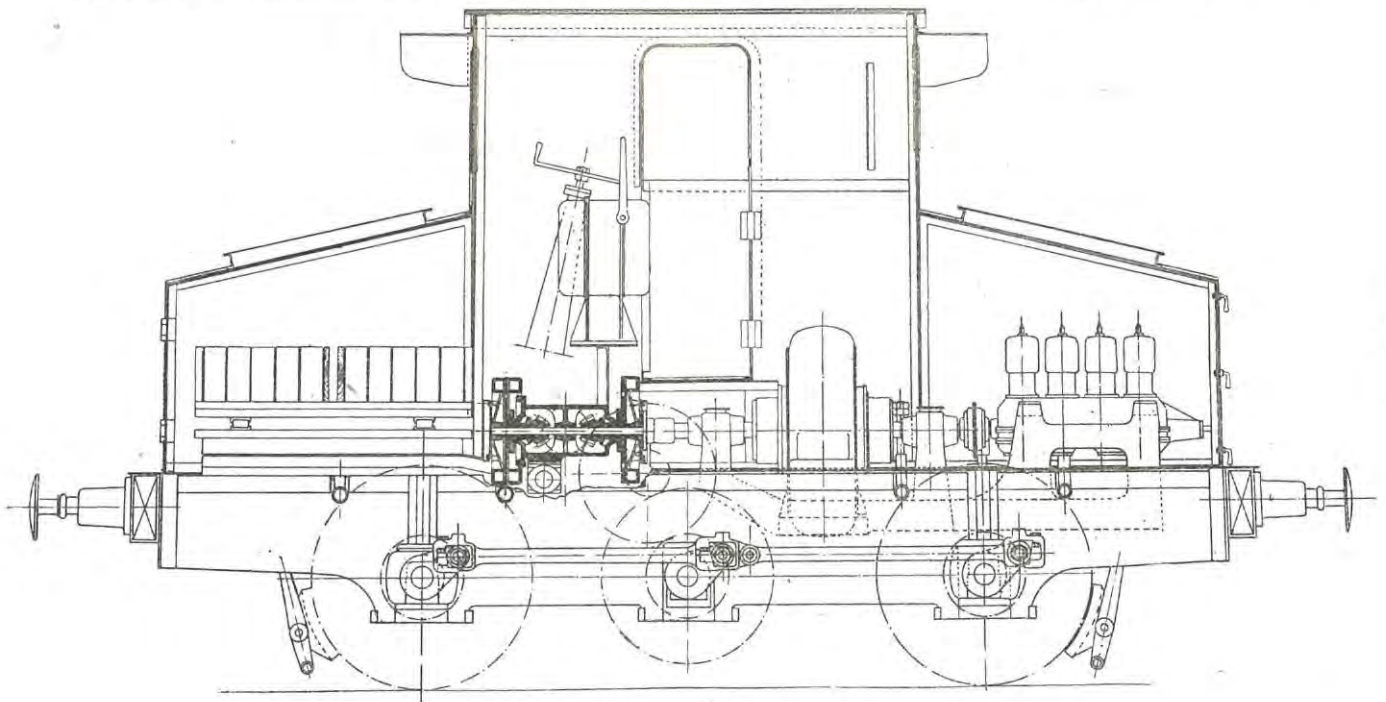


Fig. 1. — Élévation.

