

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 6

Artikel: Bilan des expérimentations de véhicules électriques à EDF portant sur 1 million de km

Autor: Moneuse, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905362>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bilan des expérimentations de véhicules électriques à EDF portant sur 1 million de km

Par M. Moneuse

Die Versuche mit Elektromobilen bei den EDF haben für Autobusse 1972 und für leichte Personenwagen 1973 begonnen, in Verbindung mit französischen Staatsstellen.

Nachstehend werden die verfügbaren Ergebnisse aufgezeigt über die Lebensdauer verschiedener Generationen von Bleibatterien für leichte Personenwagen wie auch die Betriebsbilanz der elektrischen Autobusse in Tours und Auxerre, wo die Versuche stattgefunden haben.

Les expérimentations de véhicules électriques à EDF ont débuté en 1972 pour les autobus et en 1973 pour les véhicules légers, ceci en liaison avec les Pouvoirs Publics français.

Ci-après sont présentés les résultats disponibles concernant la durée de vie de plusieurs générations de batteries au plomb pour véhicules légers ainsi que le bilan d'exploitation d'autobus électriques à Tours et à Auxerre où les expériences furent originales.

1. Expérimentation de véhicules légers

1.1 Description des véhicules en expérimentation

Une série de 90 véhicules électriques Renault-EDF R4 a été réalisée par EDF en 1972/73.

A partir de cette première expérience, EDF, en collaboration avec le constructeur français Renault, a réalisé une présérie de 14 véhicules R5 dont la mise en service a débuté en 1974. Cette présérie est malheureusement restée sans suite.

Parallèlement, dans le cadre des actions menées en liaison avec les Pouvoirs Publics, EDF a fait l'acquisition en 1974 de 8 véhicules CGE Grégoire (tableau I).

Les véhicules en expérimentation sont tous considérés comme des plates-formes d'essais comportant quelques variantes qui sont les paramètres de l'expérimentation.

Les variantes principales des véhicules portent sur :

- la tension de fonctionnement des véhicules: 48 ou 96 V,
- le moteur de traction à courant continu:
- à excitation séparée (sur CGE),
- à excitation série (sur R4 et R5), 2 marques de moteurs sont essayées.
- la batterie de traction:
- 4 générations de batteries ont été expérimentées (voir paragraphe 2),
- le variateur de vitesse,
- 3 marques essayées.

Les véhicules d'essais servent en outre aux essais de fiabilité d'alimentations auxiliaires 12 V et d'indicateurs de charge.

Il faut retenir de ces véhicules que, pour la plupart réalisés

en 1972 (R4) ils sont de conception ancienne et ne sont que des adaptations de véhicules thermiques. Seule la CGE fut conçue et optimisée pour la traction électrique.

1.2 Historique des expérimentations d'EDF

En 1972, les véhicules R4 ont été construits par EDF pour en démontrer la « faisabilité » et en vue d'expérimentations.

Un nombre relativement important (10 minimum) était nécessaire pour donner aux résultats une valeur statistique.

Les premières expérimentations (1973/74) ont permis de répondre à bon nombre d'interrogations et ont fait apparaître le très important problème de la durée de vie des batteries (toutes au plomb dans les expérimentations EDF). Aussi dès 1975, l'expérimentation, concentrée aux Renardières, à 70 km au sud de Paris, se poursuivait avec pour but essentiel l'étude de la durée de vie, des batteries, les véhicules étant affectés à des services ou à des agents du Centre de recherches.

Le calendrier des expérimentations est donné ci-après. On notera que dès juin 1973, 58 R4 étaient en expérimentation (+ 20 R4 de démonstration dans les Foires-expositions de province):

- 28 véhicules R4 à Paris et sa banlieue d'avril à décembre 1973,
- 20 véhicules R4 à Evry et Melun-Senart, villes nouvelles de juin 1973 à février 1974,
- 10 véhicules R4 à Dijon de mars à septembre 1974,
- 10 véhicules R4 à Lyon de mai à novembre 1974,

