

**Centre de
Recherches sur les
Communications**

BATTERIES SECONDAIRES POUR SATELLITES

par

W.D. EDWARDS

RAPPORT DU CRC N° 1300

IC

Department of
Communications

Ministère des
Communications

OTTAWA, DÉCEMBRE 1976

TK
5102.5
C673f
#1300

CENTRE DE RECHERCHES SUR LES COMMUNICATIONS

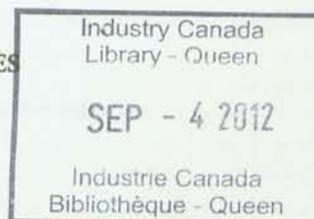
**MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS
CANADA**

BATTERIES SECONDAIRES POUR SATELLITES

par

W.D. Edwards

(Direction de la technologie spatiale)



RAPPORT DU CRC N° 1300

Décembre 1976

OTTAWA

ATTENTION

Ces renseignements sont fournis à la condition expresse que les droits de propriété et les droits de brevet soient protégés.

INDUSTRY CANADA

SEP 4 1984
INDUSTRY CANADA

COMMUNICATIONS CANADA
C R C
AUG 24 1984
LIBRARY - BILTINGTON

TK
5102
C673f
#1300
c.b

TABLE OF MATIÈRES

RÉSUMÉ	1
1. INTRODUCTION	1
2. CONSTITUANTS CHIMIQUES ET PROBLÈMES DE FONCTIONNEMENT DES BATTERIES DE SATELLITES	2
2.1 Introduction	2
2.2 Types de batteries	3
2.3 Constituants chimiques des batteries secondaires ou systèmes rechargeables	3
2.3.1 L'élément nickel-cadmium (Ni/Cd)	3
2.3.1.1 Surcharge	3
2.3.1.2 La commutation nitrate - nitrite	4
2.3.1.3 Décharge excessive	4
2.3.1.4 Les séparateurs	5
2.3.1.5 Les électrodes	5
2.3.1.6 Joints étanches	7
2.3.1.7 Difficulté de prédiction de la capacité et de l'effet mémoire	7
2.3.1.8 Densité d'énergie	7
2.3.1.9 Fonctionnement à basses températures	7
2.3.1.10 Durée de conservation	7
2.3.2 L'élément nickel-hydrogène (Ni/H ₂)	7
2.3.2.1 Décharge excessive	8
2.3.2.2 L'électrode d'"hydrogène"	8
2.3.2.3 Perte de capacité	8
2.3.3 Ni/H ₂ avec un absorbeur de nickelure de lanthane (LaNi ₅)	8
2.3.4 L'élément argent-hydrogène (Ag/H ₂)	10
2.3.4.1 Décharge excessive	10
2.3.4.2 Inconvénients de l'élément Ag/H ₂	11
2.4 Problèmes posés par les batteries Ni/Cd et Ni/H ₂ et dates de leurs solutions	11
2.4.1 Problèmes des éléments Ni/Cd	11
2.4.1.1 Le séparateur	11
2.4.1.2 Les électrodes	14
2.4.1.3 Études supplémentaires sur les électrodes	15
2.4.1.4 Circuits de protection et de limitation de charge	15
2.4.1.5 L'électrolyte	15
2.4.1.6 Les soudures et les joints d'isolation	15
2.4.2 Problèmes de l'élément Ni/H ₂	16
2.4.2.1 Circuits de commande électriques	17
2.5 Degré de fiabilité	17
2.6 Ni/Cd ou Ni/H ₂	17

3.	LA POSITION CANADIENNE ACTUELLE	19
3.1	L'industrie	19
3.2	La fondation de recherches de l'Ontario	19
3.3	Le conseil de recherches pour la défense Ottawa	19
4.	SOURCES ET POLITIQUE SUR LES BATTERIES DE SATELLITES	20
4.1	Antécédents de la politique	20
4.1.1	Renseignements nécessaires	20
4.1.2	Retombées technologiques	21
4.1.3	Un peu d'économie	22
4.2	Options	22
4.2.1	Le "statu quo"	22
4.2.2	Une usine de batteries de satellites canadienne	22
4.2.3	Entreprise de fabrication de batteries rechargeables commerciales au Canada comprenant une section R&D pouvant fournir des batteries de satellites	23
4.2.3.1	Le marché	24
4.2.3.2	La mise en marché	24
4.2.3.3	L'apport de l'industrie dans une telle entreprise	25
4.2.3.4	Investissement par emploi créé	25
4.2.3.5	Chances de réussite	25
4.2.3.6	Les brevets	25
4.2.3.7	Opportunité du moment	25
4.3	Études de recherche et de développement	26
4.3.1	Rôle de la DSEE du CRDO	26
4.3.2	Considérations sur le degré de financement	27
4.3.3	Recherche et développement industriels	27
4.4	L'immédiat 1976 – 1980	27
4.5	L'avenir 1980 – 1985	27
4.6	Conclusions et recommandations	28
5.	REMERCIEMENTS	30
6.	RENVOIS	30

BATTERIES SECONDAIRES POUR SATELLITES

par

W.D. Edwards

RÉSUMÉ

Les batteries Nickel-cadmium (Ni/Cd), nickel-hydrogène (Ni/H₂) et argent-hydrogène (Ag/H₂) ont fait l'objet d'un examen afin que l'on puisse déterminer leurs avantages respectifs.

On en a conclu que les connaissances actuelles au sujet des éléments Ni/H₂ n'étaient pas suffisamment avancées pour justifier leur emploi comme sources d'énergie principales des satellites canadiens d'ici 5 ans.

Pour le moment, il semble être beaucoup plus rentable d'améliorer la fiabilité et la durée de vie des batteries Ni/Cd que d'essayer de les remplacer par des batteries Ni/H₂ à haute énergie par livre.

La présente brochure traite également des antécédents, de la volonté et de l'économie de l'industrie de la fabrication des batteries pour satellites, et renferme des recommandations à cet effet.

