

POUR UN DÉVELOPPEMENT DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Rapport remis au Gouvernement
le 15 novembre 1974



LA DOCUMENTATION FRANÇAISE

Service des Affaires Économiques

DOCUMENTATION

Réf. n° 3223

**Cet ouvrage constitue le trente-sixième volume de la collection « Environnement »
dirigée par**

MM. Serge ANTOINE et André DURET.

Derniers ouvrages de la collection « Environnement » :

- 19) Evaluation de l'environnement - recueil de textes.
- 20) La pollution par le plomb et ses dérivés (Monographies scientifiques).
- 21) Evaluation du coût de la prévention de la pollution atmosphérique.
- 22) La pollution par les oxydes d'azote (Monographies scientifiques).
- 23) La pollution de l'eau en France (Statistiques).
- 24) Les déchets solides.
- 25) Le livre blanc de l'eau en France.
- 26) Guide administratif de la pêche fluviale.
- 27) La pollution par le mercure et ses dérivés (Monographies scientifiques).
- 28) La pollution par les composés organo-chlorés (Monographies scientifiques).
- 29) Prévention et lutte contre les pollutions et les nuisances des porcheries.
- 30) La lutte contre le gaspillage.
- 31) Dossier statistique - Environnement. Cadre de vie (Tome 1).
- 32) Dossier statistique - Environnement. Cadre de vie (Tome 2).

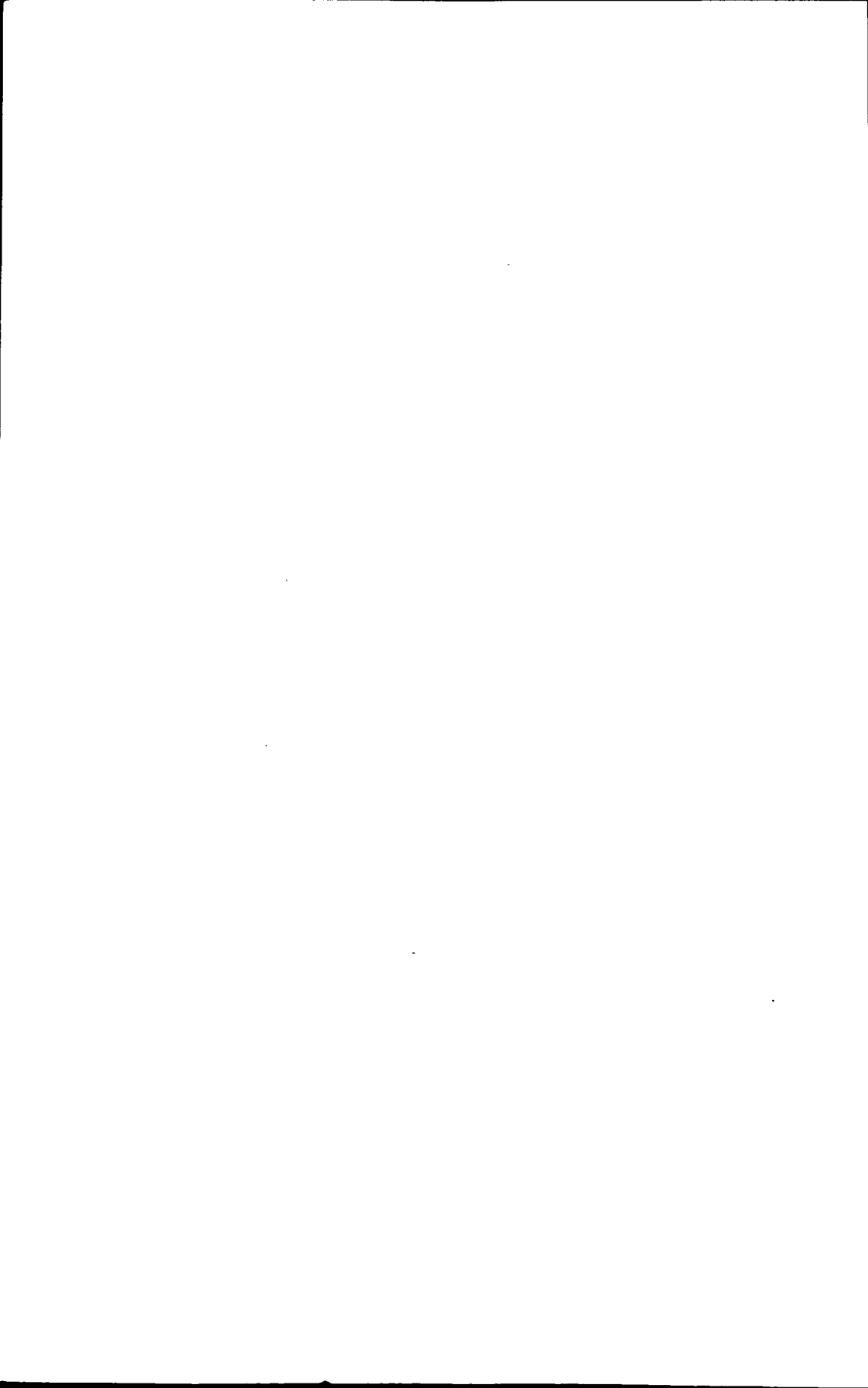
Hors collection : Les paramètres de la qualité des eaux.

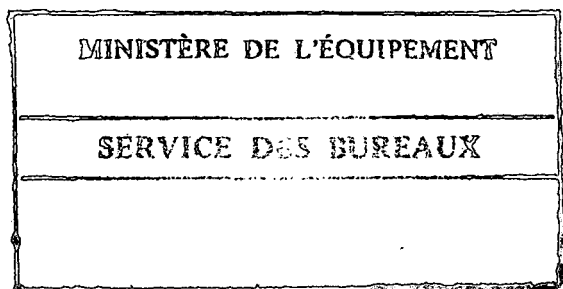
Liste complète en fin d'ouvrage.

Ce rapport sur un programme d'action pour une promotion du véhicule électrique est le résultat d'un travail demandé à M. Saulgeot, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, par le Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement, lors de sa séance du 22 avril 1974.

La rédaction de ce document a bénéficié du concours d'un groupe de travail constitué à cette fin et comprenant les représentants des différents ministères concernés.

Le rapport a été remis à M. Jarrot, ministre de la Qualité de la Vie, le 15 novembre 1974.





La technique du véhicule électrique a fait d'importants progrès au cours de ces dernières années. Non seulement les caractéristiques des batteries traditionnelles ont été considérablement améliorées, mais ce qui est encore beaucoup plus important, la possibilité de disposer de nouvelles sources d'énergie plus performantes est apparue. Si les espoirs se réalisent, le véhicule électrique pourra devenir une réalité.

Cette évolution explique l'intérêt qui se manifeste à l'égard de cette technique dans la plupart des pays industrialisés. Les pouvoirs publics ont, en effet, à faire face à de difficiles problèmes de nuisances et de pollution, qui sont la conséquence du développement intense de la circulation automobile urbaine. La traction électrique semble, dans l'état actuel de nos connaissances, susceptible de contribuer efficacement à la solution de ces problèmes.

C'est pour ces raisons, que le Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement a approuvé, le 27 janvier 1972, un programme d'expérimentation du véhicule électrique.

Un groupe de travail interministériel, dont la présidence m'a été confiée, a été créé pour suivre et coordonner les travaux.

L'exécution du programme touche maintenant à sa fin.

Depuis, les difficultés d'approvisionnement en énergie pétrolière, qui ont conduit à remettre en cause certaines de nos conceptions et de nos modes de vie, ont reposé le problème général des transports et plus particulièrement celui du véhicule électrique. C'est dans cet esprit, que dans sa séance du 22 avril 1974, le Comité interministériel d'action pour la nature

et l'environnement m'a demandé de présenter un rapport sur le véhicule électrique :

1) définissant de manière approfondie les axes de recherche, d'expérimentation, de développement et déterminant les enveloppes financières requises ;

2) faisant un inventaire des problèmes relatifs à :

- l'insertion du véhicule électrique parmi les autres véhicules et engins de transport et la recherche des créneaux les mieux adaptés à ce type de propulsion ;
- la logistique liée au développement de ce type de véhicule et les délais nécessaires pour une production industrielle ;
- la fiscalité et la réglementation.

3) et proposant, enfin, des méthodes de travail et une planification des études destinées à résoudre ces problèmes.

C'est l'objet du présent rapport, pour la rédaction duquel, j'ai bénéficié de la collaboration de représentants des Ministères ou organismes intéressés. Je me dois de les remercier de leur aide qui m'a été très précieuse. Je précise toutefois, que le texte est rédigé sous ma seule responsabilité.



Il est certes très ambitieux de songer à définir les éléments d'une politique à l'égard du véhicule électrique à la lumière d'une expérience aussi récente et sur la lancée d'un programme de trop faible envergure. Trop souvent, parce que ce rapport soulève des problèmes nouveaux, j'ai dû me contenter de souligner l'importance d'études préalables ou de procéder à l'inventaire des solutions possibles, sans préciser davantage.

La politique à l'égard du véhicule électrique ne peut pas non plus se concevoir sans prendre en compte l'ensemble des facteurs industriels, économiques, énergétiques et de qualité de vie. En particulier, ce dernier point met en jeu des considérations de circulation urbaine, de nuisances, de pollution, de confort du déplacement... C'est pourquoi, il eut été souhaitable de pouvoir justifier, par un calcul économique d'ensemble, les orientations préconisées. Cependant, il n'était pas possible d'engager une telle étude dans le court laps de temps qui m'était imparti. Je considère

d'ailleurs qu'un tel calcul eut été prématuré. En effet, de nombreuses incertitudes subsistent actuellement au stade des recherches et les expérimentations qui s'achèvent ne peuvent apporter que les premiers éléments sur les conditions d'exploitation.

Il m'a semblé finalement que l'objet principal du rapport était de rassembler dans un seul document les réponses aux questions suivantes :

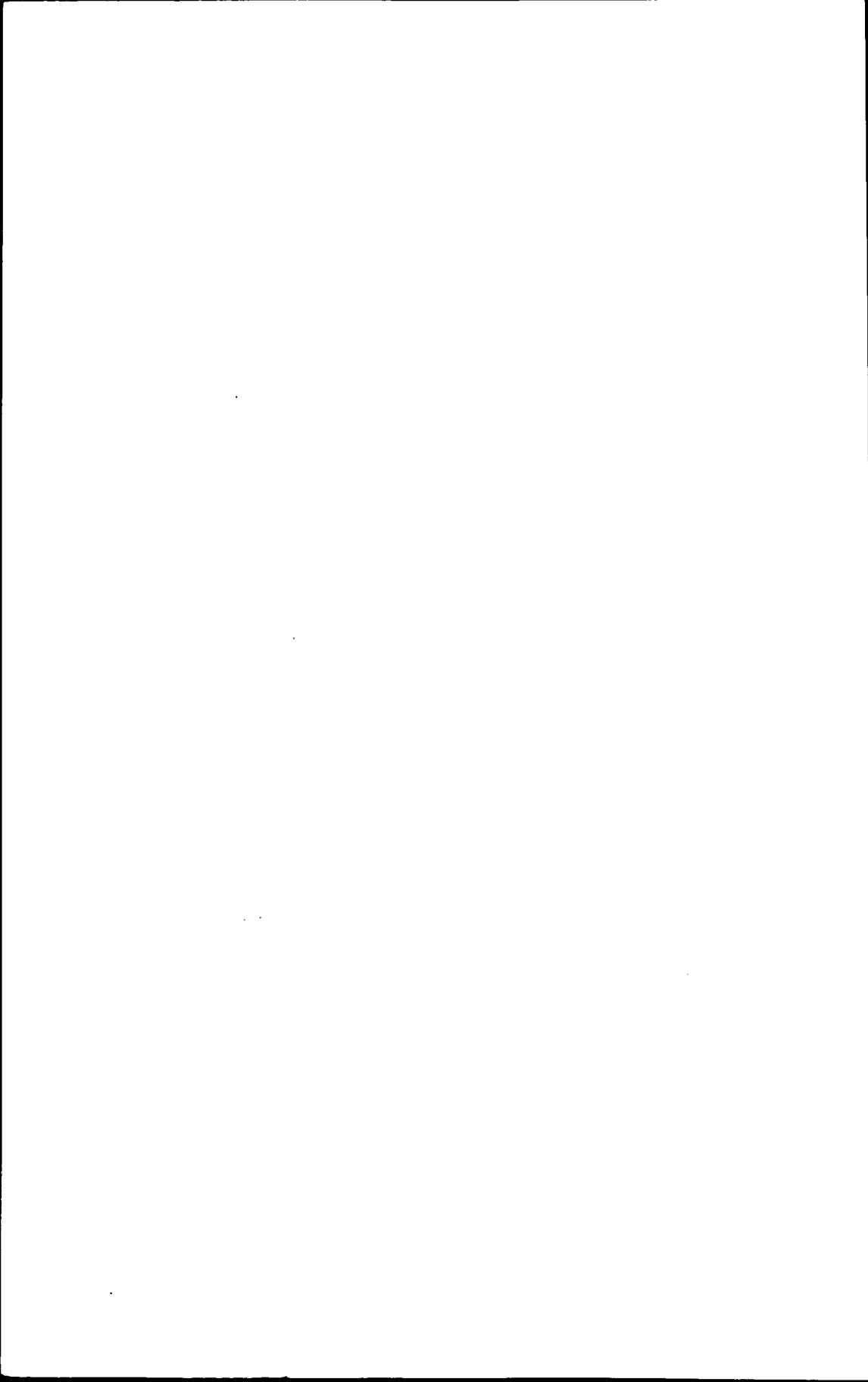
- 1) le véhicule électrique répond-il à un besoin ?
- 2) puisque le développement de cette technique est lié à l'utilisation de sources d'énergie nouvelles, quelle est la situation actuelle des recherches et quelles sont les perspectives ?
- 3) Quelles sont les possibilités de débouchés industriels des nouvelles sources ou, autre façon de poser la même question, quels sont les créneaux correspondants possibles pour le véhicule électrique ?
- 4) En fonction de ces données, quelles sont les propositions d'actions à présenter aux pouvoirs publics ?

Tel est le cadre général du rapport. S'agissant d'une technique en pleine évolution, il ne pouvait présenter qu'un programme d'actions portant sur une durée assez courte et j'ai finalement retenu une période de deux ans, à l'issue de laquelle, il me paraîtrait souhaitable qu'une étude analogue fut de nouveau engagée.

Paris, le 15 novembre 1974



Louis SAULGEOT,
Ingénieur général
des Ponts et Chaussées.



... POUR UNE PROMOTION DU VEHICULE ELECTRIQUE...

A. - L'INTERET DU VEHICULE ELECTRIQUE

Le véhicule à moteur thermique a bénéficié d'efforts de toutes natures, financiers notamment, grâce auxquels il est parvenu à un certain degré de perfection. Si l'on décide d'engager des actions importantes en faveur du véhicule électrique, il semble, dans les perspectives actuelles, que cette technique débouchera sur des réalisations valables, et marquera donc un progrès. Mais s'il ne répond pas à un besoin, ce progrès n'est qu'illusoire et il ne sert à rien de développer simultanément deux modes de traction.

Il est donc indispensable d'apporter les éléments d'appréciation de l'intérêt de ce véhicule dans le contexte actuel. On se bornera à exposer les aspects du problème qui semblent déterminants en la matière, sans pour autant engager une polémique, ni se laisser entraîner dans des comparaisons technico-économiques plus ou moins partielles, qui n'ont pas de raison d'être : il ne semble pas possible, avant fort longtemps, d'opposer véhicule thermique et véhicule électrique, ces deux produits étant complémentaires plus que concurrents.

Ces aspects sont les suivants :

LA TRACTION ELECTRIQUE, UN ELEMENT POSITIF POUR L'ENVIRONNEMENT

On sait aujourd'hui que le véhicule thermique est responsable d'une part importante de la pollution des villes, notamment aux heures de pointe, où la circulation est lente, pour ne pas dire bloquée.

Bruits et pollution de l'air montent alors à des niveaux élevés ; leur émission atteint directement l'homme de la rue, aux moments même où la population passante est la plus dense. De plus, leur diffusion est lente. Les concentrations horaires moyennes des gaz d'échappement sont multipliées par 8 ou 10. Le bruit de fond est amplifié, la contribution des poids lourds intervenant pour une part non négligeable.

Ces constatations ont été longuement exposées dans le rapport « Automobile et Nuisances » du groupe de travail créé par M. le Premier ministre et présidé par M. Frybourg, directeur de l'Institut de recherche des transports (I.R.T.).

Les conséquences sur la santé peuvent être graves, d'autant qu'il est difficile de les isoler rapidement. En effet, l'action de ces polluants ne peut se manifester qu'à long terme et, la plupart du temps, indirectement. Le groupe de travail Frybourg a proposé de poursuivre et d'amplifier les recherches sur l'action des polluants de l'automobile sur les êtres humains. Dans l'attente des résultats de ces recherches, on peut citer quelques exemples recueillis à l'étranger.

Certains chercheurs américains, comme Larre et Saskin (Science, août 1970), n'ont pas hésité à chiffrer la baisse de mortalité ayant pour origine la pollution automobile, si on diminuait celle-ci de moitié. Les indications de ce type ont été aussitôt réfutées.

Mais, en poussant le cas à l'extrême, on peut évoquer le « smog photochimique » et le « smog oxydant », résultats d'une action combinée des polluants gazeux automobiles, du SO_2 issu des installations de combustion et des radiations solaires. De nombreux cas de morbidité ont été signalés à Los Angeles quand ces phénomènes se produisent. On peut obtenir comme produits de réaction, des sulfates ou des composés oxygénés organiques, que l'on suspecte d'avoir une influence importante en pathologie respiratoire.

L'Académie des Sciences des U.S.A. a calculé que le coût de réduction des émissions de gaz nocifs des véhicules thermiques actuels est inférieur à l'économie qu'une telle opération occasionnerait dans l'unique domaine des journées de travail perdues par maladies respiratoires provoquées par ces émissions. En attendant des confirmations de ces résultats, l'importance du problème est bien définie par ces études et il paraîtrait peu justifié d'envisager l'avenir du véhicule électrique sans prendre en compte le gain en coût social qui peut être espéré de l'utilisation de cette techni-

que, même si, pour l'instant, il n'est pas possible d'apporter une garantie scientifique à telle ou telle évaluation sur le sujet.

M. Peronnet, alors secrétaire d'Etat à l'Environnement, l'a d'ailleurs déclaré officiellement en octobre 1974 : « S'il fallait prendre en compte dans les calculs technico-économiques les investissements nécessaires pour traiter l'air pollué par les émissions d'oxydes de carbone, d'hydrocarbures imbrûlés, d'oxydes d'azote, de plomb, les investissements nécessaires pour isoler acoustiquement les habitations afin de réduire les nuisances sonores et, pourquoi pas, les investissements nécessaires pour soigner les personnes ressentant plus que d'autres la pollution et le bruit ... nul doute alors que l'on s'apercevrait d'une évidence trop souvent oubliée, qu'il est préférable d'éliminer les causes du mal plutôt que de lutter contre ses conséquences ».

On peut certes atténuer la gravité des nuisances en apportant des perfectionnements au moteur à explosion. Ces techniques seront coûteuses et leur fonctionnement dans des conditions conformes aux normes prescrites exigera un contrôle sévère. On sait le peu de succès que l'on a obtenu dans ce domaine avec les engins à deux roues. Sera-t-on plus heureux avec les poids lourds et les automobiles ?

On n'a pas manqué d'objecter que la traction électrique ne faisait que reporter le problème des nuisances au niveau de la centrale. Il faudrait alors tenir le même raisonnement en ce qui concerne les carburants et remonter jusqu'à la raffinerie. Mais, surtout, tout le monde s'accordera à penser qu'il est plus efficace et plus économique de surveiller la bonne application des mesures de protection dans une centrale de grande puissance, plutôt que dans une multiplicité de sources éparses.

Ainsi, dans le cadre des innovations technologiques susceptibles d'apporter un remède aux nuisances engendrées par la circulation automobile, le véhicule électrique paraît tenir une place privilégiée.

LA TRACTION ELECTRIQUE, UN NOUVEAU PRODUIT QUI, A TERME, PEUT ECONOMISER DU PETROLE

La diffusion du véhicule électrique ne prenant une réelle importance, comme cela sera souligné après, que vers 1982, il importe de ne considérer les problèmes énergétiques qu'à partir de cette époque. Or, les nouvelles orientations données par le Gouvernement français à Electricité de France,

permettent de prévoir que le kilowatt-heure marginal de nuit sera produit par les centrales utilisant l'énergie nucléaire ou toute autre source énergétique à plus longue portée. Ceci revient à dire que le fait de recharger de nuit un accumulateur de véhicule électrique ne se traduira pas par une consommation supplémentaire de fuel ou par un suréquipement en centrales.

C'est pourquoi, il est essentiel de souligner le rôle important que peut jouer, à long terme, le véhicule électrique dans la réalisation de la politique d'indépendance énergétique de la France. Mais déjà, à moyen terme, les véhicules équipés de la traction électrique disposeront d'une sécurité quasi totale d'approvisionnement en énergie, puisque la fourniture d'électricité ne dépendra plus des aléas de la politique pétrolière. En outre, dans les perspectives les plus probables, qui sont celles d'une hausse des prix des combustibles en regard d'une stabilité, si ce n'est même d'une baisse des prix de l'électricité dans le futur, cette indépendance énergétique ne sera pas obtenue au détriment du prix de revient, bien au contraire.