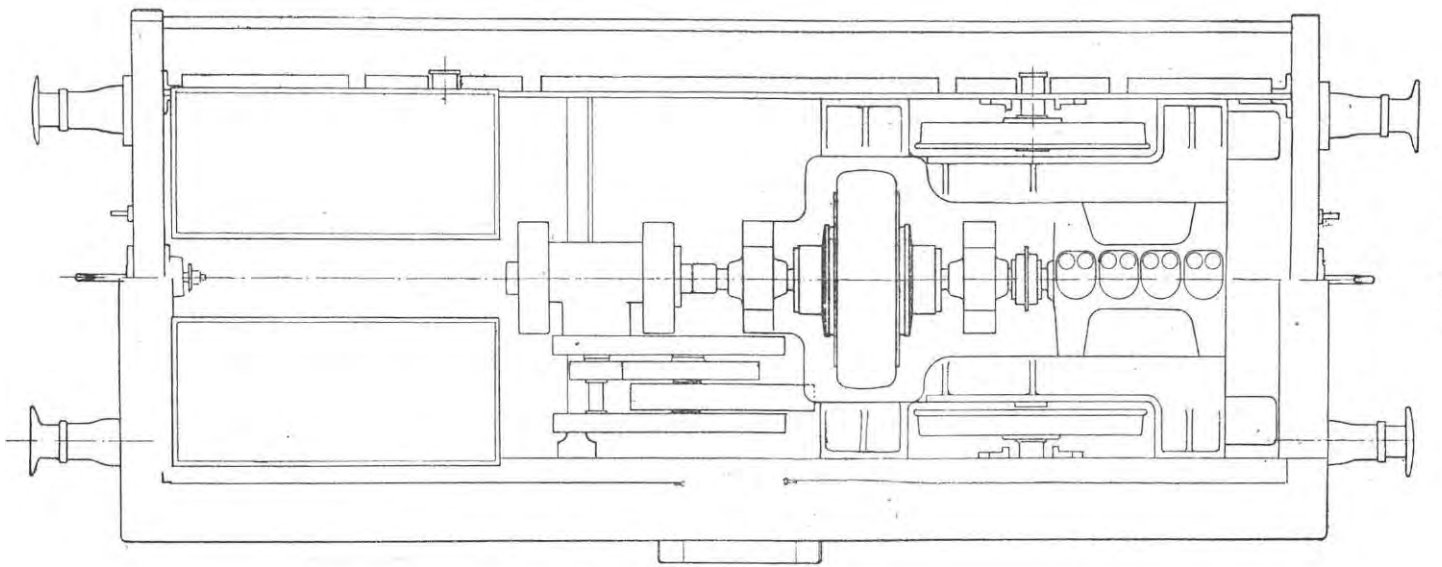


Fig. 2. — Vue en plan.

utile est inférieure à la puissance maximum du moteur, l'énergie disponible sur l'arbre de ce dernier est emmagasinée, sous forme d'énergie électrique, dans la batterie d'accumulateurs.

La puissance disponible pour la traction peut donc varier de zéro à la somme des puissances disponibles sur les arbres du moteur thermique et du moteur électrique. Si la puissance du premier moteur est limitée par les dimensions des cylindres et la course des pistons, la puissance du second n'est limitée que par la puissance de la source d'électricité et par l'échauffement toléré pour les enroulements. En admettant donc que la batterie d'accumulateurs soit suffisante, le moteur électrique pourra développer, pendant les périodes de courte durée que nécessitent les accélérations, une puissance trois, quatre fois plus forte que celle qu'il serait capable de développer d'une façon continue. On peut donc s'attendre à voir une locomotive mixte effectuer les manœuvres avec une célérité remarquable.

Les conditions qui ont été imposées au constructeur sont les suivantes :

L'effort de traction de 2,000 kilogrammes pourra être atteint en palier pour toutes les vitesses comprises entre 2 et 6 kilomètres à l'heure. (A vide la locomotive peut atteindre la vitesse de 9 kilomètres à l'heure.) Le poids de l'engin ne sera pas inférieur à 20,000 kilogrammes. La capacité de la batterie d'accumulateurs sera suffisante pour assurer, sans le secours du moteur à essence, pendant une demi-heure au moins, la marche de la locomotive à une vitesse de 2 kilomètres à l'heure, l'effort au crochet de traction étant de 2,000 kilogrammes.

La figure 1 représente la locomotive en élévation et la figure 2 la montre vue en plan.

L'apparence extérieure du tracteur est celle du type classique de la locomotive du « Baltimore & Ohio Railroad ». Ce type est du reste rationnel quand les changements de sens de marche sont aussi fréquents que dans l'application dont il s'agit.

Un des avant-becs abrite le moteur à explosion, l'autre, la batterie, et au centre du véhicule se trouve montée la dynamo. Cette disposition assure une répartition égale des poids sur les deux essieux.

Le moteur à explosion est du type à simple effet, à quatre temps, il possède quatre cylindres d'un diamètre de 120 millimètres livrant une course de 140 millimètres aux pistons.