1. INTRODUCTION

Toutes les batteries nickel-cadmium employées sur les satellites canadiens proviennent des États-Unis. En effet, pour le STT, il n'y avait qu'un seul fabricant de batteries spatiales. Aujourd'hui, de nouveaux systèmes de batteries font leur apparition. Quelle politique le MDC/CRC doit-il suivre en vue de s'assurer un approvisionnement en batteries spatiales fiables?

Par le passé, l'on faisait appel à l'expérience de la direction générale des sources d'énergie électrique du Centre de recherches pour la défense Ottawa (DGSEE du CRDO) pour garantir la fiabilité exigée des batteries. Leur personnel a résolu de nombreux problèmes en travaillant de concert avec les fournisseurs américains qui ont bien voulu coopérer. Quel doit être leur rôle à l'avenir?

Les pages qui suivent traitent des problèmes posés par les batteries étanches et de leurs solutions possibles. Elles contiennent des suggestions sur certains travaux de recherche particuliers qui pourraient être entrepris par le CRDO. Présentement, la durée de vie réelle des batteries Ni/Cd pour des grandeurs de décharge (G.D.) élevées, est insuffisante. On a donc pensé aux batteries nickel-hydrogène (Ni/H₂) comme solution de rechange, et on étudie la situation relative au Programme spatial canadien et l'impact qu'elles pourraient avoir sur ce dernier.

La possibilité de stimuler l'industrie de la fabrication des batteries de satellites au Canada fait aussi l'objet d'une étude. Les mesures réelles à appliquer dans ce domaine reposent sur des décisions prises au niveau de politiques qui n'ont pas encore été définies. Par conséquent, les solutions de rechange sont présentées sous la forme d'arbres de décisions.

2. CONSTITUANTS CHIMIQUES ET PROBLÈMES DE FONCTIONNEMENT DES BATTERIES DE SATELLITES

2.1 INTRODUCTION

Les batteries de satellites doivent posséder les caractéristiques suivantes:

- a) fiabilité;
- b) haute densité d'énergie, en watt h par lb;
- c) haute énergie par unité de volume;
- d) possibilité de fournir 80% de la capacité sur plusieurs milliers de cycles;
- e) efficacité, de manière à réduire les problèmes thermiques;
- f) système étanche;
- g) bonne rétention de charge.

Employée depuis soixante-dix ans, la batterie nickel-cadmium a récemment été le premier choix pour l'alimentation énergétique des satellites. Les efforts croissants qui ont été investis dans ce système, surtout au cours de l'"ère des satellites", ont produit un système dans lequel seul la caractéristique d) constitue un problème véritable. La recherche continue a amélioré, et est susceptible d'améliorer encore plus, le rendement à ce sujet. La présente section traite aussi des facteurs physico-chimiques à ce problème. À mesure que la grandeur de décharge possible pour un nombre de cycles donné augmente, il est possible d'augmenter la densité d'énergie efficace pour une mission déterminée. On doit donc tenir compte de ce point lors de l'étude des tableaux de densité d'énergie de divers systèmes (voir la figure 4).

Le coût par livre d'une mise en orbite est élevé; voilà pourquoi il est souhaitable d'augmenter au maximum l'énergie par livre du système de batteries. Il faut donc recourir aux nouvelles batteries qui offrent de plus grandes densités d'énergie par livre. Actuellement, le système nickel-hydrogène est le cheval de bataille privilégié de la recherche pour des applications sur les satellites. Un brevet de B.I. Tsenter et al¹ de Léningrad, enregistré le 25 février 1971, a sans doute grandement stimulé toute une série d'activités à l'"Ouest" – voir les articles de Klein^{2,3}, Dunlop⁴, Font⁵ et Miller^{6,7}.

Même si le système Ni/H₂ offre une plus grande densité d'énergie que le système Ni/Cd dans le cas des grosses batteries, il faut tenir également compte des autres propriétés nécessaires à une batterie de satellite (articles c) à g) au moins). La mission particulière pour laquelle les batteries sont employées, détermine l'importance relative de ces caractéristiques; par exemple, une longue durée de vie n'est pas importante pour une mission de courte durée.

Par conséquent, on étudie en détail les types de batteries et leurs constituants chimiques, de manière à pouvoir cerner et évaluer leurs problèmes respectifs.

2.2 TYPES DE BATTERIES

Les batteries primaires fournissent leur énergie en une seule fois. Elles sont employées sur les fusées et les satellites en raison de leur haute densité d'énergie, leur intensité supérieure et leur fiabilité. On les a maintenant abandonnées puisqu'elles ne seront plus utilisées à l'avenir dans le cadre du programme de satellites canadien.

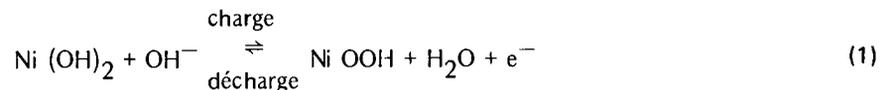
Les batteries secondaires, que l'on peut recharger après utilisation, conviennent mieux à la plupart des applications pour satellites.

2.3 CONSTITUANTS CHIMIQUES DES BATTERIES SECONDAIRES OU SYSTÈMES RECHARGEABLES

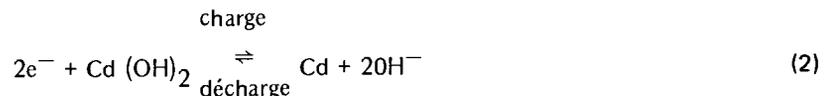
Le système le plus connu est celui à base de plomb et d'acide. Cependant, sa capacité relativement faible en Wh par lb et sa construction dotée d'orifices d'aération ne permettent pas de l'employer dans les satellites. Le système Ni/Cd étanche est la batterie la plus employée sur les circuits d'alimentation énergétique des satellites. La batterie a été brevetée en 1899, et sa fabrication a débuté en 1904.