LA TRACTION ELECTRIQUE, UN FACTEUR D'AMELIORATION DE LA CIRCULATION

Diminuer le nombre des véhicules en circulation ou en stationnement est le principal souci actuel des services responsables de la circulation. Or le véhicule électrique peut les aider à résoudre ce double problème.

En effet, la substitution des autobus aux voitures individuelles aura d'autant plus de chances de succès que le service offert sera plus attractif : l'autobus électrique est bien le mode de transport confortable qui peut amener l'automobiliste à renoncer à utiliser sa propre voiture.

Quant au stationnement, bien des procédés sont employés : parkings, zone bleue, etc. qui ne sont certes pas sans effet, mais ne permettent pas d'aller réellement au fond du problème dans les secteurs urbains les plus fréquentés. Dans de telles zones, l'emploi de voitures banalisées serait peut-être la solution la plus efficace. Pour une voiture qui passe de mains en mains plusieurs fois par jour, seule la technique de la traction électrique possède la simplicité et la robustesse nécessaires pour assurer un service régulier.

Enfin, si le véhicule particulièrement urbain (V.P.U.) qui fait l'objet d'études de définition administrative, devrait apparaître comme répondant à un besoin, sans créer une concurrence insupportable aux transports collec-

tifs, il semble bien que le véhicule électrique serait un vecteur privilégié de ce nouveau concept.



La réduction de la pollution et des nuisances en milieu urbain, une meilleure circulation dans les centres villes ; un accroissement de la richesse nationale grâce aux économies de pétrole sont, en fait, des moyens mis à la disposition des pouvoirs publics pour améliorer la qualité de la vie. La traction électrique peut jouer un rôle déterminant dans l'élaboration d'une nouvelle conception de la vie dans la cité, en modifiant certaines habitudes et en transformant l'environnement urbain, soit directement en raison des qualités propres à cette technique, soit indirectement en créant au niveau du public les exigences accrues à l'égard des véhicules thermiques classiques. Les réductions des taux limites de pollution et de nuisances décidées au niveau européen, sont, en effet, très progressives. Une réussite commerciale, même limitée, de la traction électrique conduirait sans doute les constructeurs automobiles à accélérer leurs études et à offrir mieux que le strict réglementaire.

Dans tout ce qui précède, les retombées technologiques des progrès qui pourraient être obtenus grâce aux travaux de recherches et d'expérimentations, n'ont pas été signalées, car elles apparaîtront tout au long du rapport, tant en ce qui concerne les moteurs de traction et l'électronique de puissance que dans le domaine très important de la mise au point de sources d'énergie autonomes.

La question qui peut alors se poser, est de savoir s'il faut attendre l'apparition des sources d'énergie soit de deuxième, soit de troisième génération, c'est-à-dire les générateurs performants, pour reconnaître droit de cité à la traction électrique, ou bien s'il ne faut pas, dès à présent, en favoriser la promotion chaque fois que le créneau s'y prête. Or les responsables sont trop conscients du temps nécessaire à la mise en route d'une technique de pointe pour adopter une politique attentiste. L'exemple récent de l'isolation thermique démontre qu'il n'existe pas de « virage à angle droit », que toute mutation se prépare et que la période de gestation est très longue lorsque le changement à obtenir est profond. Ceci est vrai aussi bien pour les structures industrielles que pour le comportement du public.

B. - LES ACTIONS DES POUVOIRS PUBLICS JUSQU'EN 1974

Il est utile de replacer l'ensemble des propositions d'interventions dans le cadre des actions engagées jusqu'à ce jour par les pouvoirs publics en faveur du véhicule électrique.

Le but de ces actions a été le plus souvent, davantage de réserver l'avenir par l'acquisition de quelques connaissances de base, que d'appliquer une politique coordonnée de promotion de cette technique. Ceci se reflète dans le bilan des efforts entrepris, surtout lorsque l'on considère que de nombreuses recherches engagées ne sont pas spécifiques de la traction électrique. Jusqu'à ce jour, les sommes investies en France pour le véhicule électrique restent très inférieures aux efforts de certains pays étrangers. Par exemple, le gouvernement du Japon, a décidé d'affecter un crédit de 20 millions de dollars en cinq ans à des recherches et des expérimentations susceptibles de conduire les constructeurs japonais à une production industrielle dès 1976. Aux U.S.A. des recherches très dynamiques sont entreprises pour mettre au point de nouveaux générateurs plus performants. Les industriels américains ont d'ailleurs déjà abordé la phase de commercialisation dans certains créneaux. En République fédérale allemande, les travaux qui se sont plus particulièrement orientés vers la construction de véhicules utilitaires électriques, témoignent d'une grande confiance dans l'avenir de cette technique. L'Angleterre, l'Italie cherchent aussi à commercialiser rapidement des produits destinés au grand public. Il est à noter d'ailleurs que l'Angleterre, grâce à son parc de soixante-dix mille véhicules électriques de livraison, possède déjà une expérience solide dans ce domaine.

Sans atteindre l'importance de certains efforts étrangers, les actions entreprises grâce aux initiatives de certains ministères et à la contribution des industriels, ont cependant permis jusqu'à ce jour de limiter le retard technologique sur les autres pays industrialisés et même, dans certains cas, de maintenir une avance relative. Cet état de fait ne pourra se poursuivre si les aides au développement de la traction électrique ne sont pas sensiblement accrues.

L'AIDE A LA RECHERCHE ET AU DEVELOPPEMENT

Depuis 1965, des crédits de l'Etat ont été accordés par le canal de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (D.G.R.S.T.) à

des laboratoires pour faire progresser les accumulateurs classiques, mettre au point des accumulateurs nouveaux et des piles à combustible, dont la principale application serait l'utilisation sur des véhicules électriques.

Ces cinq dernières années, les crédits accordés étaient, en moyenne, de l'ordre de cinq millions de francs par an. Ils ont été affectés à des travaux sur les accumulateurs classiques au plomb, les accumulateurs sodium-soufre, le générateur zinc-air à circulation, les moteurs à réluctance variable, les commandes électroniques, etc.

En ce qui concerne les piles à combustible, après plusieurs études préliminaires sur diverses filières, les efforts d'aide à la recherche ont été concentrés plus particulièrement sur la pile au méthanol.

Néanmoins, des industriels poursuivent aussi, avec succès, des recherches sur une pile à hydrogène et les pouvoirs publics ont décidé récemment de financer des travaux sur les problèmes de stockage de l'hydrogène.

Les sources d'énergie hybrides électriques, ainsi que l'effet thermo-ionique, font, en outre, l'objet d'études préliminaires.

EXPERIMENTATIONS ET REALISATIONS SEMI-INDUSTRIELLES

Certaines aides financières ont été accordées par l'Etat pour la mise au point de petits véhicules électriques. Diverses actions ont été engagées :

a) Sur proposition d'Electricité de France, le Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement a, dès janvier 1972, accordé une aide financière à un programme de développement portant sur la réalisation d'une centaine de véhicules et d'un montant global supérieur à 8 millions de francs. Les résultats provisoires de ce programme sont fournis au chapitre portant sur l'expérimentation.

Pour suivre et coordonner les travaux de ce programme, un groupe de travail interministériel sur les véhicules électriques a été mis en place :

Ce groupe comprend des représentants de différents ministères :

- ministère de l'Equipement,
- ministère de l'Industrie et de la Recherche,

— ministère de la Qualité de la Vie,
— secrétariat d'Etat aux Transports,
ainsi que les représentants des constructeurs concernés.

Un sous-groupe a été constitué pour étudier spécialement les sources d'énergie dont les progrès conditionnent le succès des véhicules électriques.

b) Le ministère de la Qualité de la Vie a accordé en 1973 une aide financière à la réalisation de deux prototypes de véhicules utilitaires d'une charge utile de l'ordre de 700 kg. Electricité de France participe également à cette opération.

c) Des expérimentations faites sur des prototypes de minibus (50 places dont 20 assises) ont incité certaines municipalités, à envisager leur utilisation dans les centres-villes de façon à y améliorer la vie et l'environnement.

Sous leur impulsion une étude portant sur l'amélioration de la conception des véhicules pour les adapter aux impératifs des transports en commun urbains a été engagée avec l'aide des pouvoirs publics et a permis aux responsables de mieux définir le futur minibus électrique.

INCITATIONS D'ORDRE FISCAL ET REGLEMENTAIRE

Quelles que soient les aides financières apportées pour la mise au point des véhicules à propulsion électrique, leur prix d'achat restera élevé tant que les séries réalisées seront faibles, comparées à celles des véhicules à moteur thermique.

Or, peu d'acheteurs seront disposés à accepter un supplément de prix important pour ne pas apporter de gêne « aux autres », du moins tant que les performances des véhicules non nuisants ne seront pas comparables à celles des véhicules que nous connaissons.

A l'initiative du groupe de travail, créé par le préfet de la Région parisienne, un certain nombre de mesures d'ordre fiscal et réglementaire ont été envisagées en France mais n'ont pas encore abouti à des mises en application.

Cependant, les travaux entrepris pour définir la puissance fiscale des véhicules électriques sont très avancés.

ETUDE DE MARCHÉ POUR UN VEHICULE PARTICULIEREMENT URBAIN (V.P.U.)

L'Institut de recherche des transports (I.R.T.) a lancé une étude visant à définir les caractéristiques et le marché potentiel d'un véhicule particulièrement destiné à la circulation en ville. Le problème est pris sous l'angle économique pour les ménages, les véhicules actuels étant comparés à un véhicule particulièrement urbain et aux divers produits de substitution envisageables pour les fonctions qu'il ne peut assurer (longues distances par exemple). Cette étude devrait aboutir en fin 1975, mais des résultats partiels seront disponibles dès le début de cette même année.

LE GROUPE INTERMINISTERIEL SUR LES VEHICULES ELECTRIQUES

Indépendamment des tâches découlant de la mission qui lui a été confiée, le groupe interministériel « véhicules électriques » a entrepris de motiver les constructeurs et les fabricants de composants pour accélérer les études sur les problèmes de traction électrique. Ainsi, les réunions du groupe, ont été l'occasion de confrontations utiles entre les différentes parties prenantes. Par ailleurs, un colloque a été organisé au centre international du futur à Arc et Senans (Doubs), les 8 et 9 février 1973. Au cours de ces journées internationales « Véhicule électrique, promesse ou réalité », les responsables de l'administration, les urbanistes, les constructeurs de matériels électriques et les constructeurs automobiles, les chercheurs de différents pays d'Europe et des Etats-Unis ont pu mesurer les efforts faits et à faire en matière de véhicules électriques.

C. - PROPOSITIONS D'ACTIONS

On a exposé précédemment en quoi le véhicule électrique pouvait contribuer efficacement à la réalisation d'objectifs d'intérêt général : diminution de la pollution atmosphérique et du bruit dans les villes, amélioration de la circulation, économie de carburants.

Ces objectifs suffisamment importants justifient pleinement l'aide que l'Etat a déjà apportée aux travaux de recherche-développement et d'expérimen-

tation et qui a permis d'ouvrir des perspectives très encourageantes pour le développement de cette technique. Il est nécessaire que cet effort soit poursuivi, d'autant plus que la construction automobile jusque là assez réticente, mais stimulée depuis peu par l'apparition d'un début de marché, commence à sortir de sa réserve.

On ne peut cependant pas demander aux constructeurs d'automobiles d'assurer seuls le passage de la situation actuelle à la situation future. C'est l'un des rôles de l'Etat de rechercher et de mettre en œuvre des formules de progression permettant de réaliser une mutation sans heurt ni conflit.

Il lui appartient, en particulier, d'aider à la promotion du véhicule électrique toutes les fois que de nouveaux créneaux apparaissent à la faveur des progrès obtenus dans les sources d'énergie.

Pour être cohérentes, les interventions des pouvoirs publics doivent donc être modulées en fonction de la progression d'un marché potentiel. Mais, il n'a pas encore été fait aucune étude de marché exhaustive et on ne s'en étonnera pas, car il subsiste encore beaucoup d'incertitudes à tous les niveaux : recherche fondamentale, recherche appliquée, industrialisation. Faute de certitudes, il faut parler probabilités, et combiner les probabilités, pour essayer d'apprécier le futur possible. Il apparaît que cet exercice débouche sur un scénario relativement bien déterminé : c'est lui qui doit servir de base aux propositions d'actions et c'est donc par lui qu'il faut commencer.

LE SCENARIO

Il s'agit d'exposer quelles pourraient être avec une assez bonne probabilité et dans les perspectives actuelles, les étapes successives de développement du véhicule électrique (cf. chapitre V).

JUSQU'AUX ALENTOURS DE 1982

Les techniques accessibles seront classiques. En particulier, la source d'énergie restera l'accumulateur au plomb, avec ses inconvénients bien

connus : une faible autonomie, des performances limitées et des immobilisations du véhicule pour recharge trop longues. Cependant, d'ores et déjà, des marchés potentiels non négligeables existent :

- Le véhicule utilitaire léger (150 à 200 kg de charge utile).
De nombreuses réalisations existent déjà à l'étranger dans ce créneau. La plupart des petites livraisons urbaines pourraient être effectuées à moyen terme par des véhicules électriques de cette gamme. Les flottes des services publics et des administrations sont plus particulièrement concernées. C'est enfin, le type de véhicule qui pourrait s'avérer le plus adapté à la constitution de flottes de voitures banalisées.
- La camionnette (500 kg à 3 tonnes de charge utile).
L'exemple fort connu des dizaines de milliers de camionnettes électriques britanniques confirme l'intérêt de ce créneau. Des études françaises ont par ailleurs démontré que le type d'utilisation de ces véhicules en zone urbaine parisienne correspond aux performances rendues possible par les accumulateurs au plomb.
- Le minibus (20 places assises environ) et
L'autobus (50 places assises environ).
Les industriels américains et allemands semblent s'intéresser à ce créneau. En France, la densité des centres villes, la nouvelle orientation donnée à la politique des transports en commun, les qualités attractives de la traction électrique favoriseraient tout particulièrement l'implantation de minibus électriques.
- L'électrocycle.
Plusieurs modèles sont sortis en Allemagne et aux U.S.A. Ce véhicule peut intéresser :
 - les usagers du vélomoteur classique,
 - certains ménages multimotorisés dont le second véhicule n'est utilisé que pour des petits déplacements autour du lieu de résidence.
- Le bateau électrique.
De nombreux responsables de voies d'eau ou de lacs semblent prêts à interdire l'utilisation de bateaux à moteurs thermiques, dès que la traction électrique sera commercialisée dans ce créneau.

Le coût de premier investissement, les astreintes de recharge, le réflexe de recul devant une nouvelle technique font qu'une très faible part de ces marchés potentiels pourra être absorbée par la technique électrique.

On peut chiffrer à quelques milliers de véhicules par an la production envisageable jusqu'en 1982.

Le marché pourrait se situer dans la frange supérieure de cet ordre de grandeur si les actions proposées ci-après étaient lancées.

A PARTIR DE 1982, JUSQU'AUX ALENTOURS DE 1990

Deux nouveaux types de sources peuvent apparaître : les accumulateurs zinc-nickel et le générateur zinc-air à circulation. Ces deux sources semblent concurrentes, car leurs caractéristiques permettent de doubler ou de tripler les performances permises par les accumulateurs au plomb et par conséquent, leurs marchés potentiels sont très voisins :

- le véhicule utilitaire léger,
- les camionnettes,
- les minibus et autobus,
- le camion.

La benne à ordures électrique bénéficie d'une diffusion croissante.

D'autres types de véhicules peuvent être électrifiés. Dans la plupart des cas, la configuration pourrait être celle d'un container sur roues remorqué par un module de traction électrique.

Le générateur zinc-air à circulation permet d'accéder à un créneau supplémentaire, le taxi électrique.

Le cahier des charges du taxi électrique est très sévère au niveau de l'autonomie urbaine (150 km en théorie, mais de l'ordre de 180 km, en pratique). Il paraît possible d'envisager une électrification des trois quarts de la flotte des taxis des grandes agglomérations.

Moyennant la mise au point d'au moins une de ces deux sources nouvelles d'ici 1982, on peut estimer à quelques dizaines de milliers d'unités par an le marché du véhicule électrique.

A PARTIR DE 1990

Ce n'est qu'aux alentours de 1990, que pourront apparaître, commercialement parlant, les sources réellement performantes : la pile à combustible et l'accumulateur sodium-soufre. Comme dans le cas précédent, ces deux

sources risquent de se concurrencer d'un point de vue strictement technique. Cependant, la pile à combustible ouvre un marché qui semble beaucoup plus important, puisqu'il englobe la clientèle de la voiture particulière. Ce n'est probablement pas le cas de l'accumulateur haute température sodium-soufre qu'il semble difficile d'embarquer sur des petits véhicules. Mais, un avis définitif ne pourra être porté avant que des études plus complètes n'aient été engagées.

En tout état de cause, il apparaît que, en 1990, l'ensemble du marché de l'automobile sera alors accessible au véhicule électrique.

Le marché réel dépendra cependant :

- de la mise au point éventuelle d'autres techniques non polluantes,
- de l'acuité des problèmes de l'environnement à cette époque,
- des conditions de circulation,
- des modifications de mentalité des conducteurs et des nouvelles conceptions de qualité de la vie.

Il est néanmoins possible de prévoir que le marché sera de quelques centaines de milliers de véhicules par an.

LES ACTIONS

Il faut signaler, pour compléter cette étude prospective, que le scénario retenu :

- le marché du véhicule électrique sera de 1975 à 1982, de quelques milliers d'unités par an,
- puis de 1982 à 1990, de quelques dizaines de milliers d'unités par an,
- pour s'établir à quelques centaines de milliers d'unités par an, après 1990

permet d'estimer que le seuil d'électrification de 10 % du parc automobile sera atteint entre 1990 et 1995. Ce pourcentage est un objectif intéressant, puisqu'il est admis qu'il représente la part du marché qui conduit les industriels à mettre en jeu toutes leurs ressources pour l'absorber.

Il est bien évident que ce scénario de développement, considéré comme le plus probable, suppose qu'il n'y a pas de bouleversements importants de

la conjoncture et que les pouvoirs publics engageront un certain nombre d'actions parmi celles citées ci-après et visant à

- faire déboucher les nouvelles techniques,
- faire baisser les coûts tant du point de vue de l'investissement que celui de l'exploitation,
- faire apparaître une volonté politique de promouvoir le véhicule électrique.

1. - ... FAIRE DEBOUCHER LES NOUVELLES TECHNIQUES...

a) Les sources

- o Le scénario décrit précédemment a montré que l'accumulateur au plomb était la seule source disponible jusqu'en 1982. Il paraît donc essentiel de :
- poursuivre les études pour améliorer la technique de l'accumulateur au plomb.

Ces travaux semblent devoir être en majeure partie financés par les industriels. Cependant, les pouvoirs publics pourraient intervenir auprès d'eux dans le cadre d'une discussion de coordination globale sur les sources, pour que les efforts entrepris s'orientent plus particulièrement vers un accroissement de la durée de vie de leur matériel. C'est une condition nécessaire pour réduire les coûts comptables d'exploitation du véhicule électrique et assurer ainsi une diffusion de cette technique auprès des entreprises.

Par ailleurs, il s'avère nécessaire de :

- procéder à l'établissement d'un certain nombre de standards sur les accumulateurs.
Ceci devrait permettre de créer une certaine uniformisation entre les constructeurs français et européens.
- lancer une étude fondamentale sur les différents paramètres pouvant influencer les caractéristiques des accumulateurs au plomb.

Cette connaissance systématique est un élément essentiel dans les recherches qui seront faites pour améliorer les performances de ces accumulateurs, et plus particulièrement les durées de vie.

○ Après 1982, un second type de source doit être commercialisé. Il est nécessaire de :

— poursuivre conjointement les efforts sur les deux générateurs envisageables, accumulateurs zinc-nickel et générateur zinc-air à circulation.

La concurrence qui peut être perçue entre ces deux sources de seconde génération a été explicitée précédemment. A priori, il ne paraît pas souhaitable de poursuivre des recherches sur des techniques concurrentes et il semble même opportun de promouvoir seulement la technique qui assure le meilleur marché réel, lequel dépend des « caractéristiques d'usage » de chacune des sources :

- l'accumulateur zinc-nickel plus coûteux, nécessite une infrastructure de recharge par prise de courant, qui peut être identique à celle existant dans le cas des accumulateurs au plomb et qui, par sa simplicité même est aisément « normalisable » et « internationalisable ». L'accumulateur qui serait ainsi mis au point aurait des débouchés dans les secteurs industriels autres que l'automobile, ce qui valorise d'autant les efforts de mise au point qui seront décidés pour cette source ;
- la technique du générateur zinc-air à circulation est, de son côté, plus performante, moins coûteuse et semble plus acceptable d'un point de vue psychologique. Une recharge par échange standard de liquide est plus perceptible qu'un passage de courant. Par contre, il s'agit d'une technique particulière, propre à la France et au Japon, qui nécessite une infrastructure spécifique. Les autres pays européens ne semblent pas prêts à s'engager dans cette voie.