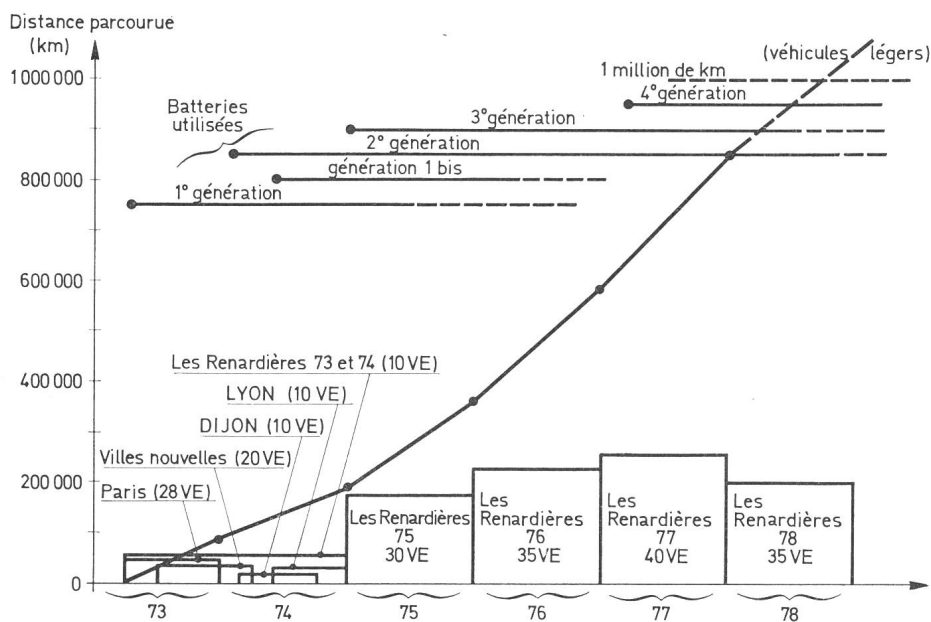


Fig. 1
Kilométrages des expérimentations EDF

- 5 véhicules CGE à Melun de juillet à octobre 1974,
- 10 véhicules R4 aux Renardières en 1973 et 1974,
- 30, 35 puis 40 véhicules R4, R5 et CGE aux Renardières en 1975, 1976, 1977, 1978 ...

Depuis 1975, 30 seulement des 90 R4 sont encore en service.

1.3 Les kilométrages

Au début de l'année 1978 850000 km avaient été parcourus par tous les véhicules légers depuis le début des expérimentations. La fig. 1 indique les kilométrages de chaque expérimentation et le total au cours du temps. Les générations de batteries expérimentées sont notées sur cette figure.

En 1977, 258000 km ont été effectués par 50 véhicules au total. L'essentiel du kilométrage est effectué par 27 R4, nombreuses et roulant plus en moyenne que les autres véhicules. La fig. 2 donne la répartition des kilométrages de 39 véhicules ayant roulé régulièrement en 1977. De nombreux véhicules ont effectué 4000 à 5000 km. 6 véhicules - des R4 - ont fait plus de 9000 km dans l'année 1977.

1.4 Les consommations d'énergie

Les consommations d'énergie sont reportées dans le tableau II.

On a constaté que la consommation dépend du type de véhicule.

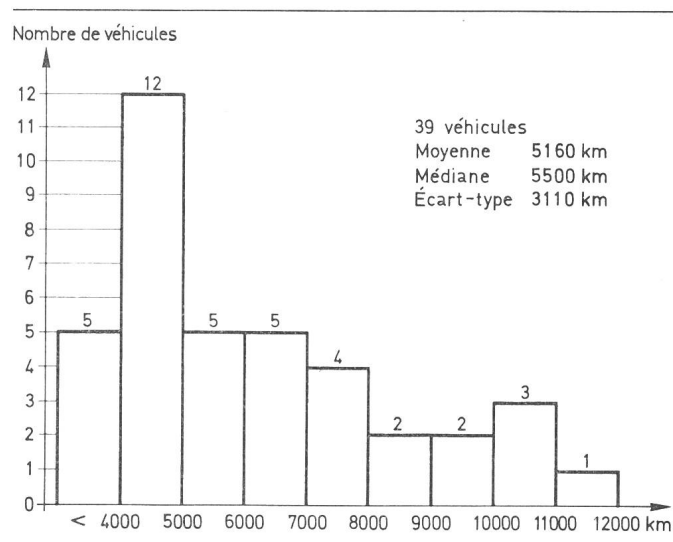


Fig. 2 Répartition des kilométrages des 39 R4, R5 et CGE en 1977

En 1977, la moyenne des consommations s'établit à 0,29 kWh/km pour 35 véhicules de l'expérimentation Les Renardières. Les consommations par type de véhicules sont les suivantes :