2.3.1 L'élément nickel-cadmium (Ni/Cd)

On étudie d'abord les réactions de charge et de décharge de l'élément Ni/Cd. Le système est fondé sur l'oxydation et la réduction. À l'électrode de nickel positive, la charge de la batterie donne lieu à un processus d'oxydation que l'on écrit habituellement de la façon suivante:



Le Ni passe de l'état bivalent à l'état trivalent au moment de la charge, et l'inverse se produit lors de la décharge. À l'électrode de cadmium négative, la décharge de la batterie donne lieu à un processus de réduction que l'on représente habituellement de la façon suivante:



et lors de la décharge, c'est la réaction inverse qui se produit. [OH⁻ est un agent oxydant et H₂, l'agent réducteur classique.]

Une solution de KOH à 26% environ est utilisée comme électrolyte.

2.3.1.1 Surcharge

Si le processus de charge se poursuit et que tout le Cd(OH)₂ est transformé en cadmium (éq. 2) avant que l'électrode de nickel positive ne soit épuisée (limitée par une charge négative), l'eau subit une électrolyse, et l'hydrogène se dégage à la cathode. Ainsi:



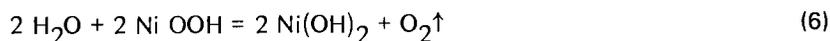
En l'absence de tout catalyseur de recombinaison, la réaction est essentiellement irréversible, et il se produit une accumulation de pression interne si l'élément est étanche. Si le système est limité par une charge positive, c'est-à-dire, si la plaque de l'électrode de nickel est utilisée en premier, la réaction



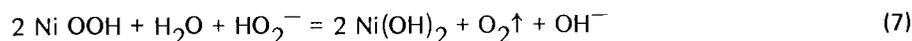
se produit à l'électrode de nickel lors de la surcharge. L'oxygène peut alors se disperser vers l'électrode négative, et la réaction suivante se produit:



De cette façon, il n'y a pas d'accumulation de pression d'oxygène à l'intérieur de l'élément. Dès que le processus de charge cesse, il y a décharge naturelle à cause de la décomposition du corps actif:



ou, en présence d'un ion peroxyde



et à la cathode, s'il y a de l'oxygène



Ainsi, la pression de O_2 diminue. À partir des équations (3) et (4), on remarque qu'une fois le corps actif de la plaque épuisé (complètement oxydé ou réduit, selon le cas), l'électrolyse de l'eau se produit alors, O_2 se dégageant à l'anode et l'hydrogène à la cathode.

La production d'oxygène à l'anode est plus sensible à la température que la réaction de charge normale, ce qui fait que la production d'oxygène devient appréciable assez tôt dans le cycle de charge à mesure que la température s'élève.

Pour assurer qu'il n'y a pas production d'hydrogène (réaction 3), l'électrode de cadmium est conçue de manière à avoir une plus grande capacité que l'électrode de nickel, c'est-à-dire que le rapport de capacité de la plaque négative à la plaque positive doit être supérieur à 1. L'électrode de cadmium comprend également une grande surface pour faciliter la recombinaison de l'oxygène.

Les réactions 6, 7 et 8 continuent selon des rapports mesurables, jusqu'à ce que l'élément soit déchargé; par exemple, 90% de la charge initiale demeure après 8 jours à 20°C. Une décharge naturelle plus rapide se produit en présence d'un ion nitrate.

2.3.1.2 La commutation nitrate – nitrite

Une décharge naturelle rapide observée dans certaines batteries Ni/Cd a été attribuée à la présence d'une impureté: l'ion nitrate. On a démontré que le cadmium réduisait l'ion nitrate (NO_3^-) en ion nitrite (NO_2^-) et que le corps oxydé de la plaque positive (soit Ni OOH) oxydait l'ion nitrite en ion nitrate. Le couple (NO_3^-) (NO_2^-) peut commuter entre les plaques à la suite de la décharge naturelle de l'élément. Le nitrate peut demeurer présent par le processus initial de formation des électrodes.

2.3.1.3 Décharge excessive

Si l'on force le courant dans l'élément après décharge, le potentiel électrique de l'élément est inversé. Il peut y avoir une production d'hydrogène, d'oxygène ou des deux. A l'électrode de nickel, on a:



et à l'électrode de cadmium:



Ces réactions s'entendent des considérations précédentes sur les cas limités, dans l'ordre, par charge positive et négative, avec une inversion des rôles des électrodes. L'oxygène peut se recombiner dans le processus de charge qui suit, mais l'hydrogène ne se recombine pas à des taux utiles sans catalyseur.

Le taux de recombinaison de l'oxygène dépend de la disponibilité des milieux de réaction et, par le fait même, de la capacité du gaz à pénétrer l'électrode de cadmium. Par conséquent, l'électrolyte suffit à peine à mouiller le séparateur, étant donné qu'une immersion réduirait de beaucoup le taux de recombinaison de l'oxygène. Voilà pourquoi de tels éléments étanches sont souvent appelés éléments "en mal d'électrolyte".

2.3.1.4 Les séparateurs

Chaque système d'électrodes doit être séparé de manière à réduire toute réaction chimique directe; cependant, il doit y avoir un flux conducteur à faible résistance à travers les couches électrolyte-séparateur-électrolyte. La dimension des pores du séparateur doit être suffisamment petite pour empêcher toute croissance d'arborisations entre les électrodes ainsi qu'un échange chimique général. Par contre, le séparateur doit être suffisamment perméable, de manière à empêcher toute accumulation de haute pression des gaz. L'idéal serait que le séparateur soit résistant, isolant du point de vue électrique et chimiquement inerte. Le nylon (Pellon) est utilisé, mais il s'oxyde assez rapidement à des températures élevées; voilà pourquoi l'on utilise plutôt le polypropylène pour de telles applications. On emploie également un agent mouillant afin d'améliorer l'absorption électrolytique du propylène. L'agent mouillant peut s'oxyder lentement, causant une perte d'électrolyte du séparateur, ce qui entraîne une résistance accrue de l'élément. Comme matériau de séparateur, le nylon peut absorber et retenir une plus grande quantité d'électrolyte que le propylène, et il est habituellement préféré à ce dernier. Il est donc nécessaire d'obtenir des méthodes améliorant l'absorption et le mouillage du propylène.