Ainsi, on ne peut pas considérer qu'une des sources présente, au point de vue du marché potentiel, une supériorité réelle par rapport à l'autre. Il est impératif cependant de mettre au point le plus rapidement possible une source plus performante, ceci afin :

- d'accroître la part du marché des véhicules non polluants et non nuisants,
- d'assurer une mutation progressive de la technique classique vers la traction électrique et faciliter l'adaptation du milieu d'accueil (capacité de production des industriels, formation des personnels d'entretien, réceptivité du public, infrastructures...).

Il ne faut donc pas prendre le risque d'échouer en éliminant, dès à présent, l'une des sources. Dans deux ans, il sera possible de disposer de plus d'informations concernant les travaux en cours sur l'accumulateur zinc-nickel, lequel, en raison de ses débouchés industriels variés fera certainement l'objet d'études de la part des industriels. Il sera alors temps de porter un jugement définitif sur l'opportunité de la poursuite des recherches sur le générateur zinc-air. Pour l'instant, il semble préférable de préserver l'avenir et de conserver cette possibilité technique, quitte peut-être à ralentir légèrement le rythme des travaux sur cette source.

- Quant aux sources de troisième génération, sodium-soufre ou pile à combustible, il ne paraît pas pensable de vouloir trancher, dès maintenant.

— Les travaux sur la pile à combustible et sur l'accumulateur sodium-soufre doivent se poursuivre.

La pile à combustible peut avoir, en effet, de multiples applications, surtout dans la mesure où l'hydrogène paraît être, pour l'avenir, un vecteur privilégié. Cependant, les accumulateurs sodium-soufre peuvent avoir aussi leur rôle à jouer et la poursuite des recherches de base s'impose encore, du moins dans les années à venir.

Outre des recherches sur ces sources, il ne faut pas oublier les études des problèmes connexes, tel que le stockage de l'hydrogène dans le cas des piles à combustible. Une étude d'évaluation des filières est en cours, il sera nécessaire ensuite de procéder aux expérimentations correspondantes.

b) Les chaînes de traction

- Pour assurer une exploitation optimum des sources, il est nécessaire de disposer de chaînes de traction très performantes.

Les actions à engager dans ce domaine sont beaucoup plus du ressort du développement que de la recherche. En général, les techniques de base sont connues. Il paraît cependant nécessaire de :

— procéder à une étude d'évaluation des différentes filières de motorisation.

De nombreuses solutions sont proposées pour les moteurs de traction ; c'est pourquoi, il s'avère nécessaire de procéder à une étude

d'évaluation des différentes filières avant d'engager des opérations ponctuelles sur telle ou telle technologie.

o Par contre, les choses paraissent plus simples dans le secteur des commandes. Il faut :

- engager immédiatement un effort important sur les transistors de puissance ;
- lancer une étude expérimentale sur les variateurs mécaniques.

c) Le véhicule « hybride »

Ce véhicule « récupérant les points de puissance » n'a pas encore été encouragé par les pouvoirs publics. Une réflexion théorique sur le sujet est cependant engagée. Il est souhaitable :

- de lancer des études probatoires sur les véhicules récupérant les pointes de puissance.

En raison de l'intérêt que semble présenter cette solution, ces études permettront de mieux définir le produit et de procéder à une première approche du marché.

2. - ... FAIRE BAISSER LES COÛTS...

Le marché de quelques milliers de véhicules électriques par an qui a été précédemment défini pour une période allant jusqu'en 1982 ne sera une réalité que dans la mesure où les bilans économiques des utilisateurs ne seront pas trop défavorables à cette nouvelle technique.

D'où l'importance d'une intervention des pouvoirs publics pour faire baisser les coûts.

Déjà, il n'est pas exclu que les véhicules électriques proposés dans la gamme du petit véhicule utilitaire de charge utile 200 kilogrammes et qui sont équipés avec des batteries de démarrage jouissant d'une large diffusion, soient dans certains types d'utilisation, plus intéressants que les véhicules thermiques correspondants.

Par contre, il ne semble pas qu'il en soit de même pour les véhicules plus lourds dont le cahier des charges impose des sources coûteuses spécialement conçues pour la traction. On estime cependant que la fabrication en série de ces accumulateurs peut diviser par deux les prix de revient.

Il en est de même pour les chaînes de traction. D'ores et déjà, il semble qu'un effort commercial pourrait être consenti par les industriels pour « lancer le marché ».

Cependant, l'effort principal des industriels en vue de réduire les coûts globaux d'exploitation, dont une part très importante provient de l'amortissement de la source, doit se porter sur les aspects suivants :

— accroître la durée de vie (comme signalé précédemment).

Une garantie de quatre ans minimum doit être un objectif prioritaire.

— mettre en place un réseau de vente de batteries de remplacement (dite de « seconde monte ») très restreint.

Cette option commerciale permettrait de ne pas ajouter à un prix de revient déjà élevé des marges commerciales aberrantes. A l'achat de la batterie de premier équipement, une garantie doit être donnée sur les prix qui seront consentis pour les « montes » suivantes.

— éventuellement créer une société de leasing d'accumulateurs.

Ceci permettrait, au niveau de la comptabilité des entreprises, de ne pas surcharger les comptes d'exploitation par des temps d'amortissement trop réduits et de simplifier les problèmes de trésorerie.

L'intervention des pouvoirs publics doit se limiter à fixer en liaison avec les industriels et au cours d'une négociation plus globale sur les sources d'énergie, des objectifs échelonnés dans le temps et permettant d'obtenir une réduction des coûts.

Par ailleurs, les autres interventions des pouvoirs publics dans le secteur des chaînes de commande pourront avoir pour objectif principal de réduire les coûts du matériel qui peuvent représenter jusqu'à 20 % du prix de revient total du véhicule.

D'une manière générale, des résultats conséquents seront obtenus dans cette recherche de réduction des prix dès que des productions de série auront pu être lancées. Les exemples passés portant sur les alternateurs ou les diodes équipant les véhicules classiques actuels, confirment ce point de vue.

En ce qui concerne les techniques de deuxième génération qui pourraient déboucher vers 1982, il semble encore trop tôt pour déterminer quelques orientations.

3. - FAIRE APPARAÎTRE UNE VOLONTÉ POLITIQUE DE PROMOUVOIR LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE...

Il est fréquemment plus difficile d'exploiter les connaissances théoriques et les résultats de prototypes que de les acquérir. C'est ainsi que les stades de production et de commercialisation sont longs à mettre en œuvre, avec un risque d'échec d'autant plus grand, qu'il s'agit de techniques nouvelles.

Le véhicule électrique n'échappe pas à cette règle : c'est pourquoi, il est nécessaire que les pouvoirs publics interviennent soit directement pour le promouvoir, soit indirectement par des actions d'accompagnement.

a) Actions de promotion directe

Les pouvoirs publics disposent de nombreuses possibilités pour promouvoir une technique. Il semble cependant, que les plus efficaces et moins difficiles à mettre en œuvre soient de :

— créer un premier marché du véhicule électrique.

En l'absence de production de série, les véhicules restent chers, donc difficilement commercialisables et en l'absence de commercialisation, il n'y a pas de vente et donc pas de série. Les pouvoirs publics semblent seuls capables d'intervenir dans ce cercle vicieux, en créant un premier débouché qui inciterait les industriels à s'engager.

Pour accroître l'impact d'une intervention allant dans ce sens, les administrations, les secteurs publics et para-publics pourraient donner l'exemple et équiper une certaine part de leur flotte utilitaire, avec des véhicules électriques. Il s'agit principalement du Secrétariat d'Etat aux Postes et Télécommunications, du ministère de l'Équipement, d'Électricité de France (E.D.F.), de la Régie Autonome des Transports Parisiens (R.A.T.P.)...

— en liaison étroite avec certaines municipalités intéressées à l'amélioration des transports en commun dans les centres villes, lancer la réalisation de prototypes de minibus électriques de vingt places assises (50 places au total).

Ce véhicule serait, en effet, particulièrement adapté à la circulation dans les centres villes où les problèmes de pollution et de nuisances sont plus particulièrement ressentis. Une action de ce type s'intégrerait aussi dans le cadre de la politique d'amélioration des transports en commun. C'est pourquoi, les pouvoirs publics pourraient :

- susciter la création d'un groupe d'une vingtaine de villes désirant participer à la mise au point d'un minibus électrique et susceptibles d'en assurer un premier marché ;
 - participer financièrement à cette opération, qui ne peut se réaliser sans intervention des pouvoirs publics.
- intervenir auprès des municipalités pour leur recommander de prendre en compte, au moment du remplacement de leur parc de bennes à ordures ménagères, la solution électrique.
 - engager quelques expérimentations dans les créneaux marginaux, tels que l'électrocycle et le bateau électrique.
- Même si les marchés correspondants restent restreints, des expérimentations permettraient de déboucher sur des commercialisations semblant répondre à un besoin.

b) Actions d'accompagnement

Il est particulièrement important d'insister sur le fait qu'une technique ne peut déboucher si un milieu d'accueil favorable ne lui est pas préparé. C'est pourquoi, il est nécessaire que les pouvoirs publics décident des actions d'accompagnement.

- Lancer une étude complète sur les différentes filières et leur consommation respective en matières premières.

Pour l'ensemble des matières premières utilisées dans chacune des filières, cette étude permettra de définir le niveau des ressources mondiales, les prix pratiqués et leur évolution prévisible, les conséquences que pourraient avoir leur utilisation sur la balance commerciale du pays.

Ces différentes informations sont essentielles pour les décideurs au moment des choix.

Cette action peut d'ailleurs s'intégrer dans le cadre d'une mise en place d'une comptabilité matière au niveau national.

- Appuyer les recherches en cours ou à entreprendre pour chiffrer les conséquences de la pollution.

Il est essentiel de disposer, au niveau des décideurs des pouvoirs publics, d'un outil de décision susceptible de servir de support uni-

formisé à une évaluation du « coût social » de la pollution engendrée par les différents composants de l'environnement (polluants chimiques, bruit...). Des recherches devraient être entreprises pour établir les facteurs de pondération de chacun de ces paramètres (choix d'un nombre de paramètres restreint au départ).

- **Engager des études de marché pour évaluer le développement futur du véhicule électrique.**

Les éléments dont disposent actuellement les pouvoirs publics sont très restreints. Il est nécessaire de compléter la connaissance du marché en disposant, dans chaque créneau de la courbe du nombre d'unités qui seront acquises chaque année en fonction des caractéristiques de performances des véhicules. Cette étude permettra de contrôler les estimations qui ont été faites précédemment.

- **Procéder au lancement d'une nouvelle expérimentation de véhicules banalisés.**

L'expérience de Montpellier s'est terminée sur un échec. Cependant, une étude des raisons de cet échec, ainsi qu'un suivi des expériences étrangères permettront d'envisager raisonnablement une nouvelle expérimentation dans un avenir proche. Les efforts, en ce domaine, sont pleinement justifiés par les perspectives d'accroissement de qualité de vie qu'un tel système, s'il fonctionnait correctement, apporterait aux citoyens. Un des facteurs essentiels de réussite est la simplicité d'usage et la fiabilité absolue du matériel. Seul, pour l'instant, le véhicule électrique peut espérer répondre, à court terme, à ces critères.

- **Organiser une concertation globale avec les industriels en vue de bâtir une politique concertée du véhicule électrique.**

Le développement progressif de la traction électrique pour les quinze années à venir et les étapes intermédiaires sont à organiser. Dans une telle perspective, il est indispensable que, pour tous les domaines relatifs à cette technologie, il y ait une concertation très suivie entre les industriels et les pouvoirs publics ; ceci afin de déterminer d'un commun accord, les orientations d'une politique industrielle à long terme à retenir et les efforts financiers à prévoir.

- Instituer un dialogue international, ou tout au moins européen, pour réaliser une coordination entre les différents pays intéressés au véhicule électrique.

Il est indispensable de tenir compte de l'imbrication économique européenne. A ce titre, accepter quelque part en Europe une technique nouvelle, qui pourrait se révéler incompatible avec les solutions retenues par les autres grands pays européens serait extrêmement néfaste. Les véhicules franchissent les frontières, et les constructeurs exportent chez nos voisins. Si les techniques, pour autant qu'elles appellent des infrastructures ou des règlements différents, n'étaient pas harmonisées, on assisterait, de fait, à l'introduction de barrières d'échanges qui ne seraient pas sans inconvénient.

- Constituer une structure d'expertise qui puisse servir de soutien technique aux décisions futures des pouvoirs publics.

De nombreuses expérimentations et contrôles sont nécessaires pour suivre et évaluer les progrès réalisés dans les différents aspects constitutifs du véhicule électrique.

En outre, la politique globale vis-à-vis du véhicule électrique et des industriels qui s'y intéressent est très dépendante d'avis techniques à émettre par un organisme indépendant et crédible.

Une structure d'expertise doit être constituée pour répondre à ces besoins, ce qui semble relativement facile à l'intérieur même du secteur industriel de l'automobile.

- Demander à cette structure d'expertise de coordonner les travaux de normalisation et de standardisation nécessaires à un développement régulier du véhicule électrique.

Dès que plusieurs partenaires, qu'ils soient publics ou privés doivent agir de concert, il est indispensable de créer un cadre structuré de standardisations destiné notamment à résoudre les problèmes d'interfaces ou de dialogues entre techniciens. Il s'agit tout particulièrement de définir un vocabulaire commun, de mettre sur pied un cycle représentatif de la circulation urbaine, d'adopter une méthode de calcul uniformisée des coûts des sources, des chaînes de traction, des infrastructures, d'établir un coefficient de coût d'exploitation des véhicules, de normaliser les interfaces entre les principaux composants...

- **Lancer une concertation avec toutes les parties prenantes sur les aspects de logistique et d'infrastructure.**

Les différentes possibilités qui sont offertes aux pouvoirs publics pour faciliter l'introduction du véhicule électrique dans l'environnement actuel ont été recensées. Il importe désormais de choisir celles d'entre-elles qui peuvent assurer le meilleur milieu d'accueil, ceci en liaison avec l'ensemble des intéressés tant de l'administration que des secteurs publics ou privés.

- **Créer un cadre légal au véhicule électrique.**

L'ambition, à moyen terme, des responsables doit être, dans la mesure du possible, de ne pas créer un cadre propre au véhicule électrique, ceci afin de respecter la règle de neutralité de la législation française.

Or, la législation actuelle a été créée en fonction des véhicules thermiques. L'ensemble des problèmes réglementaires est donc à réétudier pour tenir compte de l'apparition du véhicule électrique. Actuellement, une nouvelle définition de la puissance fiscale est en cours d'élaboration et devrait être officialisée pour le véhicule électrique dans les six mois à venir. Au cours de 1975, un travail identique doit être fait sur les aspects réglementaires de sécurité.

- **Lancer une évaluation des mutations industrielles qui seront obligatoirement provoquées par l'implantation du véhicule électrique.**

Cette évaluation est à faire dans un délai assez court en collaboration avec les industriels concernés. En effet, la traction électrique modifie radicalement certains processus de fabrication. Il est nécessaire de prévoir ces modifications et de les planifier afin de minimiser les conséquences de ces mutations. Une bonne programmation permettra en outre de réduire les délais de passage de cette technique à la phase industrielle.

- **Elaborer une politique de formation aux nouvelles techniques introduites par le développement du véhicule électrique.**

L'apparition du véhicule électrique conduit à diffuser de nombreuses techniques nouvelles qui doivent être enseignées et vulgarisées au fur et à mesure de leur mise au point. Ceci est essentiel, notamment

en ce qui concerne la formation d'un personnel d'entretien sur lequel repose le succès de toute innovation.

Un effort est en particulier à entreprendre avec le ministère de l'Education pour introduire des cours sur la traction électrique dans les collèges d'enseignement technique spécialisés en mécanique.

L'EFFORT FINANCIER

Il n'est pas du rôle de ce rapport de fixer directement le montant de la participation des pouvoirs publics pour chacune des actions proposées. Cependant, il est apparu possible de déterminer les ordres de grandeur d'une intervention dans les grands secteurs qui ont été étudiés :

Proposition de participation des pouvoirs publics pour une promotion du véhicule électrique		
Secteurs d'intervention	1975	1976
Sources	6 000 000	10 500 000
Chaînes de traction	1 000 000	3 000 000
Expérimentations	2 000 000	2 500 000
Total partiel pour les interventions techniques	9 000 000	16 000 000
Etudes complémentaires diverses	1 000 000	1 000 000
Total	10 000 000	17 000 000

Les études complémentaires diverses, citées en fin du tableau ci-dessus, représentent les différents travaux qui doivent être engagés pour mieux connaître l'impact et le marché du véhicule électrique.

Il faut donc bien constater que les sommes à mettre en jeu, c'est-à-dire 10 000 000 de francs en 1975 et 17 000 000 de francs en 1976 restent très faibles en regard des objectifs poursuivis.

La mise en place d'un groupe responsable de la promotion du véhicule électrique.

Le tableau précédent présente la participation financière souhaitable des pouvoirs publics pour les deux années à venir ; il n'a pas paru possible de programmer ces efforts au-delà de 1976. En effet,

- Le scénario qui a été évoqué précédemment n'a pas la prétention de prédire l'avenir, il ne fait qu'extrapoler la situation et les tendances actuelles. Il ne peut donc servir efficacement de point de mire que dans un espace de temps relativement restreint.
- De nombreuses inconnues techniques seront levées au cours de ces deux années, tant en ce qui concerne l'aboutissement de certains travaux sur les sources, que les résultats des premières commercialisations, que les conclusions des études de marché qui seront lancées.
- La conjoncture est actuellement très évolutive et peut subir de profondes modifications dans les deux années à venir.

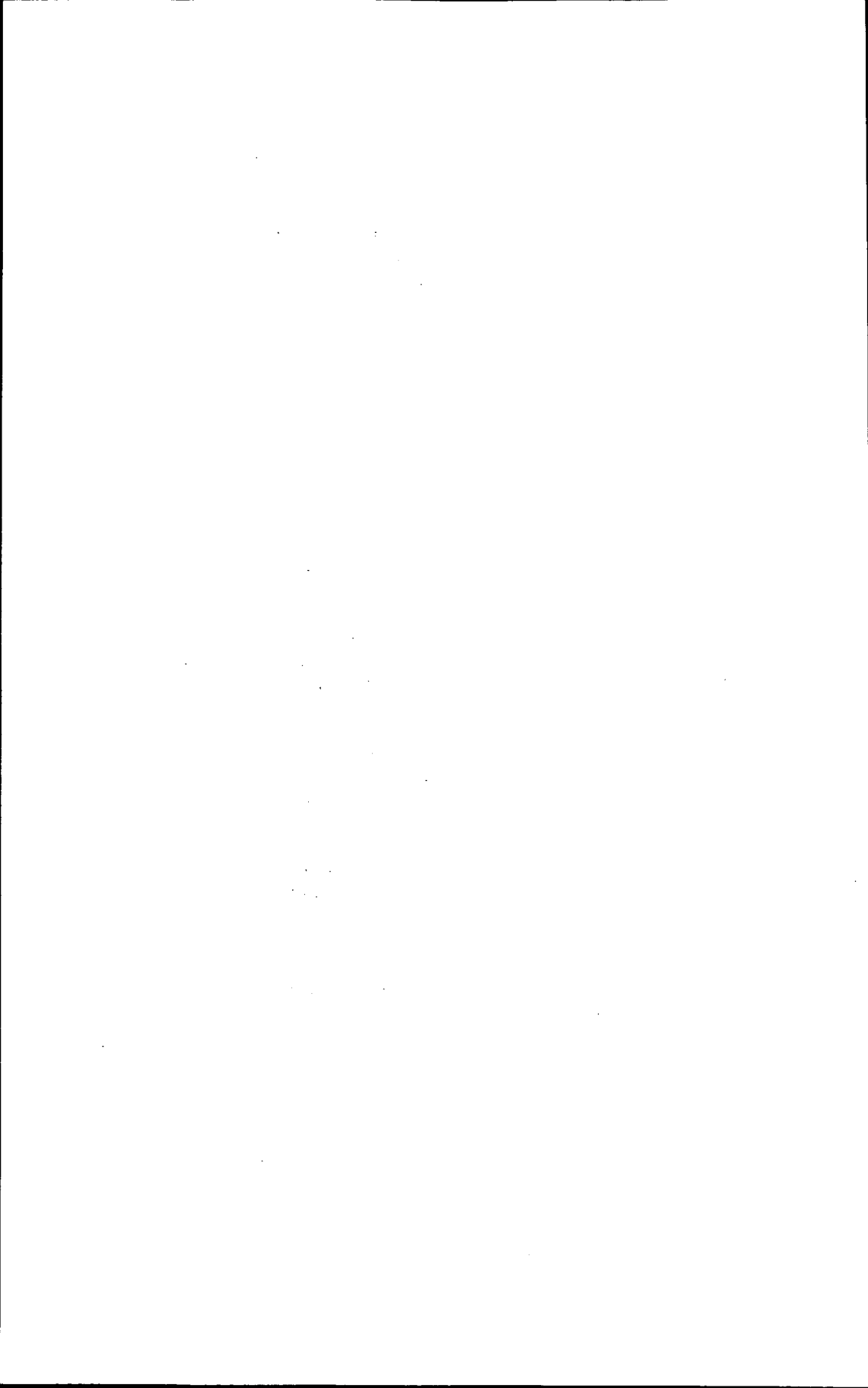
Pour ces mêmes raisons, il semble essentiel que le travail de synthèse qui a été entrepris à l'occasion de ce rapport soit poursuivi et que, pour la fin de l'année 1976, l'ensemble de la politique des pouvoirs publics vis-à-vis du véhicule électrique, soit réétudié dans un nouveau rapport, à remettre au Gouvernement.