R4: 0,29 kWh/km, R5: 0,35 kWh/km, CGE: 0,25 kWh/km

Caractéristiques et performances des véhicules légers en expérimentation

Tableau I

Véhicule		Référence Constructeur	R4 Renault-EDF	R5 Renault	CGE Grégoire CGE
Description	Poids à vide (kg) Passagers + C.U (kg) P - T - M - A (kg)		1010 2+40 1200	1010 2+100 1250	840 2+40 1020
	Accumulateur	Type Echange rapide Tension (V) Capacité en 5 h (Ah)	Pb non 48 ou 96 270 ou 135 (ou 180)	Pb non 48 280	Pb non 96 135
		Poids (kg) Energie massique (Wh/kg) au régime en 5 h	300 (ou 400) 40	300 40	300 40
	Moteur	Nombre Type Tension (V) Puissance (kW)	1 Continu série 45 ou 90 5,5	1 Continu série 44 5,5	1 Continu série 90 5,5
		Commande	thyristors 275 ou 550 non	thyristors 550 non	thyristors 500 oui
	Chargeur		type WUa non embarqué	type IU1a partiellement embarqué	type WUa non embarqué
	Alimentation des auxiliaires		par convertisseur 48 V ou 96 V/12 V	par convertisseur 48 V/12 V	Alternateur + Batterie 12 V
	Chauffage	Type Puissance (W)	Surfaces chauffantes 750	Surfaces chauffantes 800	non
	Performances				
	Vitesse de pointe (km/h) Vitesse (km/h) sur pente (%) Pente maximale (%)		60 35 à 40/8 15	60 (70 en survitesse) 35/10 15	60 15
	Accélération		100 m en 11 s	100 m en 11 s	100 m en 12 s
	Autonomie (km)	Sur route en ville	95 55	95 55	100 60

1.5 Vitesses moyennes, distances entre deux arrêts (tableau II)

De 19 km/h dans la première expérimentation de Paris, la vitesse moyenne est passée à 35 km/h dans l'expérimentation «Les Renardières» en 1977. Deux véhicules circulant sur le Centre de recherches presque exclusivement, ont des vitesses moyennes (19 et 20 km/h) rappelant celles de Paris, tandis que deux autres véhicules réalisant de grands parcours routiers dépassent les 40 km/h.

Dans la première expérimentation, il avait été calculé la distance moyenne entre deux arrêts. Pour l'expérimentation «Les Renardières» on calcule la distance moyenne parcourue entre deux *arrêts complets* du véhicule (quand le conducteur quitte son véhicule et actionne la clé de contact). Cette distance s'élève à 3600 m en 1977 pour l'ensemble des véhicules (minimum 800 m, maximum 9000 m).

1.6 Les incidents, la fiabilité des véhicules

Un bilan complet des incidents a été dressé pour l'année 1977. Il porte sur 44 véhicules en expérimentation.

En voici les résultats essentiels :

- 91 incidents en 1977 sur 44 véhicules,
- 2 incidents en moyenne par véhicule en un an,
- 7,6 incidents par mois,

- 1 incident en moyenne pour 2800 km,
- 11 véhicules – soit 25 % – n'ont eu aucun incident dans l'année,
- 9 véhicules – soit 20 % – n'ont eu qu'un incident dans l'année.

28 % des incidents sont dûs aux chargeurs. On rencontre presque exclusivement des échauffements ou des détériorations mécaniques des prises de raccordement et des pannes de minuterie (fig. 3).

18 % des pannes proviennent des relayages bas-niveau et des contacts début ou fin de course du véhicule.

Les remplacements d'éléments de batterie de traction, les changements de contacts de puissance (cas des moteurs à excitation série) et les incidents sur les circuits 12 V sont numériquement assez importants.

Quatre pannes de variateurs électroniques ont été constatées au niveau des circuits de commande (bas-niveau). Aucun incident sur les circuits de puissance. Les trois incidents sur les transmissions mécaniques sont là pour nous rappeler que les réducteurs et transmissions à cardan pour véhicules électriques posent problème et ne se choisissent pas directement sur un catalogue.

Les durées de vie des balais de moteurs de traction ont été étudiées. Les plus grandes durées sont trouvées pour les moteurs à excitation séparée des CGE. La moyenne de 9300 km