2.3.1.5 Les électrodes

Une couche de nickel finement pulvérisé recouvre une grille de nickel ou d'acier nickelé. La grille est frittée à une température immédiatement sous le point de fusion du nickel, de préférence dans un milieu hydrogène. Elle est frappée en plaque pour la renforcer et éliminer les arêtes vives, etc., qui pourraient causer des courts-circuits. La porosité varie alors entre 60 et 80%. Puis les plaques sont trempées dans du nitrate de nickel (Nitrate de cadmium pour les plaques négatives). On fait précipiter les hydroxydes en immergeant la plaque dans de l'hydroxyde de potassium en présence d'un courant de polarisation. Cette opération se fait en plusieurs étapes. On emploie des additifs afin d'améliorer la rétention de charge et la capacité.

Comme on l'a vu auparavant, le rapport de capacité de la plaque négative à la plaque positive doit être supérieur à un, de façon à éviter qu'il y ait dégagement d'hydrogène à la cathode lors d'une surcharge. Une deuxième exigence est que la surface disponible de la cathode soit suffisante pour permettre la recombinaison de tout l'oxygène pouvant être produit à la plaque positive. Ces deux exigences sont particulièrement importantes pour les éléments étanches dans lesquels toute production de gaz peut amener une augmentation de la pression interne.

Considérons maintenant les facteurs qui influencent le rapport négatif/positif par rapport à la valeur nominale de 1.7 choisie pour le STT.

- a) La plaque de cadmium (Cd) négative est chargée au préalable jusqu'à un certain point. Il est difficile d'obtenir une bonne explication de la part des fabricants sur la raison de cette opération et dans

quelle mesure elle est faite. Plusieurs raisons ont été données. La précharge est destinée à compenser jusqu'à un certain point le fait que la plaque négative n'est pas aussi efficace que la plaque positive, à réduire la diminution de capacité proportionnelle à la durée d'emploi de l'élément, et à réduire la tension et la pression lors de surcharge. La quantité exacte d'oxydation de la plaque au cours du montage varie également jusqu'à un certain point selon la période de montage, la température, etc. Par conséquent, un rapport apparent de 1.7 se trouve sans doute réduit à un rapport efficace inférieur à 1.5.

- b) Il faut considérer la variation de la surface efficace par rapport aux conditions cycliques de charge/décharge. Cette variation de surface influence les deux électrodes. En comptant une variation approximative de 10% de la capacité efficace de chaque électrode, dans le cas extrême le rapport efficace peut baisser de 1.5 à 1.3.
- c) La quantité d'électrolyte présente dans les interstices de la cathode influence la disponibilité de la surface de l'électrode pour la recombinaison de l'oxygène. Un milieu d'apesanteur complique les calculs portant sur la distribution relative de l'électrolyte, qu'elle se fasse à l'intérieur des séparateurs, dans les interstices de l'électrode ou ailleurs dans le volume de l'élément.
- d) La norme sur les batteries du STT propose une capacité de surcharge de C/10 pendant 6 mois sur une plage de température variant entre -5°C et $+40^{\circ}\text{C}$. Le taux de recombinaison de l'oxygène diminue à mesure que la température augmente; en vue de compenser cette situation, il faut prévoir une plus grande surface sur la plaque négative. Sinon, le rapport de plaque efficace à la limite inférieure de la plage de température, soit 5°C , va diminuer.
- e) À basse température, la réaction se produisant à la cathode est influencée de sorte que l'acceptation de charge diminue également. À l'anode, la formation d'un oxyde de nickel de valence supérieure pour de basses températures, entraîne une augmentation de la capacité de la plaque positive, c'est-à-dire qu'à basse température, le rapport de capacité de la plaque négative à la plaque positive diminue encore plus.
- f) L'activité (capacité) de la plaque de nickel peut augmenter avec le temps.
- g) La présence de carbonate ou d'autres impuretés peut également réduire la surface efficace des plaques. Les facteurs d) à g) réduisent encore plus le rapport efficace, celui-ci devenant à peu près égal à l'unité, ou moins.

À la lumière de tous ces facteurs, dont il est peu probable qu'ils se produisent simultanément, le choix d'un rapport de capacité nominal de 1.7 de la plaque négative à la plaque positive pour le STT semble raisonnable.

Il est important de réduire le rapport de la plaque négative à la plaque positive à une valeur aussi voisine de l'unité que possible, de manière à augmenter au maximum la densité d'énergie. Une réduction est toujours possible, mais l'on doit savoir qu'en réduisant le rapport, il faut également limiter les tolérances de fonctionnement si le "facteur sécurité" demeure le même. Si la batterie était maintenue à une température constante, cela simplifierait considérablement le problème — voir les points d) et e). De plus, si l'on ajoutait des circuits de commande électroniques pour limiter le taux de charge et de décharge, on pourrait réduire encore plus le rapport — voir le point b). Des techniques de fabrication améliorées — voir le point a), le point g) et peut-être les points b) et f) — permettraient de réduire le rapport de la plaque sans nuire pour autant au fonctionnement. Ainsi, une connaissance plus poussée du processus chimique et des mécanismes de charge et de décharge entraînera la production de batteries à densité d'énergie efficace supérieure, c'est-à-dire, une diminution du poids de la batterie pour une mission donnée.

2.3.1.6 Joints étanches

Il faut au moins un joint métal sur isolant par élément pour établir le contact aux électrodes dans un élément hermétiquement étanche. Lorsque l'on emploie des éléments dans la fabrication d'une batterie, il est souhaitable que les deux électrodes soient isolées du bac. Les joints des électrodes doivent donc isoler celles-ci du bac, résister à toute attaque de l'électrolyte KOH et être étanches. Il existe des joints verre sur métal et céramique sur métal.