Ce moteur est construit pour développer une puissance de 40 chevaux à 1,000 tours; sa vitesse peut descendre à 300 tours environ.

Au moteur est adjoint un carburateur Sténhos. Les constructeurs promettent que le moteur sera d'un fonctionnement satisfaisant même s'il est alimenté par de l'essence minérale de densité 0.750. La possibilité d'emploi de l'essence à 0.750 — coûtant environ deux fois moins cher que l'essence habituelle à 0.680 — résulterait simplement du fait que la mise en marche du groupe se faisant mécaniquement et très rapidement par le moteur électrique, produit même au départ une carburation et des compressions satisfaisantes. Dès que la température du moteur se serait légèrement élevée, le fonctionnement deviendrait irréprochable et la puissance

obtenue serait la même que celle obtenue avec de l'essence de densité 0.680. Les soupapes sont toutes commandées. L'allumage est assuré par bougies. Le réglage de la vitesse et de la puissance est obtenu par l'avance donnée à l'allumage et par étranglement sur l'arrivée des gaz au moteur. L'avance à l'allumage est obtenue à l'aide d'une timonerie spéciale reliée à l'unique levier de commande de la locomotive.

Le réglage de la quantité de gaz envoyée au moteur est obtenu automatiquement par un clapet d'étranglement monté sur la conduite d'aspiration des gaz. Ce clapet est commandé par l'armature d'un solénoïde à double enroulement. Un des enroulements, bobiné en fin fil, est connecté aux bornes de la dynamo ; l'autre, bobiné en gros fil, est intercalé dans le circuit reliant la dynamo à la batterie. Les sens de bobinage des deux enroulements sont tels que leur action est concourante lorsque la batterie se décharge et différentielle quand la batterie se charge. L'ouverture de la conduite d'admission des gaz est maximum quand l'attraction du solénoïde l'est également. Il résulte de ces dispositions que, lorsqu'une grande puissance est demandée à la locomotive, l'admission des gaz est maximum et qu'au contraire, quand la puissance du moteur dépasse la puissance nécessaire à la traction, l'admission des gaz est diminuée.

La dynamo est une machine shunt à deux collecteurs, à huit pôles. Le dédoublement du collecteur a été fait non pas à cause des difficultés de commutation, mais bien pour permettre un couplage série parallèle, ce qui permet une plus grande étendue à la gamme des vitesses et une meilleure utilisation du courant.

La batterie d'accumulateurs est du type Tudor, composée de 88 éléments disposés dans des bacs en ébonite. Chaque élément a une capacité de 65 ampère-heures, pour une durée de décharge d'une demi-heure. La décharge complète des éléments peut toutefois être produite en quinze minutes sans qu'il ne survienne de gondolement de plaques, ni d'échauffement nuisible. Le poids d'un élément complet est de 15 kilogrammes environ, récipients compris.

L'arbre du groupe électrogène est manchonné à l'arbre de l'appareil de changement de marche, d'embrayage et de débrayage magnétique. Cet appareil est représenté en coupe dans la figure 3.

L'arbre 1 du groupe électrogène entraîne l'arbre 5 du changement de vitesse situé dans son prolongement. Aux extrémités de l'arbre 5 se trouvent calées deux culasses magnétiques circulaires 6 et 7, entraînées conséquemment à la vitesse du groupe électrogène. Les culasses 6 et 7 sont susceptibles d'attirer très fortement les armatures 3' et 4'. La figure indique que les armatures sont des disques calés, avec un certain jeu longitudinal, sur des buselures, terminées à l'intérieur de la boîte de changement de marche par les pignons coniques 3 et 4. Les buselures sont libres sur l'arbre 5. Les pignons 3 et 4 sont en prise avec le pignon 2, qui par une double réduction d'engrenages provoque la translation de la locomotive. Une troisième culasse magnétique circulaire 8 est fixée à la boîte de changement de vitesse et est disposée de façon à pouvoir attirer le disque 3'. Quand le groupe électrogène est lancé, les armatures 6 et 7 sont donc en mouvement et suivant qu'on en excite l'une

ou l'autre, on produit la marche de la locomotive dans un sens ou dans l'autre. Pour faire entrer en action le frein magnétique, on rend inactives les culasses magnétiques 6 et 7 et on lance un courant dans la culasse 8 ; le mouvement de la locomotive se ralentit par la friction du disque mobile 3' contre la culasse fixe 8.