Expérimentation de véhicules légers

Tableau II

Villes	Utilisateurs	Nb et type de véhicules électriques	Durée Expérimentation	Année	Quelques résultats				
					Consommation spécifique	Distance parcourue	km entre 2 recharges	Taux de décharge moyen des batteries	Autres résultats
Paris	EDF	9 R 4	6 mois ½	73	0,75 kWh/km	45 500 km (265 km par VE et par mois)	16	30 %	1 arrêt tous les 260 m 14 km/h
Asnières (Banlieue Nord)	EDF	10 R 4	6 mois ½	73	0,50 kWh/km		25	45 %	1 arrêt tous les 375 m 20 km/h
Versailles (Grande banlieue)	EDF	8 R 4	6 mois ½	73	0,45 kWh/km		28	45 %	1 arrêt tous les 520 m 23 km/h
Villes nouvelles (Melun Evry)	Services publics et Sociétés privées	20 R 4	6 mois	73	0,49 kWh/km	34 000 km (290 km par VE et par mois)	23	43 %	
Dijon	EDF et Services publics	10 R 4	6 mois ½	74	0,50 kWh/km	18 000 km (280 km par VE et par mois)	29	50 %	
Lyon	EDF et Services publics	10 R 4	6 mois ½	74	0,44 kWh/km	32 000 km (490 km par VE et par mois)	30	50 %	
Melun	EDF	5 CGE	4 mois	74	0,47 kWh/km	3200 km (160 km par VE et par mois)	–	–	
Les Renardières	EDF	27 R 4 6 R 5 6 CGE en 1977	plusieurs années	73/74 75/76 77/78	0,29 kWh/km en 1977	718 000 km au 1.1.1978 (515 km par VE et par mois)	30	50 %	1 arrêt complet tous les 3600 m 35 km/h

	Date	Versions	Caractéristiques/Particularités	Observations
Première génération	1973	48 V 300 kg 96 V 300 kg	44 Wh/kg 5 h	
Première génération BIS	1974	48 V 300 kg 96 V 300 kg	40 Wh/kg 5 h Pochettes tissées	Version 48 V seule expérimentée
Deuxième génération	1974	96 V 400 kg	40 Wh/kg 5 h	6 batteries encore en service au 1. 5. 1978
Troisième génération	1975	48 V 300 kg 96 V 300 kg 96 V 400 kg 96 V 400 kg longue durée	40 Wh/kg 5 h – 36 Wh/kg 5 h	– Batteries de 300 kg seules expérimentées
Quatrième génération	1977	– Mêmes versions que troisième génération	– Mêmes performances que troisième génération – Séparateurs pochettes	– 5 batteries «longue durée» expérimentées en laboratoire – autres versions sur véhicules

reste malgré tout très insuffisante et ne représente qu'environ 260 h de fonctionnement.

Des durées de vie constatées, il ressort que les moteurs les plus économes en intensité au démarrage ont des balais qui durent le plus longtemps. De ce point de vue, les moteurs à excitation séparée sont bien placés.

2. Durées de vie des batteries au plomb utilisées sur véhicules légers

L'expérimentation de longue durée a permis de déterminer la durée de vie de batteries au plomb d'environ 40 Wh/kg dans les conditions réelles d'utilisation sur plus de 40 véhicules légers.

Les durées de vie annoncées sont de plus les moyennes d'au moins 12 durées de vie de batteries d'un même type ce qui donne au résultat un intérêt statistique supplémentaire.

2.1 Introduction, caractéristiques principales des batteries au plomb utilisées

Quatre générations de batteries françaises ont été expérimentées depuis 1973 (voir tableau III).

Dans la pratique, lorsqu'une batterie est démontée, sa capacité est de l'ordre de 60, 70 % de sa capacité initiale alors

que le critère de ruine couramment admis est 80 % de la capacité initiale.

De ce fait, les durées de vie sont augmentées de quelques dizaines de cycles par rapport aux estimations classiques. Ceci n'est pas grave étant donné que les batteries sont jugées sur le *service réel rendu* et cela seul est important.

Dans ce but, il est préférable de préciser le kilométrage effectué par les véhicules avec une même batterie. Mieux que le nombre de cycles, ce kilométrage indique directement le coût de la batterie et donne une synthèse des qualités ou défauts de la batterie. Dans la suite, la durée de vie des batteries sera donc indiquée à la fois en cycles et en kilomètres ou miles parcourus par le véhicule.

2.2 Batteries de la première génération 48 et 96 V (44 Wh/kg en 5 h)

On constate pour les expérimentations Lyon et les Renardières une très nette augmentation de la durée de vie qui ne peut s'expliquer entièrement par des conditions de circulation meilleures. Il est vraisemblable que les fabrications de ces batteries aient été différentes des précédentes.

Malgré cela la moyenne de durée de vie reste faible et demeure inacceptable.

Pour augmenter la durée de vie, des batteries moins performantes (40 Wh/kg) ont été essayées par la suite.

Aucune batterie de cette première génération n'est en service depuis 1977.