2.3.1.7 Difficulté de prédiction de la capacité et de l'effet mémoire

Lors d'une décharge à la cathode, par exemple, le cadmium est oxydé, et l'hydroxyde de cadmium se dépose. Le processus inverse se produit lors d'une charge. À basse température et à taux de charge élevés, les dépôts sont très fins; cependant, leur dimension est plus importante pour les taux de charge faibles et à haute température. Les propriétés de décharge et de charge dépendent de la surface disponible, et l'on remarque alors que les grandeurs des courants de charge et de décharge, les températures, etc. influencent par la suite le fonctionnement des éléments. On augmente la durée de vie des éléments en réduisant le taux de décharge et en maintenant la température entre 0°C et 25°C. On a également remarqué qu'un taux de charge relativement rapide augmente la durée de vie de l'élément.

2.3.1.8 Densité d'énergie

La capacité dont on dispose dépend jusqu'à un certain point des taux de charge et de décharge. Les valeurs représentatives relevées s'échelonnent entre 15 et 23 Wh par lb. Les éléments fondamentaux employés dans le STT sont de 12 Wh par lb, et si l'on compte le poids de tout le bloc des batteries comprenant les radiateurs, etc., on obtient une valeur de 9 Wh par lb.

2.3.1.9 Fonctionnement à basses températures

La batterie nickel-cadmium peut être refroidie jusqu'à -65°F sans geler pourvu qu'un électrolyte KOH à 30% soit utilisé. À -40°F (-40°C), la batterie retient 50% de sa température ambiante et accepte toujours une charge, quoiqu'à un taux légèrement réduit.

2.3.1.10 Durée de conservation

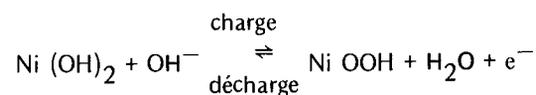
Il est possible de conserver la batterie Nickel-cadmium durant de nombreuses années en état de charge ou de décharge. Pour les applications dans le Grand Nord, il est important de noter que la batterie n'est pas endommagée si elle est gelée (pas à plus de -65°F) en état de décharge, comme l'est la batterie au plomb et à l'acide.

2.3.2 L'élément nickel-hydrogène (Ni/H₂)

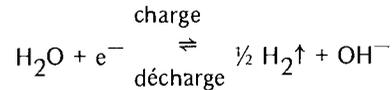
La sensibilité de la batterie nickel-cadmium aux taux de surcharge et de décharge excessive élevés est considéré comme un inconvénient majeur de l'élément. Le remplacement de l'électrode de cadmium par une électrode d'"hydrogène" est la solution de ce problème. L'électrode d'hydrogène a également une durée de vie supérieure à l'électrode de cadmium ou de zinc des éléments Ni/Cd et Ag/Zn.

Les réactions suivantes se produisent habituellement dans l'élément Ni/H₂:

À l'électrode de nickel

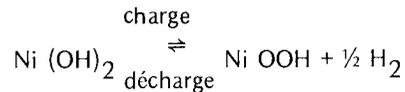


et à l'électrode (négative) d'hydrogène

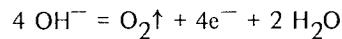


[La réaction de surcharge sur une électrode de Cd.]

La réaction générale s'écrit de la façon suivante:



À la charge, il y a production d'hydrogène, et l'élément Ni/H₂ fonctionne donc sous pression, qui se situe habituellement dans la plage variant entre 3 et 35 atmosphères (100 atmosphères dans l'étude soviétique). À la surcharge, l'oxygène se dégage à l'électrode de nickel, comme c'est le cas pour l'élément Ni/Cd:



dans un système limité par une charge positive. L'oxygène est réduit chimiquement et électrochimiquement à l'électrode d'hydrogène, ce qui entraîne une stabilisation de pression.

2.3.2.1 Décharge excessive

Si la capacité est limitée par l'électrode positive, il y a possibilité de fonctionnement continu; l'hydrogène qui se dégage à l'anode (décharge excessive) est immédiatement consommé à la cathode (c'est la réaction de décharge), et la pression est constante. La limitation par l'anode (nickel) est assurée à cause de la quantité relativement abondante d'eau dans l'électrolyte et à cause de l'addition d'hydrogène à l'élément initialement déchargé.

2.3.2.2 L'électrode d'"hydrogène"

L'électrode renferme un catalyseur pour faciliter la recombinaison de H₂ avec O₂, de manière à donner de l'eau. Un certain nombre de variations comprenant le platine ont été essayées. L'électrolyte est une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium (~ 30%).

2.3.2.3 Perte de capacité

Mis à part le mécanisme de perte d'hydrogène manifeste de l'élément sous pression, il peut se produire une perte de capacité due à ses réactions spontanées. Les oxydes de nickel de l'anode et l'oxygène absorbé chimiquement sur cette électrode peuvent être réduits par l'hydrogène. On a calculé que 40% de la capacité du Ni/H₂ pouvait se perdre de cette façon, à raison de 20% au cours des premières 24 heures, par suite de la recombinaison de l'oxygène absorbé chimiquement. Les résultats de Font et Goulard⁵ indiquant cette perte de capacité sont reproduits à la figure 1. Des résultats assez comparables ont été présentés au colloque de la Intersociety Energy Conversion Engineering Conference⁹ tenu en août 1975. La figure 2 montre une copie des résultats présentés. On n'a manifestement pas compris le mécanisme, puisque Tsenter¹ affirme que la réduction directe du NiOOH par l'hydrogène est peu probable pour des raisons cinétiques.