Sur la lancée des travaux qui ont été entrepris pour la rédaction du présent document, il serait alors possible de constituer un groupe interministériel chargé d'assurer un suivi de l'évolution de la technique chez les différents industriels.

Ce groupe pourrait avoir aussi pour mission de coordonner la mise en œuvre, par les différents ministères, du programme qui sera décidé par le Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement, à la lecture des propositions qui précèdent.

Le groupe interministériel, composé uniquement de représentants des administrations concernées pourrait bien entendu constituer temporairement des sous-groupes non administratifs, chargés d'étudier plus spécialement certains aspects particuliers, auxquels pourraient participer les industriels.

Il semble qu'une telle structure soit la plus apte à agir de manière opérationnelle dans le cadre des orientations générales qui seront adoptées lors de la cession du Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement.



chapitre 1

GÉNÉRALITÉS

1977/1978

A. - CHOIX D'UN EXPERT « VEHICULE ELECTRIQUE »

Les pouvoirs publics, avant de prendre des décisions de participation financière ou même d'intervention, doivent disposer d'un dossier technique du véhicule ou de la technique proposée rédigé par un expert neutre en la matière, c'est-à-dire dégagé de tout lien commercial privilégié avec l'un ou l'autre des constructeurs automobiles.

Jusqu'à maintenant, l'Electricité de France (E.D.F.) avait rempli ce rôle, en raison de son intérêt à promouvoir le véhicule électrique et grâce à la compétence des membres de son centre de recherche des Renardières. Cependant, il n'entre pas dans la vocation de cette entreprise de poursuivre cette activité dès lors que le virage industriel semble devoir être pris prochainement.

L'Union Technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle (U.T.A.C.) semble, par contre, particulièrement apte à remplir ce rôle, étant entendu qu'Electricité de France est disposé à lui apporter l'appui de son expérience et de sa compétence.

L'Union Technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle (U.T.A.C.) pourrait être incitée à former une cellule spécialisée dans la technique du véhicule électrique, de façon à prendre le relais d'Electricité de France (E.D.F.) dans les travaux d'expertise. Le transfert de connaissance entre ces deux organismes pourrait être réalisé en deux ans.

Les pouvoirs publics devraient financer entièrement le coût de cette opération qui peut être estimé à 200 000 F.

Figure 1. [Illegible text]

Figure 2. [Illegible text]

Figure 3. [Illegible text]

Figure 4. [Illegible text]

Figure 5. [Illegible text]

B. - NORMALISATION ET STANDARDISATION

DÉFINITION D'UN VOCABULAIRE STANDARDISÉ

On ne peut envisager le développement d'une technique sans qu'une certaine normalisation des mots, des conditions d'essais... ne soit effectuée en vue de comparer les technologies. Afin d'éviter le particularisme, il est même souhaitable d'accepter les conclusions des travaux des commissions internationales dans ce domaine (commission électrotechnique internationale notamment), ou tout au moins d'intervenir dans les discussions pour faire reconnaître les options qui auraient pu être retenues au niveau national.

Différents termes devront être explicités tels que :

- la vitesse maximum du véhicule,
- l'autonomie non-stop,
- les caractéristiques de charge de la source,
- les caractéristiques de décharge de la source : la profondeur de décharge, le profil de décharge, etc...
- les énergies consommées,
- la charge utile,
- ...

les conditions d'essai et les niveaux de tolérance étant définis dans un « environnement » standardisé :

- vitesse du vent,
- pression atmosphérique,
- température ambiante,
- type de revêtement,
- dessin de la route,
- poids embarqué à bord du véhicule (notamment chargeur),
- les auxiliaires électriques en service,
- ...

L'autonomie réelle du véhicule, parce qu'il s'agit d'une des données les plus perceptibles par le public, doit faire l'objet d'une définition précise ; pour cela, il est nécessaire de standardiser un cycle.

DETERMINATION DU CYCLE

La détermination d'un cycle de performance-type représentant une circulation standardisée urbaine est essentielle, afin de comparer :

- les véhicules entre eux : l'appel de courant, donc la puissance appelée au démarrage, dépend de l'inertie du véhicule. Par suite, un véhicule qui, en « non-stop », a des performances satisfaisantes en raison du profilage de sa carrosserie, peut, en circuit urbain, être très médiocre en raison de son poids,
- les sources d'énergie entre elles : les sources étant de nature essentiellement différentes, les critères de performances ne peuvent être les mêmes. Ainsi, la capacité et la puissance massique, qui permettent une comparaison entre les accumulateurs (encore faut-il par le cycle retenu pondérer respectivement la puissance et l'énergie) n'ont qu'une signification relative dans le cas de sources, telles que les piles à combustible. Aussi, est-il utile, en parallèle avec la détermination d'un cycle, de choisir quelques véhicules-types qui peuvent être équipés de différentes sources,
- les chaînes de traction entre elles.

La détermination de ce cycle, réclamée par tous les industriels du véhicule électrique, pose le problème d'un accord, en France, sur un cycle représentatif. Les constructeurs de véhicules électriques utilisent le cycle de Stockholm, défini par la Commission électrotechnique internationale, dont la trop grande simplicité est parfois contestée; Electricité de France a construit son propre cycle dite « cycle de Fontainebleau », car les mesures ayant permis de constituer ce cycle ont été faites dans cette ville, considérée comme ville moyenne française.

Les trois organismes français compétents, l'Institut de Recherches des Transports (I.R.T.), l'Union Technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle (U.T.A.C.) et Electricité de France (E.D.F.) acceptent de mener conjointement une étude qui devrait conduire rapidement à un accord national. Les constructeurs d'automobiles auraient, bien entendu, à participer à ce travail. Le cycle le plus représentatif étant, sans doute, différent pour la voiture d'un particulier et pour un autobus, il n'est pas impensable qu'il faille envisager plusieurs cycles suivant les véhicules.

DEFINITION DES CONDITIONS D'ESSAIS DES SOURCES D'ENERGIE

Les durées de vie ou les performances, mesurées en laboratoire, se révèlent, assez fréquemment, différentes des résultats obtenus, lorsque la source d'énergie est montée sur un véhicule. Or, il n'est pas envisageable, pour comparer d'un point de vue technique les sources d'énergie, de les tester sur des véhicules.

Il importe donc de définir un code d'essai des sources, suivant leur nature, qui tiendrait compte des caractéristiques d'utilisation :

- hachage du courant,
- profondeur des décharges,
- vibrations,
- température,
- cycle urbain d'utilisation,
- ...

DEFINITION DES INDICATEURS DE PRIX DE REVIENT

Les accumulateurs, les véhicules eux-mêmes, ayant non seulement des performances différentes, mais aussi des durées de vie, des coûts d'achat, des besoins en infrastructure, des frais d'exploitation spécifiques, il est nécessaire de constituer, même artificiellement, des coefficients permettant d'établir des comparaisons économiques utilisant les techniques d'actualisation.

Ainsi, pourraient être définis :

- un « coefficient représentatif du coût annuel » d'une source d'énergie,
- le « prix de revient kilométrique » d'un véhicule pouvant se comparer à des calculs identiques faits pour le véhicule thermique.

L'Union Technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle (U.T.A.C.), en collaboration avec l'Institut de Recherche des Transports (I.R.T.) et Electricité de France (E.D.F.) pourraient être chargés de mettre sur pied un programme d'études pour :

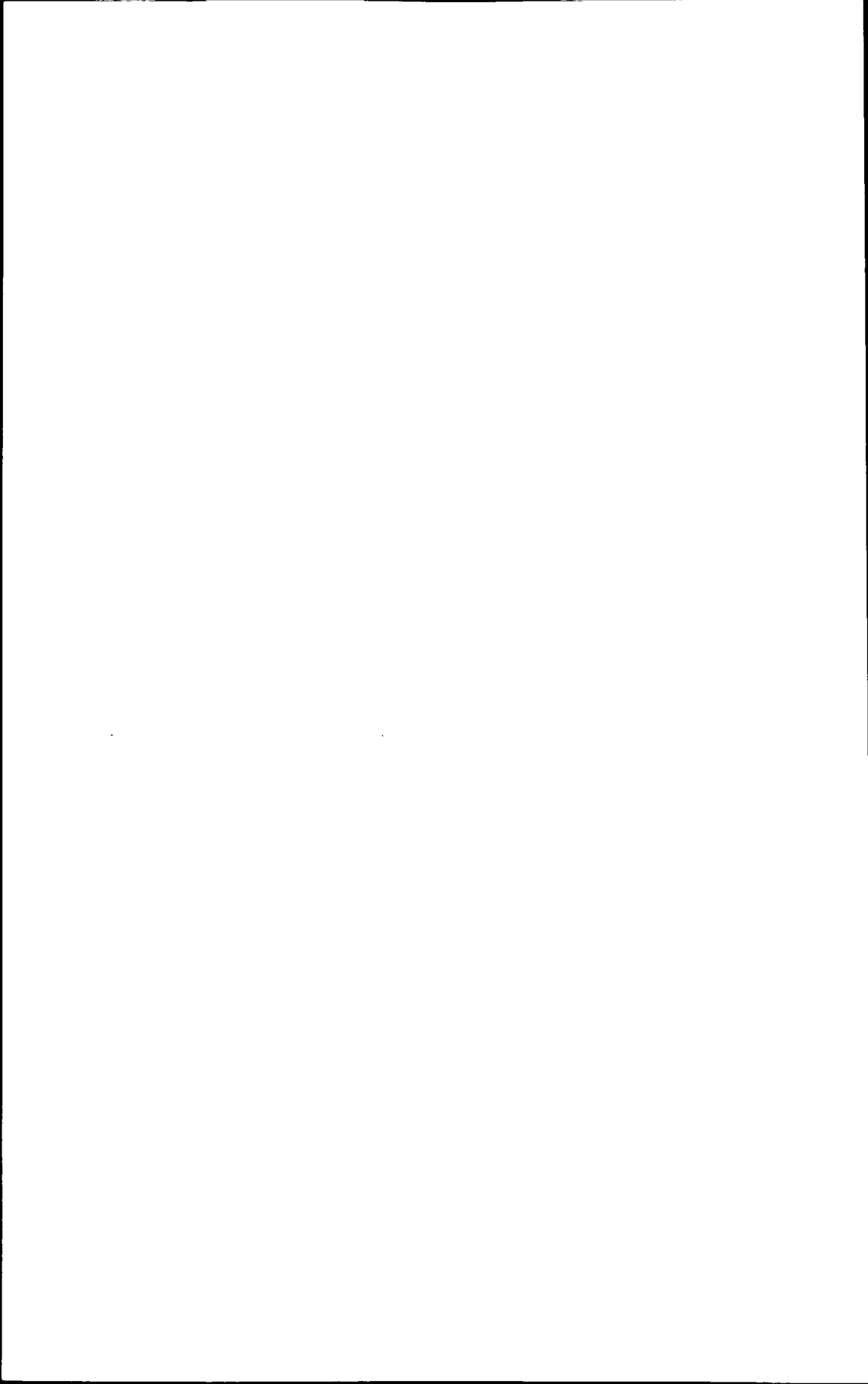
- aboutir, avant la fin de 1975, à une standardisation de la terminologie en matière de véhicules électriques qui porterait sur la définition :
 - o des conditions d'essais,
 - o de quelques véhicules normalisés,
 - o d'un (ou plusieurs) cycle urbain.

Cette standardisation pourrait être :

- o soit le résultat des confrontations internationales qui auraient abouti,
 - o soit le résultat le plus probable de ces discussions dans le cas où l'aboutissement paraîtrait proche,
 - o soit ce que pourrait être la position française, si aucun consensus ne semblait encore apparaître,
- définir et normaliser, si possible dans un cadre européen, un code d'essai des sources d'énergie,
 - mettre au point des indicateurs de prix de revient des sources et des véhicules.

chapitre 2

ASPECTS TECHNIQUES



A. - SOURCES D'ENERGIE

La découverte de la pile, c'est-à-dire la génération d'un courant à partir d'un volume de solution liquide placé entre deux plaques de métaux différents reliées par un fil conducteur, date de 1800, grâce à Volta. Une autre année importante a été 1839 au cours de laquelle l'Anglais Grove découvrit la pile à combustible : après avoir réalisé une électrolyse entre deux électrodes de platine, en conservant l'oxygène et l'hydrogène dans deux éprouvettes coiffant les électrodes, il a constaté qu'en reliant les deux bornes de l'électrolyseur par un conducteur, ce dernier était parcouru par un courant qui s'annulait malheureusement assez rapidement (on sait, maintenant, que cet arrêt était dû à une polarisation des électrodes que l'on ne savait éviter à l'époque).

Les sources électriques pour la traction, et notamment l'accumulateur au plomb, ont progressé lentement jusqu'à la première guerre mondiale. Par la suite, les qualités énergétiques de l'essence et les performances du moteur à combustion interne ont contribué à réduire, sinon à supprimer, les efforts technologiques en faveur des sources électriques.

Ce n'est qu'en 1953 que Bacon a réalisé une pile hydrogène-oxygène d'une puissance d'un kilowatt. Et, peu après, un nouvel intérêt pour la traction électrique est apparu dans les milieux scientifiques mondiaux et de nombreuses recherches et études ont été lancées. C'est le cas pour les accumulateurs et surtout pour les piles à combustible, domaine dans lequel différentes filières ont été étudiées avec l'espoir d'un développement rapide. Cependant, vers 1969, devant la difficulté de réalisation d'électrodes performantes et fiables, et en raison de la complexité croissante des auxiliaires, deux ou trois équipes seulement décidèrent de poursuivre les études en France.

Avant de passer en revue les différentes sources d'énergie, il semble nécessaire de procéder, dès à présent, aux définitions suivantes :

- Les accumulateurs sont des réservoirs d'énergie qui reçoivent de l'énergie électrique, la stockent sous forme d'énergie chimique, et la restituent, à la demande, sous forme d'énergie classique.
- Les piles à combustible sont des générateurs électrochimiques transformant directement l'énergie chimique d'un combustible en énergie électrique.
- L'énergie massique ou volumique pratique est la quantité d'énergie exprimée en watt-heure (intensité de décharge \times tension moyenne \times durée de décharge) stockée dans un kilogramme ou un décimètre cube. La quantité d'énergie récupérable dépend des conditions de décharge, et en particulier de la durée

de décharge (habituellement on retient soit une durée de deux heures, soit une durée de cinq heures).

- o La puissance massique ou volumique s'exprime par le nombre de watt (tension moyenne en décharge \times intensité de décharge) ramené à un kilogramme ou un décimètre cube dans des conditions de décharge qui doivent être explicitées.
- o La durée de vie peut également être exprimée en fonction des conditions de charge et de décharge ; en particulier, la profondeur de décharge (rapport de la capacité effectivement utilisée à la capacité disponible, au même régime de décharge), a une grande influence sur le nombre de cycles qu'il est possible d'effectuer. Cette profondeur de décharge doit donc toujours être précisée et la durée de vie sera exprimée en nombre de cycles pendant lesquels la capacité correspondant à la profondeur de décharge indiquée peut être effectivement récupérée.

REMARQUE IMPORTANTE :

Pour clarifier l'exposé, nous prendrons à titre purement indicatif et provisoire quelques créneaux de véhicules afin de « visualiser » dans les tableaux ci-après, les données techniques de puissance massique ou d'énergie massique. Les caractéristiques mentionnées sont le résultat de compromis possibles parmi beaucoup d'autres. Elles ne présument en aucune façon des choix qui pourraient être faits éventuellement par les constructeurs, mais ont l'intérêt essentiel de comparer les différentes sources dans un cadre commun.

Trois véhicules types, qui ont déjà été expérimentés ou sont en cours d'expérimentation, ont été retenus :

- un véhicule particulier deux places, type Renault R4,
- un véhicule utilitaire de charge utile 600 kg, (type Renault Estafette électrique),
- un minibus de 50 places dont 20 assises.

Pour ces trois véhicules types les caractéristiques suivantes ont été calculées et inscrites dans les tableaux :

- la charge utile brute, c'est-à-dire le poids total embarqué : chauffeur, passagers, bagages,
- la vitesse maximum,
- l'autonomie urbaine, selon un cycle voisin du « cycle de Stockholm » et déduit en pratique de l'expérimentation. Dans ce cas, les véhicules, quelles que soient leurs autres caractéristiques, ne dépassent pas 60 km/h, subissent de nombreux arrêts et redémarrages,
- le coût de l'amortissement de la source aux 100 km parcourus,
 - o les prix sont évalués sur les bases du début de l'année 1974,

- o le véhicule est supposé être exploité à l'optimum, grâce à une utilisation maximum de la décharge.

A ce coût s'ajoute, pour l'utilisateur, l'ensemble des coûts d'exploitation, encore indéterminés.

Certaines hypothèses complémentaires ont été prises pour comparer entre elles les sources :

- le véhicule a toujours un poids identique, ce qui conduit parfois à une charge utile supérieure (sauf dans le cas du minibus avec les générateurs zinc-air ou sodium-soufre, où il n'était pas possible, par définition d'accroître la charge utile),
- l'accroissement de capacité des générateurs est utilisé en priorité en vue d'améliorer les performances et surtout l'autonomie.

ACCUMULATEURS EXISTANTS

ACCUMULATEURS AU PLOMB

Les batteries au plomb sont pratiquement, à ce jour, les seuls accumulateurs utilisés dans les véhicules électriques prototypes circulant dans le monde.

L'énergie massique actuelle, de l'ordre de 30 à 35 Wh/kg, pourrait être portée à 45 Wh/kg au régime de décharge en deux heures.

Depuis quelques années, un important programme d'étude a recherché une amélioration des caractéristiques des accumulateurs au plomb pour la traction électrique. Les résultats les plus intéressants ont permis d'atteindre 44 Wh/kg au régime de décharge de 5 heures. Malheureusement, dans ce cas, il semble actuellement impossible de dépasser 500 cycles.

En effet, on constate que les techniques généralement mises en œuvre pour améliorer l'une des caractéristiques nuisent aux autres. Ainsi l'accroissement de l'énergie massique entraîne généralement une diminution de la durée de vie. C'est pourquoi, Electricité de France, après avoir expérimenté des accumulateurs de capacité 44 Wh/kg a décidé d'équiper les Renault R5 électriques avec des accumulateurs moins performants, mais supportant un nombre de cycles élevé (inférieur à 40 Wh/kg au régime de décharge en cinq heures pour 500 cycles en laboratoire).

Il s'avère, en fait, que le niveau de connaissance sur la technologie de ces sources ne permet pas de connaître les facteurs déterminants dans l'amélioration des caractéristiques des accumulateurs au plomb. De nombreux paramètres peuvent intervenir : profondeur de décharge, vitesse de charge, caractéristique du courant débité, vibrations...

Une étude fondamentale intéressant l'ensemble des pays européens est donc nécessaire. Lorsque un certain nombre de lois seront élaborées, les industriels connaîtront les orientations à prendre pour améliorer leurs produits.

Il faudra d'ailleurs, auparavant, déterminer des priorités dans les objectifs d'amélioration des accumulateurs. Les constatations ci-après permettent de retenir certains axes de recherches.

- o Le véhicule électrique est pénalisé actuellement par des performances relativement réduites. Cependant, ces performances restent compatibles avec un certain type de marché.
- o Par contre, le facteur économique semble plus préoccupant. Les responsables des entreprises font, en effet, des calculs prévisionnels en amortissant le coût des accumulateurs sur la durée de garantie.

Un effort doit donc être fait pour que :

- la garantie couvre exactement la durée de vie de l'accumulateur,

- la garantie soit exprimée en années comme le font les Anglais et non pas en cycles, ce qui n'est pas contrôlable,
- la durée de vie soit notablement accrue. Les 500 cycles recherchés actuellement ne sont qu'une étape. Il faut viser une garantie de quatre ans, telle qu'elle est souvent pratiquée en Angleterre ou aux U.S.A., sans majoration importante du prix de revient,
- la valeur d'achat de la « seconde monte » (remplacement de l'accumulateur d'origine) ne soit pas largement supérieure à celle prise en compte par le constructeur du véhicule. En effet, ceux-ci jouissent de conditions d'achat extrêmement avantageuses, qui conduisent à des montants d'amortissement raisonnables, qu'il semble nécessaire de conserver après le remplacement de l'accumulateur d'origine. Ceci conduit à envisager un système de distribution différent de ce qui existe actuellement pour les batteries de démarrage. Le chapitre 3.C. sur la maintenance et l'entretien conclue de manière identique au vu des problèmes de stockage.

En outre, d'autres applications peuvent être envisagées notamment dans le domaine des véhicules hybrides. Ce créneau nécessite des accumulateurs de haute puissance supportant un nombre de cycles très élevé (voir ci-après chapitre 2.C. sur les véhicules « hybrides »). Bien que, à première vue, l'accumulateur au plomb ne puisse convenir, il semble intéressant de lancer des études dans ce domaine.