2.3 Batteries de la génération 1 bis

48 V à pochettes tissées (40 Wh/kg en 5 h)

Si la durée de vie a été augmentée (de 80 à 180 cycles), la moyenne demeure faible et ne diffère pas des meilleurs résultats obtenus avec les batteries de première génération.

De plus en exploitation, ces batteries se sont révélées sujettes à des échauffements anormaux, dus à leur résistance interne fortement augmentée par les pochettes tissées.

Une très grande dispersion des durées de vie était également constatée (de 42 à 340 cycles), ce qui est inacceptable pour un produit industriel.

L'inadaptation de ces batteries à la traction arrêta leur expérimentation fin 1976.

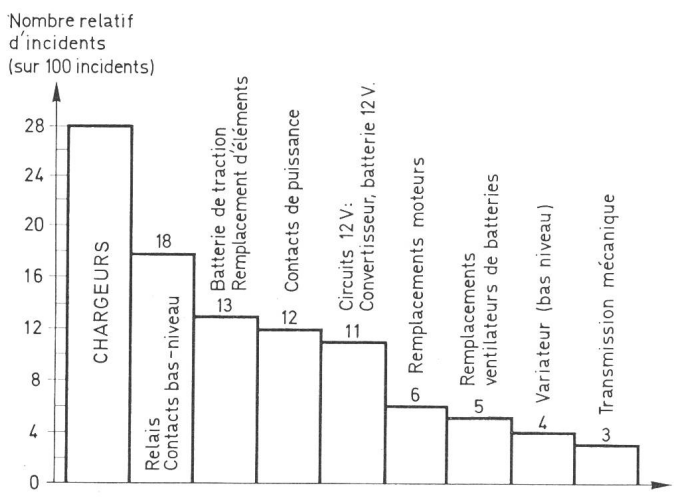


Fig. 3 Importance relative des incidents en 1977 (44 véhicules, base: 100 incidents)

2.4 Batteries de la deuxième génération

96 V, 400 kg (40 Wh/kg)

Ces batteries ont été expérimentées sur les voitures R4 et CGE depuis 1974 aux Renardières.

12 batteries sont arrivées en fin de vie. 6 autres batteries sont encore en service au 1^{er} mai 1978 sur R4.

C'est avec ces batteries que furent obtenues les premières durées de vie acceptables. La moyenne se situe à 340 cycles et 11050 km.

A noter cependant, qu'exceptés des véhicules notoirement mal utilisés, ces valeurs moyennes ont été largement dépassées.

2.5 Batteries de la troisième génération

48 et 96 V, 300 kg (40 Wh/kg)

Expérimentées depuis 1975 sur R4, R5 et CGE aux Renardières, une grande expérience a été acquise sur ces batteries.

Les tests statistiques habituels indiquent que les populations de batteries sont identiques si l'on considère la durée de vie en kilomètres mais qu'elles sont différentes si l'on prend la durée de vie en cycles.

Dans le doute on différenciera les deux types de batteries en notant leurs qualités relatives.

Batteries 48 V

- Meilleure longévité en cycles et en kilomètres,
- Dispersion des durées de vie moindre,
- Coût d'achat moindre.

Batteries 96 V

- Consommation énergétique au kilomètre moindre (0,28 kWh/km contre 0,36 pour les 48 V).

Le coût kilométrique brut de ces batteries (prix 1976 divisé par le kilométrage) s'établit à 0,56 francs français pour les 48 V et à 0,77 francs pour les 96 V, la différence de coût étant due non seulement aux longévités différentes mais aussi à un coût moindre des batteries 48 V.

Ces conclusions ne sont pas définitives étant donné les différents types de véhicules expérimentés qui introduisent des dispersions supplémentaires dans les résultats.

La consommation plus faible en 96 V montre l'intérêt d'une chaîne de traction «haute tension» où les rendements de tous les composants sont améliorés.

Les 400 cycles espérés de ces batteries ne sont pas obtenus en moyenne; sur 25 batteries arrivées en fin de vie, 5 seulement les ont dépassés (dont 4 batteries 48 V) avec des profondeurs de décharge faibles (45 à 60 %). Les coûts kilométriques sont ainsi fortement augmentés par rapport aux prévisions et sont inacceptables même dans les meilleurs cas:

VE 109	0,41 francs
VE 22	0,46 francs
Moyenne batterie 48 V	0,56 francs

Les dernières batteries de cette génération étaient montées au début de l'année 1977 et sont encore en service (tableau IV).