2.3.3 Ni/H₂ avec un absorbeur de nickelure de lanthane (LaNi₅)

La pression interne élevée (~ 35 atm) d'un élément Ni/H₂ chargé constitue un sérieux inconvénient. Le stockage de l'hydrogène par procédés chimiques plutôt que par pression, entraînant des pressions de fonctionnement plus basses, serait une grande amélioration. Le nickelure de terre rare La Ni₅ offre cette possibilité¹⁰:

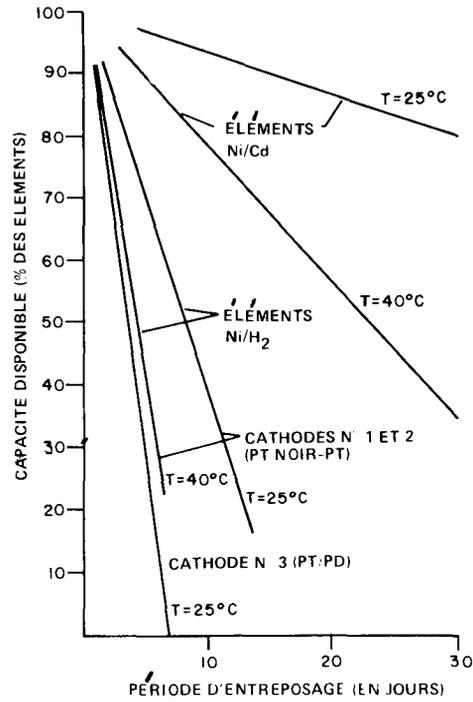


Figure 1. Rendement du Ni/H₂ par rapport au Ni/Cd
Rétention de charge par rapport à la période et à la température d'entreposage pour les éléments Ni/Cd et Ni/H₂ (Tiré de Font et Goulard⁵)

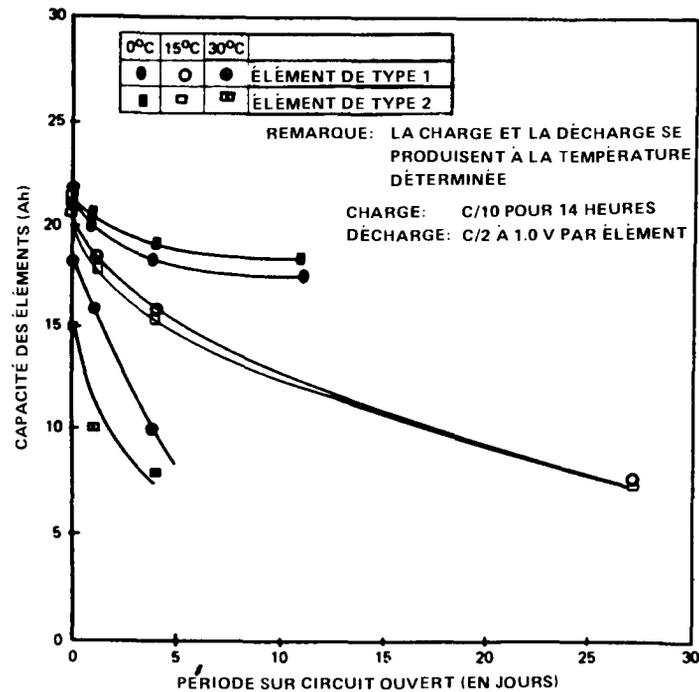
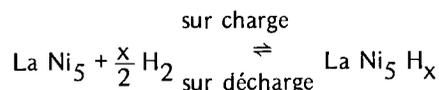


Figure 2. Capacité de l'élément nickel-hydrogène en fonction de la période sur circuit ouvert avec la température comme paramètre (tiré de Patterson & Sparks⁹)



À $\sim 20^\circ\text{C}$, les réactions de charge et de décharge se produisent alors à l'intérieur d'une plage de pression d'environ deux atmosphères.

L'absorption de 7.2 kcal/mole de H_2 est exothermique. À la décharge, l'élément produit 9 kcal/mole de H_2 de manière que la chaleur de la désorption puisse être immédiatement fournie à partir l'intérieur de l'élément. D'après ce que l'on sait des expériences faites jusqu'à présent, on a placé le La Ni_5 dans un récipient distinct, isolé de la batterie même. Des problèmes pourraient surgir si le système était tassé, puisque l'absorption de H_2 par La Ni_5 pourrait être inhibée par la présence d'eau ou d'électrolyte.

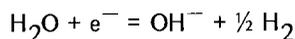
2.3.4 L'élément argent-hydrogène (Ag/H_2)

Comme dans le cas du système Ni/H_2 , l'élément argent-hydrogène a une électrode d'hydrogène de type élément combustible et une plage de pression de fonctionnement élevée, variant entre 6.8 et 34 atm. Le système offre une densité d'énergie légèrement supérieure à celle du système Ni/H_2 , c'est-à-dire ~ 40 Wh par lb contre ~ 27 Wh par lb. La densité d'énergie réalisable se compare à celle des éléments argent-zinc, mais l'on obtient une meilleure durée de vie en remplaçant le zinc par une électrode d'hydrogène.

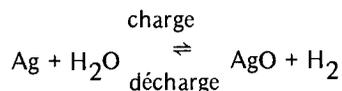
Au cycle de charge, on a



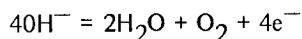
et



c'est-à-dire, une réaction nette



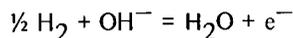
On remarque un changement dans la concentration de l'électrolyte et un changement de volume de l'électrode d'argent à mesure que l'argent s'oxyde. Le changement total est de ~ 0.2 cc par ampère-heure de capacité. À la décharge aux électrodes d'argent, on a



L'oxygène se recombine à l'électrode d'hydrogène (platine), de manière que la pression du gaz se stabilise.

2.3.4.1 Décharge excessive

L'élément est conçu pour être limité par une charge positive, et l'hydrogène qui se dégage à l'anode est immédiatement consommé à la cathode d'après la réaction:



On peut surcharger et faire fonctionner le système sans détérioration notable. Hass et Briggs¹¹ (Philco-Ford) sont très enthousiastes au sujet de la batterie argent-hydrogène. Ils ont effectué avec succès 600 cycles de décharge excessive (85%) à un taux de 2C, lesquels ont cependant entraîné une chute sensible de la

tension de décharge. Ils n'ont pas fait allusion au problème de pression, ni à l'occurrence de courts-circuits due à la migration de l'argent.

2.3.4.2 Inconvénients de l'élément Ag/H₂

Les courbes de charge et de décharge, c'est-à-dire la tension par rapport au temps pour un courant spécifique, ne sont pas ouvertes, mais plutôt échelonnées en raison des changements de l'oxyde argenteux à l'oxyde argentique, et inversement.