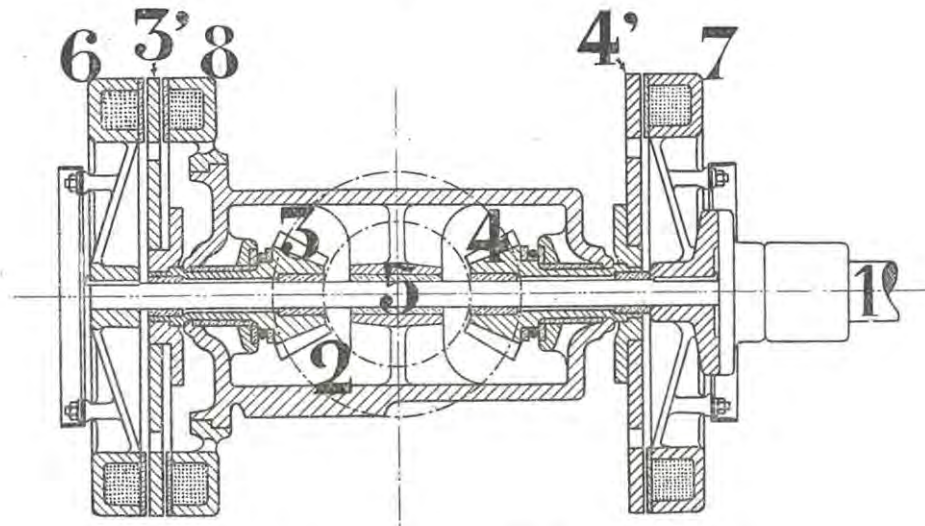


Fig. 3. — Vue en coupe de l'appareil de changement de marche.

Nous avons dit que la transmission de mouvement du groupe aux roues motrices était réalisée par une double réduction d'engrenages. Celle-ci n'a évidemment d'autre but que d'augmenter l'effort de traction et de diminuer proportionnellement la vitesse de l'engin.

La double réduction d'engrenages transmet l'effort moteur à un arbre central possédant aux extrémités deux manivelles décalées de 90°. Ces manivelles sont articulées au milieu des bielles d'accouplement réunissant les essieux moteurs. Cette disposition, employée d'ailleurs pour certaines locomotives du chemin de fer triphasé de la Valteline et pour les locomotives récemment étudiées pour la traversée du tunnel du Simplon, présentait, dans le cas particulier qui nous occupe, les avantages suivants :

- 1° Possibilité de loger rationnellement les différents organes de l'équipement ;
- 2° Possibilité de n'installer qu'un groupe électrogène pour la commande des deux essieux moteurs tout en utilisant convenablement le poids total de la locomotive pour l'adhérence.

Il est à remarquer, en effet, que si on avait attaqué par double réduction d'engrenages un des essieux, puis accouplé l'autre essieu par des bielles d'accouplement

ordinaires, l'adhérence n'aurait guère été aussi parfaite. Dans ce cas, en effet, le jeu qui, forcément, doit exister aux coussinets des bielles d'accouplement amène les conséquences suivantes : si l'essieu moteur patine si peu que ce soit, les deux essieux sont moteurs; si l'essieu moteur ne patine pas, l'autre essieu est simplement entraîné. Tandis que dans le cas envisagé, c'est tantôt l'un, tantôt l'autre essieu, qui joue le rôle d'essieu moteur. Comme deux fois par tour de roue il y a inversion de ces rôles, on conçoit que les patinages sont moins à craindre que dans le cas précédent. Ce dispositif, enfin, permet de résoudre le problème général de tous les tracteurs ou automoteurs suspendus : « liaison mécanique et rigide d'un châssis contenant l'organe moteur, avec des essieux porteurs soutenant le dit châssis par l'intermédiaire de ressorts de suspension. »