ACCUMULATEURS CADMIUM-NICKEL

L'électrode positive est constituée d'hydroxide de nickel, l'électrode négative d'hydroxide de cadmium à l'état déchargé et de cadmium métallique à l'état chargé. L'électrolyte est une solution de potasse.

Dans une version améliorée, l'accumulateur cadmium-nickel peut prétendre approcher l'énergie massique des accumulateurs au plomb avec une durée de vie très supérieure, une plus grande fiabilité et surtout une puissance massique beaucoup plus élevée.

Cependant, l'emploi de matières actives à base de métaux coûteux (nickel et cadmium) rend son exploitation peu probable comme seule source de propulsion du véhicule électrique.

En revanche, le haut niveau de puissance massique et l'aptitude aux recharges rapides confèrent à cette source des caractéristiques mieux adaptées aux conditions d'exploitation du véhicule « hybride » : l'accumulateur cadmium-nickel peut être une source d'appoint de puissance pour les accélérations et la montée des pentes, en association avec une source d'énergie qui, en attendant la mise au point des piles à combustible ou du générateur zinc-air à circulation pourrait être un moteur thermique tournant à une puissance constante. Dans ces conditions d'exploitation, les quantités d'énergie à emmagasiner sont faibles, ce qui conduit à un accumulateur cadmium-nickel dont le prix n'est plus rédhi-

bitoire et qui, d'après les industriels, serait capable de supporter plusieurs centaines de milliers de cycles de charge et décharge partielle à forte intensité.

AUTRES SYSTEMES

Les accumulateurs fer-nickel, robustes et de longue durée de vie, présentent dans l'état actuel de nos connaissances des valeurs d'énergie et de puissance massiques trop faibles pour être envisagés comme source de propulsion de voitures.

Pour les accumulateurs zinc-argent et cadmium-argent, l'électrode positive est constituée d'argent, métal dont la rareté empêche tout emploi en traction électrique. De plus, pour le couple zinc-argent, la durée de vie de l'électrode de zinc est faible, eu égard à sa mauvaise tenue en exploitation avec un nombre de cycles élevé.

	Accu. au plomb		Accumulateurs alcalins							
	A actuel	E espéré	Cd/Ni		Fe/Ni		Zn/Ag		Cd/Ag	
			A	E	A	E	A	E	A	E
Energie massique théorique (Wh/kg)	170		210		265		440		270	
Energie volumique théorique (Wh/dm³)	720		730		850				1 400	
Energie massique pratique (Wh/kg) au régime de 2 heures	32	40	35	45	20	30	125		55	60
Energie volumique pratique (Wh/dm³) au régime de 2 heures	80	90	90	100	55	60	250		110	
Puissance massique * pratique maximale (W/kg)	70	100	400		30		500		90	
Puissance volumique * pratique maximale (W/dm³)	180	220	1 000		85		1 000		180	
Durée de vie en nb de cycles à 80 % de profondeur de décharge	500	500	1 000	1 200	3 000		120	500	600	1 000
Durée de recharge en heures	10	4	1	0,2	4		5	5	4	2
Plage de fonctionnement (°C)	- 30 à + 60°		- 40 à + 50	- 40 à + 60	- 20 à + 50		0 à + 70		0 à + 50	
Rendement énergétique moyen ** aux bornes	0,75		0,70		0,50		0,75		0,70	
R 4 ***	- charge utile brute (kg)	200	200							
	- vitesse max. (km/h)	60	60							
	- autonomie urbaine (km)	60	75							
	- amortissement, source aux 100 km (F)	11 à 13	6 à 8							
Etatfette ***	- charge utile (kg)	600	600							
	- vitesse max. (km/h)	80	80							
	- autonomie urbaine (km)	80	100							
	- amortissement, source aux 100 km (F)	20 à 24	11 à 15							
Minibus ***	- nombre de passagers	50	50							
	- vitesse max. (km/h)	60	60							
	- autonomie urbaine (km)	100	120							
	- amortissement, source aux 100 km (F)	70 à 90	40 à 60							

* pour une chute de tension de 12,5 %.

** charge de durée indiquée dans le tableau et décharge en 2 heures.

*** voir remarque p. 46.

Pour aboutir à une amélioration du service rendu par les accumulateurs classiques, il faut :

- provoquer l'élaboration d'un programme d'étude fondamentale sur les paramètres physiques pouvant modifier les caractéristiques des accumulateurs au plomb actuels, de façon à fournir aux différentes parties-prenantes les bases techniques d'une amélioration de ceux-ci et notamment de leur durée de vie. Cette étude qui intéresse l'ensemble des pays industrialisés pourrait être menée au niveau international. Le financement devrait être assuré par les industriels concernés, mais les pouvoirs publics pourraient favoriser et faciliter l'organisation de ce travail dans le cadre d'une concertation européenne. Eventuellement, une participation financière de principe pourrait être prévue au niveau français (environ 200 000 F). Délai de l'étude : 2 ans.
- inciter les industriels à orienter leur politique suivant les axes ci-après définis :
 - o modifier leurs conceptions commerciales classiques dans le domaine des accumulateurs de traction, en instaurant des périodes de garantie exprimées en années et évaluées au plus près de la durée de vie escomptée,
 - o sur les bases des performances actuelles, rendre prioritaires les études et recherches permettant d'accroître la durée de vie des produits. Un objectif de garantie sur quatre ans semble raisonnable à l'horizon 1977,
 - o organiser le système de vente de batteries de « seconde monte » pour assurer un coût raisonnable,
 - o engager des études en vue de perfectionner les accumulateurs au plomb à haute puissance et faible capacité destinés à une utilisation dans les techniques « hybrides »,
 - o entreprendre des recherches annexes pour mettre au point des générateurs au plomb, à partir d'une nouvelle conception de leur structure. Un objectif d'augmentation de l'énergie massique à 55 Wh/kg environ en régime de décharge en 2 heures, à l'horizon 1980, semble souhaitable, pour autant que la durée de vie soit maintenue à quatre ans,
 - o lancer, enfin des actions concourant à réduire le coût des accumulateurs cadmium-nickel.

Ces actions intéressent l'ensemble du monde industriel, puisque ces accumulateurs sont utilisés par de nombreuses entreprises pour assurer, en particulier, la sécurité du personnel et, quelquefois, de l'installation.

ACCUMULATEURS EN COURS D'ETUDE

Il s'agit de couples électrochimiques qui sont, soit en cours d'expérimentation en laboratoire, soit au stade du développement.

ACCUMULATEURS ZINC-NICKEL

Les technologies classiques de réalisation d'accumulateurs zinc-nickel conduisent à des performances d'énergie et de puissance massiques satisfaisantes. Mais, les durées de vie sont généralement faibles : en laboratoire, 200 cycles peuvent être obtenus. Dans les deux années à venir, les constructeurs espèrent atteindre 500 cycles à 70 % de profondeur de décharge. L'énergie massique est actuellement de 60 Wh/kg ; le constructeur espère atteindre, dans un délai de deux ans, 70 Wh/kg, avec l'espérance de parvenir à 80 Wh/kg, ce qui double les performances de l'accumulateur au plomb. Compte tenu du coût relativement raisonnable du zinc, cet accumulateur devrait constituer une excellente solution ; cela justifie le lancement d'un programme de développement pour améliorer les performances obtenues en laboratoire, et plus particulièrement mettre au point la membrane sélective qui empêcherait la migration des ions zincate vers l'électrode positive, mais laisserait par contre passer les ions hydroxydes. Les premières membranes, avec matière active dispersée à l'intérieur, ont donné des résultats prometteurs. Si la durée de vie de l'accumulateur zinc-nickel peut atteindre des valeurs satisfaisantes, il peut constituer une solution intéressante pour la traction et plus généralement pour tout le secteur industriel. Son prix n'est que de 1,5 à 2 fois le prix de l'accumulateur au plomb au watt-heure. La technologie de l'accumulateur étant traditionnelle, on peut espérer une industrialisation rapide.

En outre, du fait qu'il n'y a pas de différence importante de capacité selon le rythme de décharge, cet accumulateur permet d'assurer aux véhicules une vitesse permanente maximum plus importante que dans le cas de l'accumulateur au plomb.

Deux phases de travaux peuvent être programmées pour aboutir à une commercialisation de l'accumulateur zinc-nickel :

- l'une de deux ans, avec deux stades : en 75, optimisation de l'électrode au zinc ; en 76, mise au point d'un élément prototype de 50 ampères-heure. Le coût de cette phase peut être estimé à 4 millions de francs,
- la seconde, qui permettrait, dans les meilleurs délais, de prévoir le démarrage du processus d'industrialisation dès le début de l'année 1978.

La réalisation de la première phase pourrait être l'objet d'une aide au développement de la part des pouvoirs publics.

ACCUMULATEURS HYDROGENE-NICKEL

Ce nouveau type d'accumulateur étanche présente des caractéristiques d'énergie, de puissance et de durée de vie compatibles avec les spécifications d'un véhicule électrique urbain.

Cependant, son coût élevé, lié à l'emploi de catalyseurs nobles dans l'électrode à hydrogène et aux impératifs technologiques d'étanchéité à l'hydrogène, ne le rend pas apte aux applications terrestres, mais plutôt aux applications spatiales. Des études d'optimisation économique pourraient être entreprises.

GENERATEURS ZINC-AIR

Ce type de générateur est constitué :

- d'une électrode positive poreuse, en général en noir de carbone imprégné d'une substance hydrophobe,
- d'une électrode négative en zinc,
- d'une solution électrolytique basique.

Il peut se présenter sous trois formes :

- accumulateur statique de construction semblable aux accumulateurs au plomb,
- générateur mécaniquement rechargeable par remplacement de l'électrode négative et de l'électrolyte,
- générateur zinc-air à circulation d'électrolyte : devant les différents problèmes rencontrés dans les configurations précédentes, plusieurs chercheurs ont adopté une solution originale pour l'électrode négative, consistant à remplacer cette électrode par une circulation de poudre de zinc avec l'électrolyte. Cette conception fournit d'ailleurs, pour le réglage des caractéristiques de la source, des possibilités supplémentaires, puisque le débit de circulation d'électrolyte et le débit d'air sur les électrodes positives peuvent être utilisés pour moduler la tension et l'intensité fournies par le générateur.

La recharge se fait par régénération de la suspension d'oxyde de zinc. Deux techniques sont envisageables :

ou bien le dispositif de régénération est embarqué à bord du véhicule et la recharge s'effectue en amenant l'énergie électrique sur ce dispositif, comme dans le cas d'un accumulateur classique,

ou bien on réalise un échange de la solution usagée par une solution régénérée, l'ensemble de l'opération étant très rapide, et la régénération étant effectuée à l'extérieur du véhicule dans des unités plus ou moins centralisées. Cette solution rend la recharge comparable à celle de la pile à combustible.

Néanmoins, cette technique entraîne l'étude de toute une infrastructure pour l'approvisionnement et le traitement de l'électrolyte comprenant la poudre de zinc ou, après utilisation dans la pile, l'oxyde et le zincate. L'exploitation globale de cette pile dans le système économique français demande une étude approfondie, déjà commencée par Electricité de France (E.D.F.), les sociétés pétrolières et, bien entendu, par le constructeur.

Le générateur zinc-air à circulation fait l'objet de recherches très poussées, notamment en France et au Japon. Du point de vue des performances, il est possible d'atteindre 100 Wh/kg, et il paraît réaliste d'espérer 120 Wh/kg. Aujourd'hui, l'élément unitaire est au point, l'assemblage de plusieurs cellules est en cours. La plupart des difficultés techniques ont été surmontées.

C'est ainsi, que plusieurs générateurs, offrant une capacité d'un kilowatt-heure, sont soumis à des essais d'endurance. Des études sont néanmoins encore nécessaires aux niveaux de l'exploitation, de l'intégration sur une chaîne de traction, de la régénération et de l'industrialisation.

Il importe, de plus, de déterminer avec précision les créneaux qui sont à la portée du générateur zinc-air à circulation. La promotion commerciale de cette source d'énergie passe par l'utilisation de la recharge électrique embarquée. La régénération extérieure qui nécessite une infrastructure importante pourrait être envisagée dans le cas d'une généralisation à l'ensemble du parc automobile français. Dans ce cas, l'investissement correspondant est tel que, seul un faible risque d'obsolescence prématurée des équipements pourrait motiver le financement de la logistique nécessaire.

Il faut mettre en place un programme à moyen terme permettant de moduler dans l'avenir les efforts de recherche et de développement en fonction des résultats obtenus dans les autres filières qui risquent de concurrencer la technique du zinc-air. Deux phases sont nécessaires :

- la première consisterait à réaliser et à tester sur banc, des générateurs aux caractéristiques suivantes :
 - o énergie stockée 8 kWh
 - o puissance 6 kW
 - o nombre de cycles 500
 - o poids 100 kg

Simultanément, une unité pilote de régénération serait construite et essayée. Cette phase s'achèverait par une évaluation technico-commerciale du programme.

La durée prévue par le constructeur pour réaliser un tel projet est de trois ans et demi, à partir du 1^{er} janvier 1974. Le coût de cette phase est évalué à 24 millions de francs.

- la seconde, d'un an et demi, avec recouvrement de 6 mois sur la phase précédente, consisterait à réaliser et à expérimenter des générateurs zinc-air sur véhicules.

Les caractéristiques en seraient augmentées : 100 Wh/kg 80 W/kg en pointe, durée de vie supérieure à 500 cycles pour un générateur de 20 kWh.

Cette phase comprendrait l'essai sur véhicules des éléments mis au point au cours de la phase précédente et viserait à obtenir une confirmation de l'intérêt commercial.

Ce n'est qu'ensuite que l'industrialisation pourrait être envisagée ; elle sera longue et on peut prévoir une commercialisation à l'horizon 1980-1982.

Les industriels de l'automobile se proposent d'assurer eux-mêmes la production de série de générateurs zinc-air, lorsque celui-ci sera au point, mais hésitent, pour l'instant, à investir dans les études correspondantes. Or, le programme de développement est trop vaste pour ne pas impliquer, dès maintenant, une participation effective des constructeurs Français et Etrangers et des pouvoirs publics.

ACCUMULATEURS « HAUTE TEMPERATURE »

Il s'agit des accumulateurs sodium-soufre et lithium-soufre avec des variantes telles le lithium-sélénium ou le lithium ou sodium-sulfure.

L'accumulateur sodium-soufre comporte un électrolyte-séparateur solide qui est l'alumine β . Les matières actives, solides à la température ambiante, sont portées à des températures comprises entre 250 et 400° C suivant le type de générateur. Dans ces conditions ces produits sont rendus liquides.

Bien que l'accumulateur lithium-soufre présente des performances espérées plus remarquables encore que celles de l'accumulateur sodium-soufre, c'est ce dernier type d'accumulateur qui est, en France, l'objet du projet le plus avancé à l'heure actuelle. L'objectif réaliste est d'atteindre une énergie massique de 180 à 200 Wh/kg pour une puissance massique de 200 W/kg et une durée de vie de 1 000 cycles.

Pour les éléments sodium/soufre, d'excellentes performances ont été obtenues en laboratoire. Malheureusement, lorsque ces éléments sont regroupés en batterie, la durée de vie est réduite en raison de la difficulté, pour ce système, de supporter la surcharge. Il est d'ailleurs probable que, dans l'avenir, on ne pourra plus raisonner en cycles, mais en années de fonctionnement en raison des problèmes de corrosion.

D'importantes difficultés technologiques demandent encore plusieurs années d'efforts ; notamment dans les domaines de la résistance des matériaux à la corrosion et de la soudure de matériaux de natures très différentes.

Cet accumulateur, dont les caractéristiques sont très prometteuses (environ le double du zinc-air à circulation), peut trouver des applications très avantageuses dans de nombreuses utilisations industrielles et notamment dans le stockage de l'énergie électrique produite en heure creuse.

Une durée de mise au point, de l'ordre de 10 à 15 ans, est généralement admise pour la réalisation de batteries opérationnelles, ce qui risque dans le cas de la traction de les mettre en concurrence avec la pile à combustible hydrogène-air.

Un programme de recherche d'une durée minimale de 6 ans pourrait être lancé. Il devrait comporter en priorité des travaux sur l'alumine β , la construction d'une cellule unitaire fiable, l'étude des problèmes d'assemblage en batterie et la définition d'un auxiliaire opérationnel pour la mise en température.

Il est nécessaire de prévoir un coût de recherche de l'ordre de 10 millions de francs pendant les six prochaines années, c'est-à-dire, jusqu'en 1980, date à laquelle on pourra penser au développement et à l'essai sur véhicule individuel. Une aide régulière de l'Etat semble indispensable pour mener à bien ces recherches.

ACCUMULATEURS ZINC-CHLORE

Ce système, original par son procédé de stockage du chlore sous forme d'hydrate solide, et qui a le mérite d'employer des matières actives actuellement peu coûteuses, exige de conserver le chlore dans un réservoir calorifugé. En effet, l'hydrate se décompose spontanément au-dessus de 10° C.

Les performances du premier prototype utilisé ne sont pas brillantes, mais les inventeurs américains estiment possible de dépasser 150 Wh/kg.

Ce couple n'en étant qu'au stade de début d'expérimentation, la durée de vie et le coût de réalisation ne sont pas encore connus, ni même estimés, et d'importants problèmes de matériaux restent à résoudre, comme dans le cas des accumulateurs à haute température. Certains spécialistes Français lui accordent un certain crédit pour l'avenir. Il semble nécessaire d'obtenir plus d'informations sur cette technique avant de porter un jugement.

	ACCUMULATEUR				GENERATEUR		ACCUMULATEURS HAUTES TEMPERATURES				ZN/C12	
	Zn/Ni		H2/Ni		Zn/Air à circulation		S/Na		S/LI		A	E
	A (actuel)	E (espéré)	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E
Energie massique théorique (Wh/kg)	330		380		900		785		2 800		267	
Energie volumique théorique (Wh/dm ³)	1 050		1 350		3 300		1 100		3 000			
Energie massique pratique (Wh/kg) au régime de 2 heures	60	70	60	70	100	120		200	110	300	110 **	180 **
Energie volumique pratique (Wh/dm ³) au régime de 2 heures		120		110		120		150				
Puissance massique**** pratique (W/kg)	200	250			80	100		200	300	600	60 **	130 **
Puissance volumique **** pratique (W/dm ³)		450				100		150				180 **
Durée de vie en nombre de cycles à 80 % de profondeur de décharge	200	500	800	1 500		800		1 000		1 000		500
Durée de recharge en heures	5	3	2	1								
Plage de fonctionnement (°C)	- 20 à + 50		- 20 à + 50		- 20 à + 70		300 à 350		350 à 400			
Rendement énergétique moyen *****		0,70		0,64		0,50		0,80				0,70
R 4	— charge utile brute (kg)	200				270						
	— vitesse max. (km/h)	60				90						
	— autonomie urbaine (km)	120				200						
	— amortissement, source aux 100 km (F)	10 à 15				3 à 8		peu réaliste				
Estafette	— charge utile (kg)	600				900		1 100				
	— vitesse max. (km/h)	80				90		90				
	— autonomie urbaine (km)	160				200		200				
	— amortissement, source aux 100 km (F)	18 à 27				8 à 20		5 à 25				
Minibus	— nombre de passagers	50				*** 50		*** 50				
	— vitesse max. (km/h)	80				80		80				
	— autonomie urbaine (km)	200				250		250				
	— amortissement, source aux 100 km (F)	65 à 100				25 à 50		15 à 75				

* en tenant compte de la limite de solubilité du chlorure de zinc.

** valeurs pour le système complet, y compris le dispositif de refroidissement.

*** mais on dispose d'un minibus pesant 20 % de moins que celui prévu pour les accumulateurs. Le prix d'autant plus faible que la charge est rapide, d'où

**** pour une chute de tension de 12,5 %.

***** charge au régime indiqué dans le tableau et décharge en 2 heures. (Le rendement énergétique est d'achat est donc réduit.

compromis à choisir).

***** voir remarque p. 46.

Afin de développer les sources de « deuxième et troisième génération », il est indispensable de poursuivre les efforts :

- de mise au point de l'accumulateur zinc-nickel qui, à moyenne échéance, peut se substituer à l'accumulateur au plomb. La première phase qui permet l'essai des éléments prototypes peut être évaluée, sur une période de deux ans, à quatre millions de francs. La seconde phase devrait conduire, en une année, dans la meilleure hypothèse, à la commercialisation du produit,
- de développement sur le générateur zinc-air à circulation d'électrolyte. La première phase qui permet de tester un générateur complet est chiffrée par le constructeur à 24 millions de francs et est programmée sur trois ans et demi, à partir de début 1974. La seconde phase vise à l'expérimentation de véhicules équipés de ce générateur,
- de recherche sur l'accumulateur sodium-soufre en vue de déterminer sa validité technique, dès 1980. Le coût des travaux est évalué à 10 millions de francs sur six ans. Les pouvoirs publics devraient intervenir financièrement pour soutenir ce programme de recherche fondamentale.

LES PILES A COMBUSTIBLE

PARTICULARITES

A la différence des accumulateurs, les réactifs oxydants et réducteurs des piles à combustible sont stockés à l'extérieur des chambres de réaction.