La croissance d'arborisations cristallines peut être un problème et peut provoquer des courts-circuits électriques. La durée de cycle est considérablement inférieure à celle des éléments Ni/Cd.

L'utilisation de l'argent a besoin d'améliorations. Au départ, on peut utiliser l'argent à raison de 2.4 g/Ah par rapport à une valeur théorique de 2.014 g de Ag par Ah. Cependant, l'utilisation de l'argent tombe avec le cycle et se stabilise à 3.8 g/Ah seulement. Le poids d'une batterie typique de 25 Ah décrite par Klein¹² (ERC) était de 375 g, dont 125 g constituait le récipient sous pression.

Les systèmes de batteries dont on vient de parler sont comparés aux figures 3 et 4. Les renseignements de la figure 4 sont tirés d'un certain nombre de sources. Il faut donc faire preuve de discernement lorsqu'on fait des comparaisons, puisque ce qui est inclus dans les calculs d'un auteur sur la densité d'énergie est souvent mal défini.

2.4 PROBLÈMES POSÉS PAR LES BATTERIES Ni/Cd ET Ni/H₂ ET DATES DE LEURS SOLUTIONS

L'auteur s'interroge sur la validité des essais accélérés. Bien que des essais accélérés sur les batteries Ni/Cd, mettant l'accent sur la durée de cycle et la grandeur de décharge qui semble y être associée, sont essentiels pour obtenir des renseignements nécessaires, il faut savoir que les réactions échelonnées sur une période plus longue ne sont pas considérées de façon appropriée, par exemple, dans le cas des effets de décharge naturelle. De plus, l'on doit tenir compte que dans les comparaisons de la durée de cycle des batteries, etc., le nombre d'éléments utilisés n'est pas toujours clair, c'est-à-dire que les exposés sous-entendent que la fiabilité d'une batterie comprenant un ou deux éléments est la même qu'une batterie comprenant de nombreux éléments placés en série.

2.4.1 Problèmes des éléments Ni/Cd

Comme on l'a mentionné précédemment, ce système a été breveté pour la première fois en 1899, et les batteries ont été fabriquées sous diverses formes depuis 1904. On a étudié les réactions chimiques de l'élément en détail, mais comme les réactions des batteries sont beaucoup plus compliquées qu'on pourrait s'y attendre, les réactions à l'anode comportent encore certaines inconnues (voir Bauer¹³ et Upton Thomas¹⁴).

À la lumière de l'histoire, de l'étude et du conservatisme apparent au sujet des améliorations, il est extrêmement difficile de déterminer les dates des solutions des problèmes, surtout d'un point de vue situé hors de l'industrie. Les dates reposent évidemment sur la motivation, le talent, le soutien moral, l'argent et les installations disponibles pour la recherche et le développement.

La possibilité de solution de certains problèmes constitue une approche plus tangible. Certains des problèmes sont étudiés ci-dessous.

2.4.1.1 Le séparateur

Le séparateur le plus courant est fait de nylon. Il doit agir dans un milieu oxydant, et à mesure que le nylon s'oxyde lentement, ses propriétés deviennent moins efficaces, surtout à haute température. Par exemple, à 100°C, un séparateur en nylon s'oxyde rapidement et accuse une défaillance au bout de trois semaines. Il faut donc remplacer le séparateur en nylon dans tous les éléments à haute fiabilité et non seulement dans les éléments à haute température.

Ni/Cd		Ni/H ₂		Ag/H ₂	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
<p>Longue durée et fiabilité. Fonctionne sur une grande plage de température, de -40 à -110° F. Rétention de charge >90% après 8 jours à une température de 20° C (voir la figure 1). Peut être entreposé dans n'importe quel état pour de longues périodes.</p>	<p>Aucun moyen sûr de connaître l'état de charge. Variation de la concentration de l'électrolyte: se dilue en état de charge et se concentre en état de décharge. Courant de surcharge limité. Courant de décharge excessive est un problème. Migration du cadmium peut être un problème. N'a pas une grande durée de cycle et grandeur de décharge élevée insatisfaisante.</p>	<p>La pression est un bon indicateur de l'état de charge. Peut se surcharger ou se décharger excessivement pour qu'elle ne dépasse pas la tolérance thermique. Capacité de cycle de longue durée prévue à 70% de GD. En théorie, l'élément et les électrodes fonctionnent selon une concentration électrolytique constante.</p>	<p>Pauvre rétention de charge: 50% après 8 jours à 20° C. Cathode doit être en platine. La capacité chute pour $T > Ni/Cd$. Déplacement de l'électrolyte est un problème. Pression d'hydrogène ~30 atm augmente les risques de fuites et peut donner lieu à des problèmes de corrosion sous contraintes. Plus dangereux que Ni/Cd s'il est mal manipulé.</p>	<p>Densité d'énergie élevée. Possibilité de longue durée pour des décharges prononcées. Peut surcharger et décharger excessivement. Signal discret de fin de tension de charge. N'est pas sujet à une décharge naturelle rapide. Densité de puissance élevée (1 500 watts par lb sur de courtes périodes).</p>	<p>Les électrodes d'argent posent des problèmes. Deux paliers de tension pour la charge et la décharge. De légères variations dans la dimension des électrodes et dans la concentration électrolytique pourraient causer des problèmes. La croissance d'arborisations peut être un problème. Fonctionne sous pression. Durée de cycle < que celle du Ni/Cd.</p>

Figure 3. Principaux avantages et inconvénients des batteries Ni/Cd, Ni/H₂ et Ag/H₂