Pour faire démarrer le tracteur, il convient en premier lieu de mettre en marche le groupe électrogène. A cet effet, on manœuvre un rhéostat de démarrage à déclenchement automatique pour excès ou manque de courant, ce qui a pour conséquence de lancer le courant de la batterie dans la dynamo, qui entraîne dans sa rotation le moteur thermique. Par la même opération, les circuits d'allumage du moteur sont fermés. Ce moteur devenant actif, accélère la vitesse de l'ensemble, le voltage aux bornes de la dynamo monte au-dessus du voltage de la batterie. Il se produit donc un renversement du courant dans la dynamo, c'est dire que les rôles sont renversés, le moteur thermique entraîne la dynamo. La vitesse que prend le groupe est limitée par le groupement en série des deux enroulements de la dynamo et la valeur maximum donnée au courant d'excitation.

Un *controller* effectue les connexions nécessaires pour provoquer la mise en marche et le freinage de la locomotive. La manette de commande de ce controller peut occuper une série de positions symétriques par rapport à la position médiane et relatives, les unes à la marche dans un sens, les autres à la marche en sens inverse. En passant de la position médiane à une des positions extrêmes, les phénomènes suivants se passent :

a) Excitation de la culasse magnétique 8 : ceci ne produit aucun effet, puisque la locomotive est encore au repos;

b) Désexcitation de la culasse magnétique 8 et excitation de la culasse magnétique 6, par exemple. Cette action provoque l'embrayage graduel et la mise en marche de la locomotive; il en résulte un ralentissement du groupe et un afflux de courant de la batterie vers la dynamo qui fonctionne comme moteur électrique, ajoutant son effort à celui du moteur thermique. Peu à peu, la locomotive prenant sa vitesse, la vitesse du groupe s'accélère et le voltage aux bornes de la dynamo s'élève, diminuant ainsi le courant fourni par la batterie;

c) Diminution graduelle du courant d'excitation de la dynamo. Cette diminution a pour conséquence un abaissement de voltage aux bornes de la dynamo et détermine un nouvel afflux de courant vers celle-ci. Il en résulte donc finalement une augmentation de vitesse;



- d) Mise en parallèle des deux enroulements de la dynamo et augmentation à son maximum du courant d'excitation; même conséquence que précédemment;
- e) Diminution graduelle du courant d'excitation; même conséquence.

Il suffit donc de pousser graduellement la manette de commande de la position médiane à une des positions extrêmes pour provoquer l'embrayage progressif de la locomotive et l'accélération de celle-ci jusqu'à sa vitesse maximum.

Inversement, en passant d'une des positions extrêmes à la position médiane, on commence par augmenter la valeur du courant d'excitation de la dynamo, ce qui a pour effet de faire monter le voltage aux bornes de la dynamo et d'augmenter le courant débité par celle-ci. Il en résulte un freinage par travail développé et une récupération d'énergie électrique qui viendra s'emmagasiner dans la batterie d'accumulateurs. Successivement, on passe de la position parallèle à la position série, en diminuant l'excitation pour l'augmenter graduellement après coup. Finalement, pour provoquer l'arrêt complet de la locomotive, on désexcite la culasse magnétique 6 et on excite la culasse de freinage 8.

On conçoit, d'après cette description, combien la commande de l'ensemble assez complexe en somme, est aisée et nécessite peu d'apprentissage.

La locomotive se prête également, s'il est nécessaire, à la charge de la batterie par le groupe, la marche sur accumulateurs seulement et la marche en véhicule isolé par moteur à explosion seulement.

La locomotive a été exposée à Milan avec un contrôleur de démarrage provisoire, l'appareil de démarrage définitif reposera sur le principe qui vient d'être exposé.

Le temps a manqué pour effectuer des essais complets avec le nouvel engin avant son expédition à Milan. L'Administration des chemins de fer de l'État belge a l'intention de procéder à une série d'essais dès la rentrée de l'engin en Belgique; et d'employer le nouveau tracteur dans des gares où une locomotive à vapeur serait insuffisamment utilisée et où l'emploi d'une locomotive électrique, à prise de courant aérienne, n'aurait pas été reconnu avantageux en raison des difficultés d'établissement du réseau aérien de prise de courant.