Cette conception entraîne deux conséquences :

- On peut distinguer deux parties indépendantes, la partie stockage des réactifs qui définit l'énergie disponible d'une part, et la partie chambre de réaction qui définit la puissance disponible d'autre part.
- Lorsque les réactifs sont épuisés, il suffit de remplir les réservoirs pour que la pile à combustible soit à nouveau opérationnelle ; c'est généralement une manutention très rapide.

Les notions d'énergies massique et volumique pratiques perdent leur signification pour ce type de générateur électrochimique, car il suffit de modifier le réservoir stockant les réactifs pour augmenter très fortement l'énergie sans augmenter le poids de façon proportionnelle.

ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Des difficultés importantes sont apparues au cours des nombreuses études lancées dans le monde.

La nécessité de fournir des puissances acceptables impose des densités de courant relativement élevées, ce qui nécessite des catalyseurs efficaces et de longue durée de vie. Les catalyseurs répondant à ces critères sont des matériaux nobles, de coût élevé, rares, comme les platinoïdes. De nombreuses tentatives ont été faites pour utiliser des catalyseurs meilleur marché. Aujourd'hui, c'est seulement dans le cas de la pile hydrogène-air que des résultats significatifs ont été obtenus. Le catalyseur d'oxydation est le nickel de Raney.

Le gaz carbonique de l'air agit sur l'électrolyte, qui dans la plupart des cas est basique, pour donner des carbonates détériorant les performances de la pile dans le temps. De même, l'oxydation des combustibles carbonés industriels libère du gaz carbonique. L'utilisation de l'électrolyte acide a été envisagée, mais la plupart des métaux qui constituent les électrodes sont attaqués en milieu acide concentré. En milieu tamponné à des pH de l'ordre de 7 à 9, les performances actuelles de la pile sont loin d'être satisfaisantes. Aussi, de nombreuses études ont dû être menées pour mettre au point des procédés de décarbonatation.

Enfin, d'autres difficultés sont relatives à l'élaboration du système complet pile-auxiliaires qui doit être optimisé pour diminuer le poids et surtout le coût.

PRINCIPAUX TYPES DEVELOPPES

Le comburant est généralement l'oxygène de l'air et le combustible est l'hydrogène, soit directement sous forme gazeuse, dans la pile hydrogène-air, soit sous forme « quasi liquide » comme le cas de la pile hydrazine-air ou dans le cas de la pile directe méthanol-air. Il existe également des piles indirectes méthanol-air utilisant un « reformer » transformant le méthanol en hydrogène, associé à la pile.

SOLUTIONS POUR LE VEHICULE ELECTRIQUE

Les piles hydrazine-air ont atteint un niveau d'étude assez avancé.

L'excellente réactivité de l'hydrate d'hydrazine, le fait que ce combustible peut être utilisé dissous dans l'électrolyte, ce qui simplifie beaucoup la conception des électrodes, permettent de réaliser des générateurs électriques extrêmement compacts et légers offrant une puissance massique supérieure à 100 W/kg.

Toutefois, le prix élevé de ce combustible et sa très grande toxicité interdisent, à l'heure actuelle, son utilisation dans les véhicules électriques.

Les piles hydrogène-air bénéficient d'un stade de développement relativement avancé. Elles paraissent susceptibles, dans l'état actuel des connaissances, de trouver, dans l'avenir, un débouché commercial effectif. L'hydrogène est envisagé comme combustible à moyen terme, le problème du stockage dans le véhicule reste actuellement entier : des recherches sur les hydrures métalliques métastables qui fourniraient un moyen de stockage à faible pression viennent d'être lancées. L'objectif à court terme dans le domaine de la puissance massique est d'atteindre 100 watts au kg.

Les piles méthanol-air en sont encore au niveau des recherches fondamentales. Les travaux portent principalement sur l'optimisation des conditions de fonctionnement d'une cellule unitaire. Le stade de l'assemblage en batteries ne pourra pas être entrepris avant une ou deux années. On peut considérer que les applications au véhicule électrique ne sont pas l'objectif premier de ce type de pile, mais il ne faut pas les exclure. Les piles ont une température de fonctionnement dépassant 70 °C et approchant le point d'ébullition du méthanol, ce qui imposera des précautions particulières.

PROPOSITIONS D'ACTIONS

- o la pile hydrogène-air.

Il est important d'avoir une opinion confirmée sur les possibilités réelles, à la fois techniques et économiques, de la pile hydrogène-air pour une utilisation de type traction, afin de savoir si l'on peut lancer des opérations d'envergure. Une pile hydrogène-air sans métaux précieux, existe et a atteint un état qui permettrait de faire, dans un avenir très proche, des essais sur véhicule.

Il serait souhaitable d'évaluer les problèmes principaux de fabrication et d'exploitation.

Dans ce cadre, un programme de 5 ans peut être mis sur pied.

Le montant total de l'opération est de l'ordre de 14 millions de francs.

Les pouvoirs publics devraient participer financièrement.

Trois phases peuvent être prévues :

— Première phase (18 mois)

Il s'agit de faire les premiers essais d'un véhicule équipé d'une pile à combustible. C'est en sorte un « laboratoire roulant ». Le moyen le plus commode est un véhicule utilitaire, type Estafette.

La pile à installer aurait les caractéristiques de l'ordre de celles obtenues en fin 1974 :

32,6 KW - 338 kg (10 kg au kW)

226 A - 144 V

puissance de pointe : 42 KW (350 A - 120 V).

— Deuxième phase (12 mois)

- o Etude des moyens de fabrication : mise au point d'une chaîne pilote,
- o Etude des problèmes posés par l'utilisation de l'hydrogène : stockage, sécurité, distribution, conditions d'exploitation, réfrigération.

Cette phase peut éventuellement être placée avant la précédente et constituer un préalable à la poursuite des travaux.

— Troisième phase (2 ans et demi)

A partir des résultats précédents, il faut débiter l'expérimentation de véhicules et abandonner le stade de laboratoire. L'équipement de plusieurs voitures individuelles (au moins 5) doit être programmé, afin de faire une étude exhaustive des problèmes de traction et d'exploitation des véhicules à piles.

C'est seulement après ces trois phases, que l'on pourra penser à l'industrialisation de la pile à combustible, c'est-à-dire, pas avant 1980. Compte tenu d'une

durée d'industrialisation de 4 à 5 ans, un lancement commercial ne peut être envisagé avant 1985. En parallèle, d'ailleurs, d'autres efforts pourront être faits pour augmenter la puissance massique et réduire les coûts.

o la pile méthanol-air

La phase actuelle de développement de la pile méthanol-air, qui fait l'objet d'une participation importante d'une société étrangère, doit se poursuivre. Cette pile peut d'ailleurs trouver d'autres applications que la traction. Les résultats sur les études actuelles seront connus en 1976 : les suites à donner devront être envisagées à cette époque.

	H ₂ /Air		CH ₃ OH/Air direct		N ₂ H ₄ /Air	
	A (actuel)	E (espéré)	A	E	A	E
Energie massique théorique du combustible (Wh/kg)	H ₂ + O ₂ : 3 656 H ₂ : 32 681		CH ₃ OH + O ₂ : 2 438 CH ₃ OH : 6 088		N ₂ H ₄ + O ₂ : 2 744 N ₂ H ₄ : 5 489	
Puissance massique pratique (W/kg**) (pile complète)	85 à 110	200	20 à 55	70	75 à 140	200
Durée de vie en heures de fonctionnement	2 000	5 000 à 10 000	600 à 1 000		plusieurs centaines	
Plage de fonctionnement (°C) ..	60 à 80°		70°		70°	
Rendement énergétique approximatif* pour 100 mA/cm ²	0,50	0,55	0,3	0,4	0,5	0,55
R 4 ***						
— charge utile (kg)	300					
— vitesse max. (km/h)	110					
— autonomie urbaine (km) ..	250					
— amortissement, source aux 100 km (F.)	5 à 12					
Etatfette						
— charge utile (kg)						
— vitesse max. (km/h)						
— autonomie urbaine (km) ..						
— amortissement, source aux 100 km (F.)						
Minibus						
— charge utile (kg)						
— vitesse max. (km/h)						
— autonomie urbaine (km) ..						
— amortissement, source aux 100 km (F.)						

* sans tenir compte de la consommation énergétique des auxiliaires de la pile.

** hors poids du combustible.

*** voir remarque p. 46.

En raison des espoirs placés dans la mise au point de la pile à combustible, il est nécessaire de :

- poursuivre le développement de la pile hydrogène-air suivant trois phases :
 - expérimentation probatoire sur véhicule
Coût : 4 M.F.
Délai : 18 mois
 - évaluation industrielle de la fabrication et étude d'exploitation
Coût : 5 M.F.
Délai : 12 mois
 - expérimentation de prototypes industriels
Coût : 5 M.F.
Délai : 2 ans et demi.
- poursuivre les travaux sur la pile méthanol-air dans le cadre des objectifs généraux de la recherche.

B. - MOTEURS ET COMMANDES

En aval des sources, le moteur et sa commande complètent la chaîne de traction.

Dans les premiers véhicules électriques (fin du siècle dernier - 1900-1910), le moteur à courant continu, moteur série, avec variateur de vitesse par couplage de batteries et introduction de résistances dans le circuit était le système utilisé. L'inconvénient majeur était la consommation d'énergie dans les résistances.

En 1910, Krieger a monté sur ses véhicules des moteurs « compound » à courant continu avec flasques en aluminium et réducteur. Il y avait un moteur à chaque roue avant. Après 1918, la fabrication fut abandonnée. En France, le véhicule électrique réapparut en 1939-45 : le moteur était à courant continu, soit série, soit compound, de préférence. Le couplage des batteries était réalisé par des relais. Les Anglais ont poursuivi cette technique, dans le véhicule utilitaire. Elle est fiable, bon marché, relativement silencieuse, mais beaucoup moins souple qu'une solution électronique telle que l'on peut l'envisager pour l'avenir proche.

Le moteur à courant continu a donc été préférentiellement utilisé depuis les premières réalisations de véhicule électrique. Cependant, depuis une vingtaine d'années, le moteur alternatif a été envisagé et essayé dans le cadre de la traction S.N.C.F. et, pour certaines applications dans l'automobile, il semble avantageux. Quant aux commandes, entre le contacteur traditionnel et les systèmes sophistiqués utilisés dans l'aviation, une évolution régulière a été enregistrée qui permet de prévoir l'élaboration de systèmes rationnels et économiques, grâce à l'électronique.

SYSTEMES CLASSIQUES

Moteurs

La plupart des moteurs utilisés dans la traction électrique sont à courant continu. Dans cette catégorie, on range les moteurs bien connus, issus de l'anneau de Gramme, c'est-à-dire comprenant un circuit magnétique extérieur fixe, appelé inducteur avec son bobinage d'excitation et une partie tournante appelée induit, bobinée avec son collecteur.

Le moteur le plus fréquemment utilisé pour des faibles puissances est le moteur à excitation série. Le même courant parcourt l'induit et l'inducteur. Le couple dans la partie non saturée de la courbe est pratiquement proportionnel au carré de l'intensité. Au démarrage, un couple important est disponible.

La vitesse du moteur est fonction du couple. Le flux d'un tel moteur est directement lié au courant absorbé. Ce flux ne peut être éventuellement réglé que par un couplage série ou parallèle des inducteurs. Il faut contrôler la vitesse sur toute la plage de fonctionnement par action sur la tension d'alimentation.

Un autre moteur à courant continu, le moteur à excitation séparée, est utilisé et peut apporter des solutions très prometteuses. En effet, si le courant parcourant l'induit est constant, le couple est seulement fonction du courant parcourant l'inducteur, ce qui limite les possibilités au démarrage. Cependant, en rendant le courant d'excitation proportionnel au courant d'induit, il devient possible d'obtenir les mêmes couples de démarrage. Il est aussi possible de faire varier cette loi de proportionnalité en fonction de la vitesse. Une telle disposition permet une grande souplesse d'emploi. De même, de grands efforts ont été faits pour diminuer le poids : un champ magnétique plus important a été obtenu par l'emploi de matériaux magnétiques évolués, mais cette solution est actuellement inexploitable en raison de son coût extrêmement élevé.

Un troisième type de moteur à courant continu est utilisé, le moteur compound. Il offre des possibilités de souplesse remarquables. La variation de vitesse est fournie par variation de champ. En exploitant toutes ces possibilités, un couple de démarrage acceptable et un contrôle fin de la vitesse peuvent être obtenus. Cependant, il semble que ces avantages ne soient pas déterminants, d'autant plus que certaines difficultés apparaissent par effet transformateur sur les deux enroulements d'excitation.

Le moteur à courant alternatif peut être également une solution dans le domaine de la traction. Ce moteur est renommé pour sa robustesse et sa facilité d'entretien. En général, le type le plus fréquemment utilisé est le moteur asynchrone triphasé à cage. Il a une puissance massique élevée, due à sa possibilité de grande vitesse de rotation, liée à une fréquence élevée rendue possible par l'absence de balais. Ses utilisations peuvent être nombreuses, si on le monte avec un réducteur. L'évolution récente a porté principalement sur l'allègement et sur l'évacuation des calories en faisant appel à des carcasses et à des flasques en alliage d'aluminium.

Commandes

Entre la source à tension non réglable et le moteur dont la vitesse doit pouvoir être réglée en permanence, il faut intercaler un dispositif permettant de transformer la tension fixe en tension réglable.

Ce dispositif est appelé variateur, lequel doit permettre d'assurer la commande du moteur. De sa bonne conception dépendent la longévité de la batterie et les performances du véhicule.

Pendant longtemps, pour les moteurs à courant continu, les commandes conventionnelles, de type rhéostatique ou à relais, ont été utilisées. Elles offrent peu de souplesse et conduisent à des pertes d'énergie importantes. Aussi pour pallier ces inconvénients, on fait de plus en plus appel aux commandes électroniques. On utilise des semi-conducteurs de commutation : en général ce sont des thyristors, mais les progrès espérés pour le proche avenir sur les transistors de puissance permettent d'envisager leur utilisation dans le domaine du véhicule électrique. Ils créent des impulsions d'énergie qui sont intégrées par la self du moteur, ce qui équivaut à disposer d'un courant moyen variable. Le variateur est donc du type « hacheur ».

Pour les petites et moyennes puissances (jusqu'à 20 kW), le composant le mieux adapté au fonctionnement en commutation en courant continu semble être le transistor au moins pour des puissances inférieures à 10 kW. En effet, il présente une plus grande facilité de commande, par la mise en place de circuits simples et il permet une fréquence de travail élevée. C'est ce qui explique la tendance actuelle à le préférer au thyristor, qui nécessite entre autres, un circuit d'extinction gros consommateur d'énergie.

Pour les moteurs à courant alternatif, il faut des onduleurs qui à partir du courant continu de la source fournissent des courants alternatifs polyphasés de tension et de fréquence variables créant le champ tournant. Ces dispositifs sont composés de redresseurs au silicium, de thyristors, de systèmes logiques et de déclencheurs. La technique des circuits intégrés de commande atteint un tel degré de progrès que la fiabilité de ces dispositifs est excellente. Mais le nombre de composants reste six fois plus élevé que dans le cas des hacheurs simples commandant un moteur à courant continu.

SOLUTIONS A DEVELOPPER

En l'état actuel de la technique, il est impossible de porter le choix sur un seul type de moteur. Il semble que jusqu'à une puissance comprise entre 50 et 70 kW, le moteur à courant continu soit plus indiqué que le moteur à courant alternatif, et que pour des puissances plus importantes ce soit l'inverse. Quand

la puissance augmente, le gain de poids du moteur alternatif par rapport au continu devient significatif et son prix devient plus faible.

Pour des puissances allant jusqu'à 50 à 70 kW, les prix de revient du continu sont inférieurs à ceux de l'alternatif aujourd'hui. En effet, pour le moteur à courant alternatif, on utilise moins de cuivre et les frais de main-d'œuvre sont moins importants, mais il faut lui adjoindre un onduleur dont le prix de revient est bien supérieur au hacheur utilisé pour le moteur à courant continu. De même, le prix de fabrication des moteurs à courant continu de la nouvelle génération ont considérablement baissé, grâce à une intervention dans le sens d'une simplification des opérations de bobinage. Par exemple, il est possible d'avoir autant d'encoques que de lames de collecteurs, et l'on met dans ces encoches des conducteurs qui, en plus de leur rôle, font également lames de collecteurs. Les liaisons se font par soudure externe. Dans d'autres cas, pour des moteurs cylindriques à bobinage lamellaire, en général les conducteurs ont été placés directement dans l'entrefer en créant une couche active amagnétique. Enfin, avec le moteur alternatif, le freinage et la récupération d'énergie sont plus difficiles à mettre en œuvre.

Dans tous les cas, il faut adapter la construction à la durée prévisible d'utilisation.

Quant aux commandes, un effort important est à faire dans le domaine des transistors de puissance.

Actuellement, les différents systèmes de commandes ont été montés avec des transistors encore insuffisamment puissants, ce qui oblige d'en employer un assez grand nombre et entraîne des prix de production encore prohibitifs. L'industrie française du composant électronique semble avoir les compétences requises pour réaliser des transistors, moyenne tension, très fort courant. Par ailleurs, des progrès peuvent être encore envisagés sur les thyristors qui pourraient remettre en cause la préférence actuelle pour le transistor de puissance. Différentes voies peuvent être suivies plus particulièrement par les pouvoirs publics. Pour chacune d'elles, les constructeurs doivent également rechercher, pour les applications au véhicule, le meilleur rendement possible, le niveau de bruit le plus faible, la meilleure capacité de freinage avec récupération par transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique restituée à la batterie, la plus grande souplesse de conduite, notamment aux faibles vitesses et la sécurité.

Ces voies sont les suivantes :

Le moteur continu à excitation séparée et variateur électronique

Des essais ont déjà été réalisés sur véhicule type urbain avec un tel système et ont apporté des résultats intéressants, qui demandent une poursuite des études (dans la gamme de 6 kW).

L'avantage de ce moteur est sa grande faculté de réglage et sa réalisation en général plus aisée que celle du moteur série.

Il y a deux possibilités de réglage : par action sur le courant induit ou par action sur le courant d'excitation.

Ces deux actions sont également souvent conjointes, ce qui permet une grande souplesse d'emploi, comme par exemple le fonctionnement en générateur par surexcitation du moteur (obtention du frein moteur et récupération d'énergie). Ce type d'excitation permet ainsi de choisir le point de fonctionnement le mieux adapté au couple résistant et à la vitesse.

La commande est électronique. Elle comprend trois éléments, la commande de tension d'induit, la commande de tension d'excitation, la logique de pilotage de ces deux variateurs. Sa simplification par l'utilisation de transistors de puissance permet d'envisager des dispositifs très intéressants, d'autant que pour éviter des pertes Joule importantes par suite d'un mauvais facteur de forme du courant pris à la source et d'une ondulation en dent de scie non négligeable du courant dans le moteur, la mise au point d'une commutation séquentielle des composants apportera de grands progrès dans le domaine.

Enfin, si dans certains cas, on utilise le moteur série, on lui adjoint le shuntage par thyristors.

Le moteur à réluctance variable et à commande électronique

Le courant d'alimentation de ce moteur doit posséder des caractéristiques bien déterminées pour pouvoir créer, dans des bobinages appropriés, un champ magnétique variable qui agit directement sur le rotor. Ainsi, un dispositif de commutation électronique module des courants suivant une loi déterminée, afin que les circuits magnétiques du stator puissent agir sur les dents d'un rotor constitué par un matériau convenablement divisé comprenant des lamelles de fer pur séparées par des lamelles amagnétiques. Pour que le moteur tourne, il faut créer un champ fort devant les dents, tandis qu'il y a un champ faible derrière, qui nécessite l'emploi d'une commande électronique. Ce moteur est à réluctance variable, car il y a déformation dissymétrique du champ entre le bobinage et le rotor ferro-magnétique.

Ce moteur possède un certain nombre de caractéristiques qui le rendent attractif. Il a un très fort couple et fonctionne à basse vitesse. Il a encore une puissance massique élevée sous ces conditions. Il est parfaitement réversible, c'est-à-dire qu'il a autant d'aptitudes en frein qu'en moteur : c'est le fonctionnement « quatre cadrans ». Enfin, il demande peu d'entretien, et sa durée de vie est longue. La logique de commande, à base d'électronique de puissance, est d'un coût moins élevé que le hacheur réversible pour moteur continu.

Le coût de ce moteur doit être du même ordre que celui des machines asynchrones équivalentes. En effet, on utilise peu de cuivre et les matériaux magnétiques sont classiques. Des progrès ont été réalisés sur ce type de moteur, où un premier modèle probatoire a été réalisé, avec comme caractéristiques :

Masse : 60 kg

Puissance : 9 kW (17 en crête)

645 tours/minute

Rendement global 75 %, avec espérance à 80 %.

Des travaux encore importants sont à entreprendre, notamment dans le domaine de la réduction du bruit, qui demeure élevé. Le rapport couple/bruit est à étudier.

Ce moteur peut être placé dans la roue du véhicule, en raison de ces caractéristiques de couple à basse vitesse.

Enfin, il semble être intéressant pour équiper les autobus à grande capacité.

Des études sont en cours et les promoteurs affirment pouvoir mettre au point ce moteur en une à deux années. Un délai de deux ans au minimum serait ensuite nécessaire pour lancer le développement.