Batteries de deuxième, troisième et quatrième génération en service au 1. 5. 1978

Tableau IV

Nb de batteries		Génération type particularités	km	miles	Cycles	Cycles partiels	Taux de décharge moyen	km entre 2 recharges	Consom- mation kWh/km
en service	à mettre en service en 1978								
6	0	Deuxième génération 96 V 400 kg	Moyenne 8370 Ecart type 3825	5200 2377	257 89	4	40 %	33	0,24
9	0	Troisième génération 48 V 300 kg	Moyenne 10625 Ecart type 3087	6605 1919	323 97	17	55 %	33	0,31
4	0	Troisième génération 96 V 300 kg	Moyenne 7795 Ecart type 2260	4845 1405	240 50	13	55 %	32	0,27
6	3	Quatrième génération 48 V 300 kg Séparateurs pochettes	Moyenne 5740 Ecart type 2650	3565 1645	184 101	3	50 %	31	0,29
7	2	Quatrième génération 96 V 300 kg Séparateurs pochettes	Moyenne 2490 Ecart type 2060	1550 1280	77 70	6	55 %	32	0,25
5	0	Quatrième génération 96 V 400 kg Séparateurs pochettes	Moyenne 5110 Ecart type 2630	3175 1635	102 47	6	55 %	50	0,25

2.6 Batteries de la quatrième génération

48 V et 96 V, 300 kg

96 V, 400 kg

40 Wh/kg, avec séparateurs pochettes

Mises en service en 1977, aucune de ces batteries n'est encore arrivée en fin de vie.

Par rapport aux batteries de la génération précédente, la durée de vie devrait être augmentée, les séparateurs pochettes éliminant les risques de courts-circuits aux extrémités de plaques (tableau IV).

Bien qu'en moins grand nombre que les batteries de troisième génération, les durées de vie qui seront constatées porteront sur:

- 5 batteries pour les 96 V, 400 kg,
- 9 batteries pour les deux autres types.

2.7 Conclusion

On peut éprouver une certaine déception à la lecture de ces résultats peu satisfaisants. Les 400 cycles *prévus par les constructeurs*, mais non garantis, ne sont atteints que par un petit nombre de batteries et ceci avec des profondeurs de décharge faibles (50% en moyenne). Il faut dire que les durées de vie estimées l'étaient d'après des essais en laboratoire, où les décharges avaient lieu à courant constant, à des régimes lents (5 h) et où les conditions de température étaient connues et contrôlées; alors que l'expérimentation d'EDF a été faite dans des conditions réelles, sur des véhicules où les batteries sont déchargées rapidement (entre 1 et 2 h) avec des pointes de courant importantes au démarrage et des courants hachés. De plus la température des batteries peut atteindre des valeurs trop importantes dans le cas d'utilisations intensives.

Toutes ces conditions diffèrent de celles d'un laboratoire et on peut expliquer les différences de durée de vie. Mais les conditions réelles ne sont-elles pas les seules à considérer?

En guise de conclusion, les remarques qualitatives suivantes sont proposées, elles sont intuitives, mais l'expérience les confirme.

Dans l'expérimentation EDF, la durée de vie des batteries dépend fortement de l'utilisateur du véhicule. Aux utilisateurs soigneux, méticuleux, correspondent les batteries qui ont eu les meilleures durées de vie. Par contre toutes les durées de vie anormalement faibles ont été constatées sur des véhicules mal utilisés, rechargés trop souvent, voire deux fois par jour. On peut espérer que la moyenne corresponde à l'espérance de vie d'une batterie normalement utilisée ou qui, montée sur les prochains véhicules électriques sera bien protégée.

Le courant maximum au démarrage est un autre paramètre jouant sur la durée de vie. Aux véhicules très performants et fort consommateurs aux démarrages correspondent les durées de vie faibles.

A l'inverse, sur les véhicules mieux conçus, plus légers, éventuellement moins performants, de toutes façons plus économes en énergie ont été constatées les plus grandes durées de vie (CGE, moteurs à caractéristique basse). C'est également sur les véhicules dont la batterie était largement dimensionnée (batterie de 400 kg) que de grandes durées de vie ont été enregistrées.

A la lumière de l'expérimentation EDF, il serait bon de revoir les bilans économiques prévisionnels qui considèrent traditionnellement 400 cycles à 80% de décharge alors que la dure réalité se situe en dessous de ces chiffres. Cela souligne

tout le travail qu'il reste à accomplir dans le domaine de la batterie au plomb afin de diminuer son coût de fabrication et au moins doubler sa durée de vie.