Le moteur cylindrique avec bobinage lamellaire et commande électronique

Plusieurs prototypes ont été construits, et les résultats semblent prometteurs. Ces moteurs sont légers et conservent leur puissance sur une large gamme de vitesse. Ces moteurs ont une réactance de commutation très faible, qui permet une désexcitation importante, ce qui donne la possibilité d'accroître la plage de variations de vitesse. La commande électronique joue sur deux paramètres de réglage : la tension de l'induit par un hacheur à thyristors, la tension de l'inducteur par un hacheur à transistors. Les deux paramètres sont asservis l'un à l'autre par l'intermédiaire de la pédale d'accélérateur. Au démarrage et à faible vitesse, le moteur fonctionne à plein flux et à couple constant en réglant le courant par le hacheur d'induit. Puis ce hacheur est court-circuité, on fait alors varier la vitesse en diminuant le courant d'excitation par le hacheur d'inducteur. La commande comporte un dispositif particulier asservi à la pédale de frein qui permet le freinage par récupération en modifiant la valeur de l'excitation séparée. Cependant, il semble qu'il soit très délicat d'utiliser ce moteur dans la traction du véhicule électrique, car sa capacité thermique faible, interdit les surcharges de longue durée trop importantes.

Les travaux actuels portent principalement sur le dimensionnement du moteur pour gagner sur le poids. La période de développement s'étalerait sur 3 ans.

Le moteur alternatif

Deux directions paraissent intéressantes :

- Le moteur synchrone, de type auto synchrone. Ce moteur est alimenté à partir de la source continue par un onduleur délivrant aux phases du stator des créneaux successifs de tension en synchronisme avec la position du rotor.

On peut le refroidir par brouillard d'huile, ce qui impose de le concevoir étanche, les roulements étant lubrifiés par l'huile de refroidissement. Ce moteur a un

certain nombre d'avantages particuliers, comme la très bonne aptitude à la récupération d'énergie et des grandes possibilités d'asservissement.

- o Le moteur asynchrone, qui peut également être étanche, et à refroidissement par brouillard d'huile. Sa commande pourrait être à glissement contrôlé.

Pour des véhicules qui nécessitent un moteur de puissance supérieure à 50-70 kW, ce sont des solutions fiables et d'un prix compétitif, le moteur auto synchrone semblant être le plus intéressant dans la gamme des 50 kW.

Des travaux encore importants sont à entreprendre, que ce soit dans la technique des onduleurs ou du refroidissement, et dans la réalisation des systèmes complets. Une période de deux ans devrait être suffisante pour arriver à terme.

Il est intéressant de noter que les militaires américains envisagent de créer des camions à moteurs-roues à courant alternatif (moteur asynchrone). Pour l'armée, ce moteur est considéré comme plus solide que le moteur à courant continu, avec lequel il faut piloter quatre ou six hacheurs suivant le nombre de roues. Avec la solution courant alternatif, il y a un onduleur avec autant de convertisseurs que de roues, mais ce système est plus souple à piloter. En France, pour le véhicule utilitaire, quelques constructeurs songent à utiliser cette solution.

Le variateur mécanique avec électronique associé

Après avoir recherché l'élimination de tous les organes de transmission classique pendant de nombreuses années, des chercheurs envisagent désormais de revenir sur cette idée.

En effet, il s'avère :

- que le coût d'une commande électronique est élevé,
- que les organes de transmission classique sont finalement fiables et relativement peu coûteux. Quelques essais ont été réalisés. Cependant, jusqu'à ce jour, les constructeurs voulant utiliser du matériel existant ont buté sur des problèmes de faiblesse des plages de réglage et de rendement.

Certains chercheurs s'orientent maintenant sur des variateurs mécaniques conçus pour une large plage de fonctionnement qui seraient d'ailleurs adaptables aux véhicules hybrides. A la lumière des éléments connus à ce jour, il semble que le variateur mécanique soit applicable dans le domaine des basses et moyennes puissances jusqu'à 40 kW.

Une expérimentation devrait être lancée afin de confirmer rapidement ces hypothèses. Deux prototypes devraient être construits dans deux gammes de puissance : par exemple, un pour une R 5 électrique, l'autre pour une estafette électrique.

CONSIDERATIONS GENERALES

Moteur

a) Le coût du moteur dans le véhicule est relativement beaucoup trop important. On ne peut le réduire que par l'effet de production en série. Il faut donc s'imposer de standardiser quelques puissances de moteur, ainsi que les interfaces. Pour cela, un groupe de travail comprenant l'administration et les constructeurs pourrait être constitué.

b) Du fait du nombre relativement élevé de solutions possibles, les pouvoirs publics peuvent difficilement intervenir sans procéder à un saupoudrage d'aides financières, ce qui ne semble pas souhaitable a priori.

Il paraît donc opportun d'engager une étude d'évaluation des moteurs qui en 6 mois permettrait de dégager les filières les plus intéressantes.

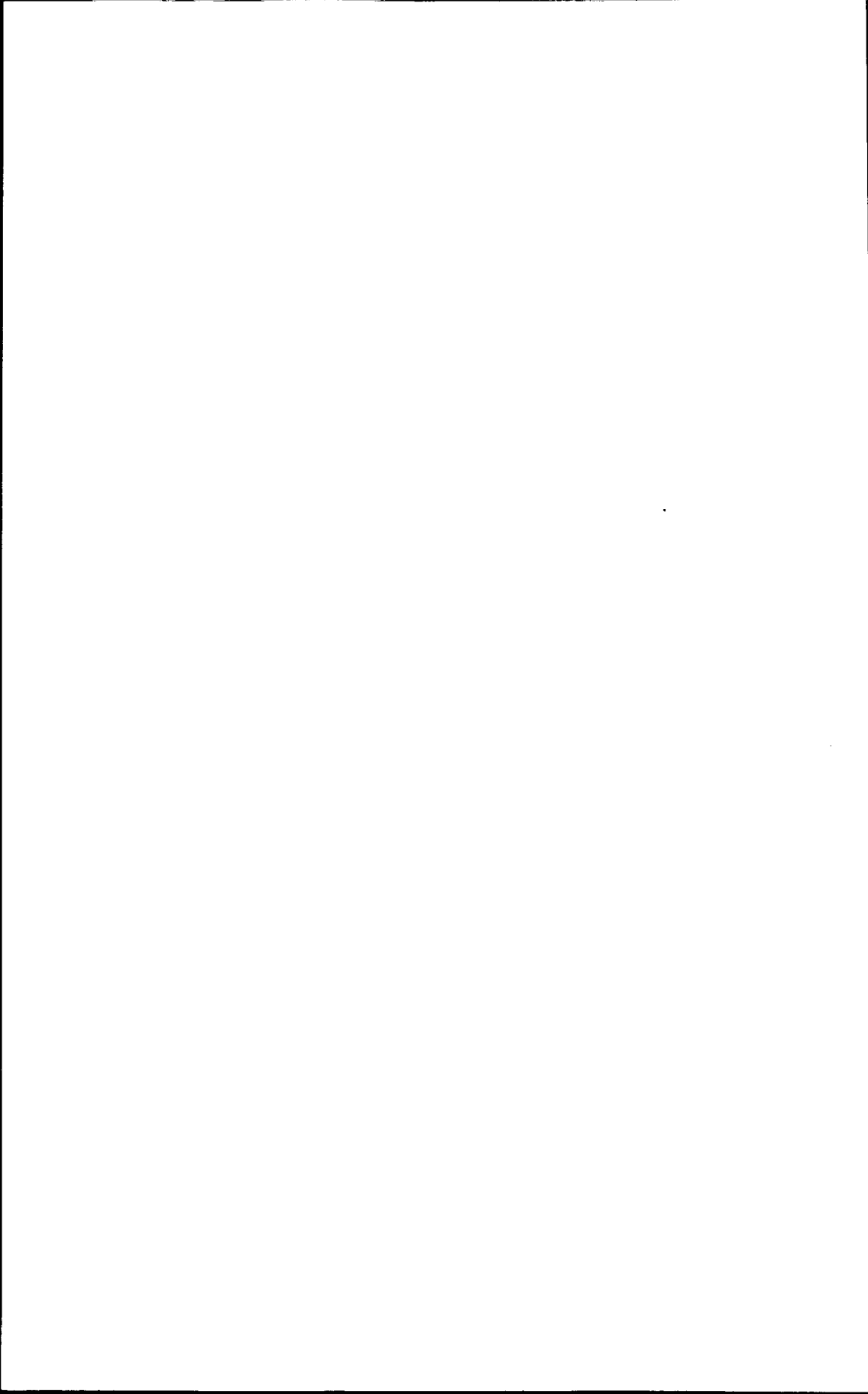
Commande

a) Toutes les solutions envisagées précédemment supposaient que l'énergie était fournie par une source à tension quasi fixe. Or, le générateur zinc-air à circulation peut délivrer une tension modulée grâce à un réglage des débits d'air et de la suspension zinc électrolyte. Les études portant sur cette source d'énergie devront inclure la mise au point du « contrôle-commande » correspondant.

b) Au chapitre sur les auxiliaires, il est recommandé de prévoir pour les véhicules particuliers un chargeur embarqué. Or, une étude peut conduire à mettre en commun certains éléments de charge et certains autres de commande, ce qui entraînerait une réduction non négligeable des coûts.

Pour promouvoir le développement de la chaîne de traction, certaines actions doivent être lancées pour :

- préconiser et favoriser une concertation suivie entre les différents constructeurs, qui doit permettre entre autres de standardiser un certain nombre de types de moteur,
- procéder à une étude d'évaluation des différentes filières — durée 6 mois —, coût : 100 000 F,
- favoriser les programmes de développement, qui pour les deux années à venir peuvent être évalués à 4 millions pour les différentes filières de moteurs, auxquelles pourraient éventuellement s'ajouter un ou deux systèmes nouveaux (moteur homopolaire et moteur self compound à excitation mixte),
- contribuer au développement de l'industrie des transistors de puissance. Pour les deux années à venir, cette action peut être évaluée à 4 millions de francs,
- engager des expérimentations sur des variateurs mécaniques avec électronique associée, qui pour les deux années à venir, peuvent être évalués à 600 000 F.



C. - VEHICULES « HYBRIDES »

DEFINITION

Une définition du véhicule « hybride » peut être trouvée dans le rapport « Automobiles et Nuisances » rédigé sous l'autorité de M. Frybourg en 1971.

« Le véhicule « hybride » utilise deux sources d'énergie dont l'une fournit la « puissance moyenne d'utilisation — thermique ou électrique dans le futur, « notamment pile à combustible — et l'autre les pointes de puissance — accumulateurs. »

On pourrait approfondir cette définition en marquant plus clairement les caractères de spécialisation et de combinaison de ces « sources d'énergie », par exemple comme suit :

Le véhicule est équipé d'un groupe motopropulseur combinant :

- un générateur de puissance, qui peut être irréversible, mais caractérisé par une énergie massique élevée (assurant l'autonomie du véhicule) et par une puissance du même ordre de grandeur que la puissance moyenne d'utilisation,
- un accumulateur d'énergie qui doit être réversible (et capable d'un grand nombre de cycles de charge et décharge), caractérisé par une énergie maximum au moins égale à l'énergie cinétique maximum du véhicule en charge et par une puissance supérieure à celle du générateur,
- et un système de transmission et de commande capable de répartir les flux et reflux d'énergie momentanés entre générateur, accumulateur et véhicule (roues), il s'agit d'un véhicule récupérant les pointes de puissance (ou plus simplement V.R.P. : en anglais Peak Power Recuperative Vehicle ou P.P.R.V.).

Contrairement aux véhicules classiques thermiques ou électriques dont la structure simple est adaptée à un fonctionnement normalement continu, accessoirement transitoire, les véhicules récupérant les pointes de puissance (V.R.P.) sont naturellement adaptés à un fonctionnement à prépondérance de régimes transitoires. Il en découle, parce que le cahier des charges énergétiques des véhicules urbains est typiquement pulsé et parce que leur vitesse est limitée (pour diverses raisons réglementaires de trafics énergétiques) que la première application des V.R.P. sera probablement urbaine.

Remarques :

- Le concept recouvre indifféremment des V.R.P. équipés :
 - o de générateurs thermiques
 - o de générateurs électriques
 - batterie au plomb
 - pile Zinc-Air
 - pile à combustible,
 - o d'accumulateurs oléopneumatiques, cinétiques, voire électriques si leur nombre de cycles est suffisant.
- Le générateur peut être irréversible, à régime peu variable.
- Les puissances sont dans le rapport des décélérations et accélérations, c'est-à-dire :
 - 0,7 g au freinage (réglementaire),
 - 0,2 g à l'accélération (pratique, valeur R 4 au démarrage) les durées étant inversement proportionnelles.
- Il est donc également logique, compte tenu du report de charge dynamique, qu'un V.R.P. soit à traction avant.
- On voit qu'il suffit d'atrophier le générateur ou l'accumulateur pour retrouver les véhicules classiques électriques et thermiques, respectivement.

DONNEES TECHNOLOGIQUES

La chaîne de propulsion d'un V.R.P. est constituée essentiellement par la combinaison d'un générateur, d'un accumulateur et d'une transmission à rapport variable.

a) Générateurs

Les moteurs thermiques actuellement fabriqués en série pour des véhicules classiques sont trop puissants pour des V.R.P., sauf si ces derniers étaient

beaucoup plus lourds que les véhicules recevant ces moteurs à l'origine. A titre d'exemple, la puissance moyenne d'une voiture légère en circulation urbaine dense est de l'ordre de 3 Ch. Même si l'on triple cette puissance, pour tenir compte du rendement de charge/décharge de l'accumulateur et de la nécessité de gravir des rampes à une vitesse raisonnable, il n'existe de moteurs thermiques comparables que dans l'industrie du motocycle, et encore s'agit-il généralement de monocylindres.

A titre comparatif, il faut rappeler que la puissance massique des moteurs thermiques est de l'ordre de 370 W/kg (2 kg par Ch, l'énergie massique de l'essence (poids du réservoir et rendement du moteur compris) est de l'ordre de 2 000 Wh/kg. Il va de soi qu'une réduction de la plage d'utilisation de ces moteurs compatible avec l'utilisation d'une transmission à variation continue de rapport nécessaire à un V.R.P., permettrait de mieux les adapter au point de vue nuisances (pollution, pertes énergétiques et bruit), mais que cette étude ne saurait être antérieure à la réalisation de modèles probatoires, pour laquelle des moteurs de motocycles doivent convenir.

Par ailleurs, si les générateurs électriques actuels ne convenaient pas, la pile zinc/air et les piles à combustible devraient être envisagées en raison du type d'utilisation à puissance peu variable des générateurs de V.R.P.

b) Les accumulateurs

Ils sont destinés à fournir l'énergie de pointe au démarrage et à récupérer l'énergie de freinage pendant la phase d'arrêt, l'ensemble formant un « cycle » élémentaire. Trois caractéristiques sont essentielles pour ce type d'accumulateur :

- puissance massique (puissance de pointe importante),
- résistance à la fatigue sur un grand nombre de cycles (effectuer 10 000 km représente entre 10 000 et 20 000 cycles),
- énergie massique pour stocker l'énergie nécessaire aux transitoires.

Ceci conduit à présumer que l'accumulateur au plomb est difficilement compatible avec ce genre d'utilisation. Cependant, une étude plus complète devrait être entreprise pour confirmer ce point de vue (voir chapitre 2.A.1.). En revanche, l'accumulateur cadmium-nickel pourrait être valable pour équiper des V.R.P. dans la mesure où les prix ne sont pas trop élevés.

Il faut remarquer qu'il est possible, avec les technologies actuelles, d'utiliser des accumulateurs oléopneumatiques de technique aérospatiale (sphères en « roving », fibre de verre polyester, qui ne se fragmentent pas en cas de rupture). Leur énergie massique est de plusieurs dizaines de Wh/kg. Leur durée de vie compatible avec une utilisation automobile, moyennant certaines précautions. Ils permettent un stockage de longue durée sans perte.

Certaines sociétés proposent également d'utiliser des accumulateurs cinétiques (volants d'inertie), dont les plus intéressants sont en matériau stratifié (fibre de silice ou de verre, mais aussi fil métallique). Leur énergie massique se chiffre également en dizaines de Wh/kg, mais les pertes aérodynamiques imposent leur mise sous vide et ils sont inaptes au stockage de longue durée. Leur vertu

principale, pour un V.R.P., est de conserver l'énergie du véhicule sous forme mécanique cinétique.

c) Les transmissions

Différents types de transmissions sont envisageables :

- les transmissions mécaniques à rapport variable qui sont limitées par la puissance qu'elles permettent de transmettre (par exemple les courroies utilisées par certains constructeurs : de l'ordre de 20 CV par courroie en utilisation continue, ce qui détermine le rapport de démultiplication extrême, voisin de 4). On peut toutefois penser, vu le temps réduit d'utilisation de la puissance maximum (au freinage sur un V.R.P.) qu'une puissance de 30 CV et un rapport supérieur à 5 peuvent raisonnablement être envisagés pour un véhicule léger. Ce mode de transmission est particulièrement indiqué en combinaison avec un accumulateur cinétique et un générateur tournant (moteur thermique ou générateur électrochimique alimentant un moteur électrique à puissance peu variable). La régulation sera probablement hydraulique,
- les transmissions électriques ont pour avantage leur souplesse (large plage de régimes, commande fine, technique d'automatismes bien connue) et pour défauts leur poids et leur prix,
- les transmissions hydrauliques, plus exactement hydrovolumiques, ont pour avantages leur puissance massique élevée et une souplesse comparable à celle des transmissions électriques. Mais leur prix reste élevé, hormis dans le cas de fabrication de grande série.

En vertu des impératifs réglementaires, tout véhicule doit être équipé de deux systèmes de freinage indépendants. Le groupe motopropulseur d'un V.R.P. est aussi un système de freinage puissant. Mais, les impératifs de sécurité rendent souhaitable de contrôler par une seule pédale la transmission et le système de freinage mécanique de secours.

CONSIDERATIONS GENERALES

Il semble prouvé que, au stade des modèles probatoires du moins, la technologie actuelle permet l'expérimentation nécessaire à la connaissance du concept V.R.P. Le générateur sera alors dans un premier temps un moteur thermique, puis par la suite une source électrique.

Le concept V.R.P. a été combattu d'abord en raison de sa complexité, l'argument le plus souvent invoqué étant : il coûtera beaucoup plus cher car il nécessite, comme le « diesel électrique », plusieurs transformateurs d'énergie en série.

La raison plus profonde semble plutôt être que le fonctionnement d'un V.R.P. est beaucoup moins aisé à expliquer que celui d'un véhicule classique, beaucoup moins directement compréhensible physiquement, en raison de l'indépendance, au moins apparente, des flux énergétiques relatifs au générateur et à l'accumulateur (on peut dire qu'un véhicule classique a une dimension de moins qu'un V.R.P.). Aussi a-t-on proposé de lier d'une façon ou d'une autre, par divers moyens de régulation imaginables, ces deux flux. Il en découle naturellement diverses modalités de fonctionnement, parfois surprenantes.

Une autre particularité des V.R.P. est leur aptitude limitée à gravir des dénivellations notables. Un véhicule thermique classique est capable de gravir une pente de l'ordre de 10%, en montagne, à une vitesse généralement supérieure à la moitié de sa vitesse de pointe et ceci jusqu'à épuisement de son combustible. Si on surdimensionne l'accumulateur d'un V.R.P., il pourra gravir une rampe de hauteur limitée et récupérer une bonne part d'énergie potentielle à la descente. Si on surdimensionne le générateur, la montée pourra être plus longue, mais la part d'énergie récupérable croîtra. Il y a là un compromis à définir.

PROPOSITIONS D'ACTIONS

Le V.R.P. est probablement la technique qui, en l'état actuel de nos connaissances, peut être le plus rapidement commercialisée pour autant que les études d'optimisation indiquent une certaine rentabilité économique. En outre, ce type de véhicule peut être une étape intéressante sur la voie des véhicules moins polluants et moins nuisants. Enfin, leur développement et leur diffusion conduirait à des économies d'énergie.

Or, les dépenses engagées en France pour promouvoir le V.R.P. et dont le montant est de l'ordre de 0,5 M.F. semblent insuffisantes. Une action de plus grande envergure pourrait être engagée selon les deux phases suivantes :

1^{re} phase : acquisition des connaissances de base, poussée jusqu'à la réalisation de modèles probatoires. Cette phase devrait être réalisée avec une large concertation entre elles des diverses parties intéressées et avec l'aide des pouvoirs publics. Elle pourrait couvrir :

- o un recensement des travaux, tenu à jour,
- o une classification des éléments et des types de V.R.P.,
- o une étude comparative de ces éléments,
- o une théorie générale des V.R.P.,
- o la réalisation de modèles probatoires aussi démonstratifs que possible, sous plusieurs aspects :
 - prix minimal,
 - économie maximale,
 - créneaux de poids, de vitesse, d'autonomie, d'accélération.

Ce plan pourrait également avoir des retombées sur d'autres secteurs que l'automobile : ascenseurs, engins de levage, motocycle et cycle...

2° phase : optimisation technologique, étude de produits, réalisation de prototypes industriels et construction aux fins de commercialisation.

Cette phase est du ressort des industriels : elle sera caractérisée par le dépôt de brevets, et elle engagera une politique industrielle. Même si les pouvoirs publics y jouent divers rôles (réglementations, aides à l'investissement, incitations à des rapprochements de moyens et/ou à une coordination des gammes de produits, politique des prix et matières premières), le rôle de l'industrie y est prépondérant.

Il est donc essentiel que les instances concernées par les recherches se rapprochent pour préciser les objectifs de la première phase, les moyens à mettre en œuvre et le type de procédure adaptée. Il est important de rappeler ici que pour les constructeurs des véhicules, la réalisation d'un groupe motopropulseur appelle la définition de compromis entre des impératifs divers qui ne sauraient être traités séparément (économie d'énergie, pollution et bruit, prix de revient). Aussi la multiplication des procédures paraît, a priori, néfaste et dispendieuse.

Un tel programme peut être évalué à 2 M.F. par an pendant trois ans.

La mise au point de véhicules « hybrides » peut être considérée comme une étape intéressante. C'est pourquoi, il est souhaitable de promouvoir des études probatoires :

- o La première phase, qui durerait trois ans et dont le coût peut être estimé à six millions de francs au total, permettant d'acquérir les connaissances de base dans ce domaine.
- o La seconde phase correspondant à l'industrialisation pourrait alors intervenir et serait à la charge des constructeurs.

D. - STRUCTURE ET ARCHITECTURE DES VEHICULES ELECTRIQUES

L'idée a souvent été émise que la spécificité du groupe motopropulseur devait amener à repenser le véhicule entier. Pourtant, la plupart des prototypes construits à ce jour empruntent beaucoup aux véhicules à essence, surtout en ce qui concerne la conception de la carrosserie, du châssis.

Cette situation peut s'expliquer comme suit :

a) Les raisons économiques

Créer de toutes pièces un nouveau véhicule suppose un marché. Or actuellement, celui du véhicule électrique est réduit. Si les études de marché, qui pourraient être entreprises, conduisent à montrer que le parcours moyen de chaque véhicule est en majeure partie urbain, c'est-à-dire ouvert à la traction électrique, il importe de souligner que les véhicules thermiques classiques peuvent aussi être utilisés sur route, ce qui constitue un facteur déterminant pour le choix d'un véhicule.

C'est pourquoi les industriels considèrent qu'un investissement en vue de lancer une fabrication importante de véhicules électriques est une opération qui présente beaucoup trop de risques, et que la façon logique de minimiser ces risques est d'adapter les véhicules de série existants.

b) Les raisons techniques

Quelles que soient les idées théoriques des spécialistes sur les simplifications que peut amener le choix de la traction électrique, il s'avère que l'ensemble moteur, variateur électronique et groupe de batteries, impose des caractéristiques d'encombrement et de poids sensiblement supérieures à celles existant dans le système propulsif thermique. Dans ces conditions, les structures classi-

ques des véhicules thermiques ne semblent pas inadaptées pour recevoir une traction électrique.

Cependant quelques remarques peuvent être faites :

- Si pendant plusieurs années encore, la structure du véhicule électrique sera issue des chaînes de production du véhicule thermique, certains créneaux échappent déjà à cette règle. Il s'agit en particulier du véhicule utilitaire léger (par exemple le « Cob » produit par la société « la Voiture Electronique ») et de l'autobus ou du minibus.
- Des performances légèrement améliorées peuvent être obtenues, en apportant quelque modification au profilage de la carrosserie et en supprimant les prises d'aération, ce qui revient à améliorer le coefficient C_x .
- Certains constructeurs pensent pouvoir créer des pneumatiques spécifiques du véhicule électrique qui permettraient une augmentation des performances. Cette hypothèse reste à confirmer.
- A terme, le volume des générateurs électrochimiques sinon leur poids, conduira probablement, en utilisant des solutions évoluées mais classiques, à donner une architecture spéciale aux véhicules électriques (par insertion des générateurs dans le plancher, notamment).

Les pouvoirs publics pourraient être à l'origine de concours d'idée en vue de réaliser un catalogue de solutions originales combinant les impératifs de la traction électrique et les astreints de la circulation urbaine de l'avenir.

E. - LES AUXILIAIRES

Les grands laboratoires, qui engagent volontiers des études fondamentales, hésitent parfois à se pencher sur les problèmes mineurs que représentent les auxiliaires. Il est bien évident pourtant, que la défaillance d'un relais ou d'une ventilation peut conduire à un arrêt obligatoire du véhicule.

Les responsables des essais, au cours des expérimentations engagées par Electricité de France (E.D.F.) avec la participation financière des pouvoirs publics, ont constaté que les « pannes » les plus fréquentes étaient dues à des défaillances d'auxiliaires.

Il est évident, que l'amélioration des performances permises par les sources et les chaînes de traction est une étape fondamentale pour capter l'intérêt du public ; cependant ce public pourrait se détourner vite de cette technique s'il doit supporter un trop grand nombre « d'incidents mineurs » qui, psychologiquement parlant, sont au cours de la phase d'exploitation, perçus plus fortement que des performances moyennes. Tout effort pour améliorer les principaux composants du véhicule électrique, doit s'accompagner d'études très poussées sur les auxiliaires.

En règle générale, ces problèmes de mise au point d'auxiliaires sont du ressort des industriels. Cependant, les pouvoirs publics ont un rôle à jouer dans la définition des orientations.

LE CHARGEUR

Ce paragraphe n'envisage que le problème des recharges d'accumulateurs classiques. En effet, la charge des piles nécessite un dispositif purement mécanique en général fort connu (échange de bouteille, ou déversement d'un liquide...).

La conception d'un chargeur et les performances espérées d'un accumulateur sont étroitement liées. De la conception du chargeur dépend, en effet, non seulement la sécurité de l'accumulateur (un mauvais fonctionnement du chargeur peut conduire à la destruction des éléments), mais aussi sa durée de vie. En outre, un des moyens dont disposent les techniciens, pour compenser le manque d'autonomie des véhicules électriques actuels, est la recharge rapide qui ne peut être obtenue que par la mise au point de chargeurs particulièrement complexes.

L'étude, proposée au chapitre 2.A, destinée à acquérir une connaissance plus précise des différents paramètres influant sur la durée de vie de l'accumulateur, permettra sans doute de parfaire le cahier des charges d'un chargeur optimum et de modifier parfois les orientations données jusqu'à présent aux travaux sur ce sujet.

Un autre élément important dans la conception du chargeur est la définition de sa localisation, embarquée à bord du véhicule, ou en attente au lieu de recharge.

La réponse dépend, bien entendu, du mode d'utilisation :

- Lorsque le véhicule revient régulièrement à un endroit déterminé pour effectuer toutes ses recharges, y compris ce que certains appellent les « biberonnages », c'est-à-dire les recharges partielles, aux heures de repas par exemple, le chargeur peut être débarqué.
- Lorsque le véhicule doit pouvoir se recharger en des lieux géographiquement très divers, deux possibilités sont envisageables :
 - o soit procéder à un équipement en postes de recharge de parkings et différentes zones de stationnement. Cependant, comme cela sera signalé plus loin, un coût d'investissement prohibitif dû à un sur-équipement devant tenir compte d'un coefficient de foisonnement très faible, et la nécessité impérative de standardiser la caractéristique de charge indépendamment de celle de l'accumulateur interdisent pratiquement d'adopter cette solution,
 - o soit embarquer le chargeur, ce qui semble la seule solution vraiment réaliste en l'état actuel des choses et qui ne nécessite qu'une normalisation, déjà effectuée, des prises de courant. Certains industriels proposent déjà leurs véhicules avec chargeur embarqué (électrocycle, « Cob » Citadine). Cette solution impose, néanmoins, d'accepter un compromis entre les qualités techniques du chargeur et son poids dont un accroissement excessif peut réduire les performances du véhicule.

Cet exposé préalable détermine trois orientations fondamentales aux efforts à entreprendre :

- concevoir un chargeur assurant une bonne durée de vie de l'accumulateur,
- réduire, autant que faire se peut, la durée de recharge,
- alléger le chargeur.

A ces critères correspondent les axes de recherches suivants :

a) Amélioration des chargeurs « lents »

(c'est-à-dire permettant une recharge en 7 à 8 heures)

Les expérimentations entreprises par Electricité de France dans le cadre de l'action décidée par le Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement de janvier 1972 ont conduit d'ores et déjà à de nombreux progrès dans la conception de ces chargeurs.

Les dernières unités construites par Electricité de France semblent même trop paupinées. Dans l'attente d'une connaissance plus exhaustive des caractéristiques de batteries, il semble préférable de conserver les courbes de charge ainsi obtenues. Par contre, certains compléments touchant à la sécurité peuvent être apportés, et notamment ceux qui pourraient contrôler la température des batteries, ce qui limiterait les risques de destruction ou de réduction de durée de vie par échauffement.

b) Les chargeurs rapides

(c'est-à-dire permettant une recharge en une heure au moins)

A la demande d'Electricité de France, le Laboratoire Central des industries électriques a entrepris une étude complète de la procédure de charge de l'appareil correspondant, et de l'influence de ce type de charge sur la vie de la batterie.

Un travail identique est à mener en ce qui concerne les recharges rapides (ou très rapides) partielles.

c) Les chargeurs sans transformateur

Le transformateur est l'élément le plus lourd de l'ensemble de charge. Or, ce transformateur a deux rôles :

- adapter la tension mais d'autres systèmes (hacheurs, par exemple) permettent d'obtenir le même résultat,

— isoler le circuit électrique — et de ce fait, l'ensemble du véhicule — du réseau conformément aux normes générales en vigueur en ce qui concerne l'utilisation de l'électricité dans des locaux humides et à l'extérieur.

L'intérêt que présenterait une solution sans transformateur doit conduire à engager une étude sur les problèmes de sécurité qui peuvent se poser dans le cas spécifique du véhicule électrique. Si ce travail conclut que la norme générale est trop sévère et qu'elle pénalise inutilement la traction électrique, il sera nécessaire d'envisager soit un assouplissement de cette norme, soit l'extension du champ d'application de normes spécifiques plus souples, comme celles sur les caravanes (C 15 122 et C 15 126).

d) Les chargeurs avec transformateur H.F.

Une autre possibilité est de travailler avec des transformateurs H.F., ce qui réduit considérablement le poids à embarquer, surtout dans le cas de charge rapide. Une incitation des pouvoirs publics conduirait certains constructeurs à engager des efforts dans ce domaine.

En raison de l'influence de la conception des chargeurs sur le service rendu par le véhicule électrique, les actions suivantes sont envisageables :

- accélérer les études visant à l'amélioration des chargeurs actuels dans les domaines suivants :
 - o sécurité des chargeurs lents,
 - o mise au point des chargeurs rapides,
- engager des travaux sur de nouveaux types de chargeurs :
 - o chargeurs sans transformateur,
 - o chargeurs avec transformateurs haute fréquence,
- étudier et résoudre les problèmes de sécurité liés à l'utilisation de chargeurs sans transformateurs sur des véhicules électriques.

L'ensemble de ces actions nécessite un effort financier de l'ordre de 2 millions de francs en deux ans.

LES INDICATEURS DE POTENTIEL ENERGETIQUE ENCORE DISPONIBLE

Sur un véhicule à moteur thermique, il suffit de mesurer la quantité d'essence ou de fuel dans le réservoir pour connaître la réserve d'autonomie dont on dispose.

Le problème est techniquement plus complexe dans le cas du véhicule électrique. Il est pourtant essentiel de fournir au conducteur une indication la plus précise possible. En effet, une mauvaise précision de l'appareil conduit, par réflexe de prudence, à un sous-emploi du potentiel du véhicule. Ce comportement, parfaitement compréhensible, a été mis en relief lors des expérimentations menées par Electricité de France au cours desquelles les distances parcourues par les véhicules ont été très inférieures aux performances de ceux-ci. Or, le sous-emploi du véhicule électrique réduit d'autant ses performances qui sont déjà très limitées. L'amélioration de la fiabilité et de la fidélité des indicateurs de potentiel énergétique encore disponible apparaît donc comme primordiale.

a) Indicateurs de charge des batteries

Le stockage par batteries étant la seule technique utilisable actuellement, des résultats ont déjà été obtenus dans la réalisation des indicateurs correspondants. Cependant, le problème est complexe. En effet, il ne s'agit plus de mesurer un niveau de liquide, mais une quantité d'énergie emmagasinée. De plus, la conception de l'indicateur doit tenir compte de certains paramètres essentiels tels que la durée de décharge ou de charge, la température, l'âge de la batterie. Enfin, les dispositifs d'échange rapide de batterie pouvant éventuellement suppléer au manque d'autonomie, l'indicateur de charge doit être installé sur la batterie elle-même et un raccordement doit permettre la retransmission de la mesure sur le tableau de bord.

Deux types d'indicateurs sont actuellement proposés :

- l'**ampère-heuremètre** : l'appareil comptabilise les quantités d'électricité échangées par la batterie avec l'extérieur (charge ou décharge). Un tel appareil ne tient compte ni de l'auto-décharge (courants de fuite...), ni du vieillissement de la batterie. Par contre, le rendement de la batterie peut être pris en compte,
- l'**indicateur voltométrique** : l'appareil lit la tension de la batterie à une intensité donnée, et le plus souvent pour une intensité débitée nulle (on peut aussi envisager de mesurer la tension pour l'intensité nominale de décharge de la batterie ou pour tout autre intensité choisie arbitrairement), ou, ce qui est plus complexe, quelle que soit l'intensité. Ce type d'appareil tient compte de l'auto-décharge et du vieillissement, mais la mesure ne peut pas être

effectuée en continu et le conducteur doit mettre son véhicule dans la configuration retenue (à l'arrêt, par exemple) pour connaître l'état de charge de sa batterie. Il faut aussi remarquer qu'une erreur d'indication subsiste tout au début de la décharge, mais ceci n'est pas un phénomène très gênant.

D'autres systèmes mesurant directement la résistance interne de la batterie sont envisageables et pourraient résoudre le problème, mais ces systèmes ne sont pas encore commercialisés.

De nombreux constructeurs proposent actuellement des matériels dont les caractéristiques de fiabilité, de fidélité, de coût, de simplicité d'utilisation sont extrêmement variables. Devant une telle profusion de matériels, il n'apparaît pas nécessaire que les pouvoirs publics interviennent. La loi du marché devrait suffire à provoquer l'amélioration des matériels. Cependant, les avantages et les inconvénients des appareils étant différents selon le type retenu, il est utile de définir un cadre de comparaison qui permette de porter un jugement sur eux.

b) Indicateurs dans le cas des nouvelles sources d'énergie

Le problème se pose différemment dans le cas du générateur zinc-air à circulation où la quantité de liquide qui circule reste constante, mais où la composition chimique du liquide varie en fonction de l'autonomie restante.

Le cas des accumulateurs sodium-soufre est encore différent de même que le cas de la pile à hydrogène ou une mesure de poids ou de pression, rendue difficile par l'installation sur un véhicule pourrait suffire...

Il apparaît bien que les études d'une source et de son indicateur de potentiel énergétique disponible sont intimement liées et que l'étude de l'indicateur entreprise trop tard risque de retarder l'industrialisation de la source.

L'amélioration progressive des indicateurs de charge des accumulateurs devrait être la conséquence de la concurrence très vive qui existe dans ce secteur.

Par contre, l'intervention des pouvoirs publics est envisageable pour :

- créer un système de comparaison des indicateurs de potentiel énergétique encore disponible,
- imposer aux équipes de recherche l'étude parallèle d'une source et de l'indicateur correspondant.

LE CHAUFFAGE

Le conducteur et l'utilisateur des véhicules de 1974 sont habitués à disposer dans l'habitacle d'un système de chauffage, et il est désormais exclu de proposer au public une voiture particulière, un transport en commun, ou même un véhicule utilitaire sans que cette source de confort soit prévue.

Or, le chauffage d'un véhicule occasionne une dépense très importante d'énergie. Si le fonctionnement des piles à combustible dégage une quantité de chaleur suffisante pour assurer la fonction, il n'en est pas de même dans le cas de véhicules équipés d'accumulateurs.

C'est pour ces raisons qu'Electricité de France, dans le cadre de l'expérimentation menée avec les pouvoirs publics, a mis au point un système à très faible consommation énergétique qui utilise le principe du chauffage par rayonnement et contact.

Des résistances chauffantes sont intégrées aux pare-brises, aux sièges, aux parois au volant... et fournissent une qualité de confort satisfaisante et ceci pour une dépense d'énergie minime mais néanmoins pénalisante pour l'autonomie du véhicule. D'autres possibilités existent, par exemple :

- un chauffage thermique par combustion de fuel que l'on peut concevoir et régler pour que le bruit et la pollution occasionnés par son fonctionnement soient les plus réduits possible,
- un chauffage d'éléments réfractaires pendant la recharge (éléments branchés sur le réseau) lesquels restituent ensuite, pendant le fonctionnement du véhicule, la chaleur ainsi stockée,
- un chauffage par catalyse qui semble au point.

Les constructeurs de véhicules électriques ont déjà beaucoup étudié ce problème. Il est probable qu'aucune action des pouvoirs publics ne soit à envisager dans ce cas, sauf en ce qui concerne le suivi des études.

L'ALIMENTATION DES AUXILIAIRES

Sur véhicule électrique, une source 12 V est nécessaire pour l'alimentation des servitudes (éclairage, essuie-glaces, relayage). Les accessoires type automobile ne sont en effet réellement disponibles que sous cette tension.

Un abaissement de tension est donc nécessaire pour obtenir cette source auxiliaire à partir de la batterie de tension généralement plus élevée.

L'essentiel est de disposer d'un système :

- bon marché,
- au rendement maximum,
- de bonne fiabilité,
- qui n'affecte pas les performances du véhicule ou de ses sous-ensembles.

L'ensemble du problème a été finement étudié par Electricité de France dans le cadre de l'expérimentation menée avec les pouvoirs publics. Il est donc important de reproduire les conclusions auxquelles cet organisme a abouti.

Les techniques suivantes sont utilisables :

- batterie auxiliaire rechargée par un alternateur entraîné par le moteur de traction. C'est la solution adoptée sur les voitures à propulsion thermique. C'est une solution économique mais qui assure un mauvais rendement et pénalise les performances du véhicule si certaines précautions ne sont pas prises au moment de la conception,
- dispositif précédent auquel est adjoind un chargeur de batterie auxiliaire,
- alimentation des auxiliaires par des prises intermédiaires sur l'accumulateur principal. Cette solution peut réduire la durée de vie de la batterie,
- convertisseur continu-continu à transformateur. C'est une solution coûteuse,
- convertisseur hacheur. C'est une des techniques les plus couramment envisagées,
- convertisseur tournant. Cette solution peut aussi être retenue pour l'avenir,
- batterie auxiliaire rechargée par diode à partir de l'accumulateur principal. Ce principe risque de conduire à un vieillissement prématuré de certains éléments.

Cette liste n'est bien sûr pas exhaustive, mais prouve la multiplicité des solutions à la disposition des constructeurs. Le problème n'étant pas complexe, les solutions optimales apparaîtront d'elles-mêmes dans quelque temps, dès que des premières séries de véhicules seront produites.

LE RELAYAGE

La technologie du relais est simple et robuste. Dans les gammes utilisées actuellement dans l'industrie automobile, le relais est parfaitement adapté, suffisamment fiable et peu coûteux. Cependant, la voiture électrique nécessite des types de relais nouveaux pour le secteur de l'automobile. Le choix doit donc se faire parmi des relais industriels disponibles produits en séries moindres et assez mal adaptés à la voiture (caractéristiques notamment surabondantes, par exemple, mais, curieusement, fiabilité relativement mauvaise en raison sans doute des trépidations du véhicule).

Le phénomène de série résoudra rapidement ces quelques problèmes.

L'EXTRACTION DES GAZ DE LA BATTERIE DE TRACTION

Une batterie de traction au plomb, lors de sa recharge, nécessite une ventilation pour évacuer les calories, l'hydrogène et l'oxygène qui risquent de se former, ainsi que les vapeurs d'acide sulfurique. Le ventilateur destiné à cet usage et installé sur les véhicules électriques R4 réalisés a conduit à de nombreux incidents lors des expérimentations 1973.

Electricité de France a ainsi été conduit à faire une série d'expériences pour sélectionner un dispositif de ventilation plus satisfaisant.

Le freinage par récupération d'énergie devant se généraliser sur les véhicules électriques pour des raisons d'agrément de conduite et d'économie d'énergie, la ventilation de la batterie de traction sera alors permanente et aura l'avantage d'évacuer les calories lors de la décharge.

LE DEPARASITAGE

La commande de la voiture électrique est, dans le cas des modèles les plus évolués, munie d'un hacheur, système qui de part son principe de découpage du courant est un émetteur de parasites radioélectriques.

Le problème n'est pas inconnu, puisque la Société Nationale des Chemins de Fer Français l'a résolu pour ses éléments de traction.

Cependant, il ne semble pas que le phénomène d'émission des parasites aient été systématiquement étudié dans le secteur de l'automobile. Les constructeurs devront s'assurer que leurs véhicules n'apportent aucune gêne ni à leurs passagers, ni aux riverains. Il existe dans les services techniques chargés de la diffusion de la télévision nationale, une commission chargée de l'anti-parasitage.

La procédure d'essai et d'agrément des véhicules électriques devra comprendre la mesure des parasites, le code étant établi par la commission ad hoc des services nationaux d'information.