3. Expérimentation d'autobus électriques 20 et 50 places

3.1 Description des véhicules en expérimentation

De 1972 à 1977, EDF a expérimenté deux types d'autobus. Après l'AS9 de faible capacité et de faibles performances (45 km/h) avait été étudié en 1973, le 3T1 de 50 places, capable d'assurer des liaisons avec de longs parcours à vitesse soutenue de 60 km/h, dans les villes nouvelles de la région parisienne. Les 3T1, lors de l'expérimentation de Tours, ont été modifiés, leur vitesse maximale a été réduite à 50 km/h pour les adapter aux conditions de circulation du centre de Tours.

Une troisième génération d'autobus est à l'étude en France en liaison avec les Pouvoirs Publics. C'est un mini-bus de centre-ville, le SL25, de 25 à 30 places dont la source est une batterie cadmium-nickel de faible masse qui sera rechargée, rapidement (3 à 5 min) et partiellement (10 à 15%) durant son exploitation. L'année 1979 devrait voir les essais du prototype.

Pour des raisons de vétusté du matériel roulant, les expérimentations d'autobus 3T1 ont été interrompues en janvier 1978.

3.2 Présentation des expérimentations

Deux types d'expérimentations bien distincts ont été réalisés:

- des expériences *ponctuelles*, en général de courte durée totalisant environ 5000 km. Les autobus étaient affectés de façon isolée, et exploités seuls ou avec des autobus classiques. C'est le cas de toutes les expérimentations des AS9 et des 3T1 à Grenoble, Dijon et Lyon.

- des expériences *de longue durée* pour lesquelles un kilométrage significatif était réalisé. Les autobus réalisaient beaucoup plus qu'une simple démonstration mais un service réel, soit intégrés individuellement à une ligne d'autobus classiques dans les villes nouvelles, soit réalisant à eux seuls l'exploitation entière de la ligne: 4 puis 3 autobus à Tours, 2 autobus à Auxerre.

3.3 Expérimentation de Tours (Indre et Loire)

Décidée par les responsables locaux, en liaison avec la direction générale d'Electricité de France, cette expérimentation débutait en janvier 1976 et se terminait deux ans plus tard en janvier 1978. Une ligne de centre-ville était spécialement créée pour l'expérimentation. Un parcours d'environ 7 km en forme de «huit» traversait les quartiers du centre peu ou pas desservis par les lignes d'autobus existantes. Après une période d'essais de trois mois, le parcours définitif était adopté avec le mode d'exploitation suivant:

- tarif unique: 1 franc, gratuit pour les abonnés,
- points d'arrêt balisés sur trottoir,
- possibilité d'arrêts supplémentaires à la demande aussi bien à la montée qu'à la descente,
- arrêt prolongé à la gare, double point de passage, au «centre du huit»,
- circulation des autobus tous les après-midi de semaine,
- périodicité des autobus fixée à 10 min.

Vis-à-vis de la circulation urbaine, cette ligne a contribué à l'effort de la Municipalité en assurant la liaison entre parcs de stationnement et le centre-ville. La fréquentation importante

montre tout l'intérêt de cette ligne qui est maintenue malgré le retrait des 3T1. Des autobus diesel SB2 assurent actuellement le service en attendant les SL25 électriques qui auront la même carrosserie. D'autres lignes de centre-ville sont à l'étude et seront assurées par les SL25.

Les résultats d'expérimentation sont les suivants:

- *Durée de l'expérimentation*: 19 mois (2 années complètes avec 2 mois et demi d'interruption chaque été),
- *kilométrage total*: 83800 km représentant plus de 50 % du kilométrage total des 3T1 (164000 km).

Tours est ainsi la plus importante expérimentation d'autobus électriques en France.

- *Nombre d'autobus en service*: 4 puis 3 (3,6 en moyenne),
- *kilométrage mensuel moyen*: 1225 km par bus,
- *parcours journalier moyen*: 60 km,
- *fréquentation moyenne journalière*: 450 passagers par bus,
- *consommation d'énergie au secteur*: 2,25 kWh/km (rendement des chargeurs 83 à 85 %),
- *indisponibilité des véhicules*: 12 %. L'indisponibilité réelle a été beaucoup plus faible compte tenu de la présence de deux autobus en réserve la première année d'expérimentation.

L'expérience de Tours a confirmé les points suivants, malgré l'inadaptation des 3T1 au service urbain de centre-ville:

- Une vitesse maximale de 45 à 50 km/h est suffisante pour desservir un centre-ville.
- Des batteries au plomb industrielles sont bien préférables à des batteries à hautes performances (un échange avait été fait début 1977, au moment de la modification des bus). La perte d'autonomie est largement compensée par une meilleure fiabilité de la batterie. Ses échauffements sont moindres (donc ses pertes), sa tension plus stable.
- Des temps de recharge partielle sont possibles à Tours, à la gare sans perturber l'exploitation.

3.4 Expérimentation d'Auxerre (Yonne)

Elle eut lieu du 15 juin 1977 au 1^{er} février 1978, avec deux autobus 3T1. Moins importante que celle de Tours, cette expérience est cependant remarquable pour la fiabilité des véhicules (6 % seulement d'indisponibilité). Elle présente une caractéristique commune avec Tours: Une ligne nouvelle fut créée pour les autobus électriques et cette ligne fut maintenue après leur retrait.

Il s'agissait à Auxerre de relier un quartier périphérique «Les Conches» au centre-ville et à la gare par une navette passant environ toutes les heures dans chaque sens. Un autobus assurait les quatre parcours du matin, le deuxième, les quatre parcours de l'après-midi. Chaque parcours était d'environ 10 km.

Les principaux résultats de l'expérimentation sont les suivants:

- *7 mois et demi d'expérimentation*: 2 autobus 3T1,
- *kilométrage total*: 14500 km (18 % par rapport à Tours),
- *kilométrage mensuel moyen par bus*: 965 km,
- *parcours moyen journalier*: 45 km,
- *indisponibilité des bus*: 6 % seulement due pour les deux tiers à un incident de suspension sur un autobus. L'autre véhicule a assuré la totalité du service pendant ce temps d'immobilisation.
- *Consommation d'énergie au secteur*: 2,45 kWh/km,
- *rendement des chargeurs*: 84 %.

4. Conclusion générale

Des expérimentations de la direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, portant sur 1 million de km pour les véhicules légers (1,2 t) et sur 164000 km pour les autobus 3T1, il ressort essentiellement que les batteries au plomb d'environ 40 Wh/kg ont une durée de vie faible qui pénalise fortement le coût d'exploitation des véhicules. Le poste batterie représente déjà 20 à 25 % du coût total dans le meilleur des cas, alors que le poste énergie n'est que de 5 %.

Les études à venir devraient s'orienter vers la recherche d'un compromis entre les trois paramètres suivants – masse de la batterie, son énergie massique et sa durée de vie – permettant d'obtenir le plus faible coût d'exploitation possible.

L'environnement de la batterie au plomb contribuera également à sa bonne utilisation.

Un système de remplissage centralisé très fiable et pour certains usages, un refroidissement de la batterie sont nécessaires.

L'indicateur de charge, outre son rôle psychologique non négligeable, permettra d'utiliser, à une profondeur de décharge optimale, les batteries en exploitation. A ce sujet, la profondeur moyenne de décharge assurant la plus grande durée de vie à une batterie (en kilomètres) n'est pas connue. Sa connaissance permettrait d'abaisser le coût d'exploitation. Autre remarque, bien peu d'appareils indicateurs de charge répondant à l'usage de véhicules électriques urbains, sont disponibles sur le marché mondial.

Pour résoudre ces problèmes, de nouvelles expérimentations de véhicules sont nécessaires. Des véhicules utilitaires et bus peuvent être construits; avec la technologie actuelle, ils peuvent, en ville, rendre de nombreux services. C'est la conviction des Pouvoirs Publics français qui entreprennent les actions actuelles. Avec ces véhicules, mieux conçus que ceux d'EDF de 1972 et 1973, de nouveaux essais et de nouveaux progrès seront réalisés. Leur mise en service (1979/80 en France) les introduira dans les habitudes de nos contemporains et l'on peut penser que les véhicules utilitaires seront, dans un avenir très proche, fortement majoritaires dans les villes et pourquoi pas, très intéressants sur le plan économique.

«Think Electric!» disent nos amis anglophones.

Bibliographie

- [1] M. Cochat, J. Heurtin et R. Wolf: Troisième Symposium International sur le Véhicule Electrique, Expérimentation d'une présérie de véhicules électriques. Février 1974, références EDF: HE 122 T 197.
- [2] J. Heurtin et M. Moneuse: Quatrième Symposium International sur le Véhicule Electrique. Septembre 1976, références EDF: HE 122 T 259.
- [3] M. Cochat, Document interne EDF: Véhicule Electrique Renault-EDF (R5), 1974, références EDF: HE 122 T 198.
J. Gaulon, Document interne EDF: Essai d'un véhicule CGE, 1976, références EDF: HE 122 W 928.

Adresse de l'auteur

M. Moneuse, ingénieur à Electricité de France, Direction des études et recherches, Centre des Renardières, F-77250 Moret-sur-Loing.