Batterie	Type	Wh/lb	Wh/cc	Coût \$/kWh	Volts à la décharge	Cycles de vie	Commentaires	
Nickel	Cadmium	15–25	.11→.22	~150	1.2	jusqu'à 50 000	Plage de température de -40 à 110°F; longue durée	
Argent	Zinc	45–60	.29→.54	900	1.5	jusqu'à 300	Changement de forme de Zn au cours du cycle et perte de capacité. Pauvre durée de conservation une fois activée.	
Nickel	Fer	10–15	.055→.085	400	1.25	3 000	Encombrant, robuste.	
Nickel	Hydrogène	25–30	.06	~1 500	1.25	1 540 65% GD	10K 28% GD	Pression interne jusqu'à 35 atm. Pression de ~4 atm avec absorbeur LaNi ₅ .
Argent	Hydrogène	30–60 (200 en théorie)	.06	~800	1.12	~1 000	Durée inférieure à celle de Ni/H ₂ (Dunlop)	
Lithium	Soufre	~150	.4		~1.5		Electrolyte à température élevée, ~400°C. Applications sur grande échelle.	
Sodium	Soufre	~50	.02		~2.5		Fonctionne à ~300°C	
Argent	Cadmium	22–34			~1.1	~500	Propriétés réduites à température élevée. Employée dans les satellites parce qu'elle est antimagnétique.	
Plomb	Acide	5–16	.07	~40	2	2 000	-20°F à 100°F, économique, haute tension par élément.	
Primaires								
Oxyde de mercure	Zinc	45	0.2	\$130	1.35		Tension uniforme à la décharge. À 0°F capacité nulle.	
Carbone	Zinc	25–35	~.12	\$50	1.5		5% de capacité à 20°F et 0% de capacité à -20°F	
Lithium	Carbone	100–250	~.4	~\$500	2.8		Peut exploser s'il y a court-circuit. Fonctionne entre -60°F et 130°F.	
Zinc	Air	60	.18	~\$20	1.25		Plage de température varie entre -4°F et 130°F	

Figure 4. Caractéristiques des principaux types de batterie primaires et secondaires

L'emploi de polypropylène est une solution possible; son utilisation dans les batteries de satellites de longue durée a été expérimentée pour la première fois par le CRDO, mais elle n'est pas encore acceptée de façon générale. Certains croient que les inconvénients du polypropylène, par exemple un mauvais mouillage, l'emportent sur l'avantage que constitue son inactivité relative par rapport à celle du nylon. Font et Goulard⁵ de la SAFT*, par exemple, affirment que la diminution de rétention électrolytique avec l'usage (temps) est un inconvénient. Dans un article récent (août 1975) de Kinsey et Gordon¹⁵, l'assèchement possible des séparateurs en polypropylène est également considéré comme un problème. Les séparateurs en polypropylène ont tous subi une défaillance à 17 000 cycles au cours d'un essai dans lequel les séparateurs en nylon sont maintenant rendus à 33 000 cycles. Le problème principal réside dans le choix d'un bon agent mouillant pour les séparateurs en polypropylène. Les chercheurs du CRDO croient qu'ils procèdent de la bonne façon pour arriver à la solution du problème, mais il y a toujours le problème d'obtenir une acceptation généralisée des nouveaux séparateurs. Si certains doutent que l'approche empirique est prépondérante ou croient que le terme "sorcellerie" est déplacé, il convient de rappeler que quelques-uns des premiers séparateurs de batteries pour les satellites canadiens étaient faits de baleines pour cols de chemises et que certains séparateurs étaient fabriqués au moyen d'un ancien modèle d'essoreuse, de manière à satisfaire aux normes. Une étude assez courte (2 à 3 ans) des agents de mouillage et de leur stabilité dans le voisinage de l'élément permettrait de rétablir la situation. On pourrait alors appliquer les résultats aux systèmes Ni/Cd et Ni/H₂. Le CRDO pourrait se charger de cette étude.

2.4.1.2 Les électrodes

Les électrodes sont le coeur de l'élément, et c'est à ce niveau que résident les principaux problèmes. Le système est plus compliqué qu'on ne pourrait le supposer:

- a) Il s'agit d'un système à trois composantes: gas, liquide et solide;
- b) c'est un système chimique;
- c) les principales réactions sont réversibles;
- d) c'est un système électrochimique;
- e) les propriétés électrochimiques observées dépendent de la solution du matériau (cristal) et de sa régénération. Celles-ci ont lieu en fonction du temps, de la température, du gradient de concentration, des impuretés, du taux du courant, du gradient du champ et du potentiel des réactions;
- f) les plaques sont poreuses de manière à présenter une grande surface à l'électrolyte.

À partir de ces points, et du point e) en particulier, on peut voir pourquoi les taux de charge et de décharge, la grandeur de la décharge, le nombre de cycles, etc., sont si importants. Un simple énoncé des réactions qui se produisent ne suffit pas. Les processus qui ont lieu, essentiellement au niveau moléculaire, doivent être compris. Voilà pourquoi l'on doit recourir à l'emploi de techniques relativement nouvelles telles que la microanalyse par rayons X et la microscopie électronique à balayage, comme approche aux problèmes de "forme", par exemple, la dimension du matériau (cristal) des électrodes, sa forme, sa porosité et sa surface, les gradients d'impureté, les interfaces, etc. De plus, l'on doit se servir des mesures plus systématiques des potentiels des éléments, des chaleurs de réactions et de polarigraphie, afin d'étudier les propriétés électrochimiques et leur dépendance par rapport à ces facteurs de "forme".

Le rassemblement et la compréhension de ces connaissances sont essentiels à une véritable compréhension de la fiabilité des éléments, à la prédiction de la durée de vie et pour augmenter le rendement des batteries

* *Société des Accumulateurs Fixes et de Traction*

fabriquées selon une norme (rendement qui n'était que de ~ 10% environ, il y a quelques années). Certaines batteries Ni/Cd ont subi 50 000 cycles avec succès, et l'auteur croit que cette valeur devrait être la règle plutôt que l'exception pour un grand nombre de taux de charge et de décharge, de grandeur de décharge, etc.

2.4.1.3 Etudes supplémentaires sur les électrodes

La nature des processus qui dépendent du temps oblige n'importe quelle étude à se prolonger au-delà de trois ans.

La nature complexe des études et l'équipement nécessaire à celles-ci exigent un effort de recherches poussé d'au moins trois professionnels en plus des techniciens, lesquels doivent pouvoir profiter d'un soutien moral et financier solide.

L'existence d'un tel groupe se justifie en ce qu'il peut être utile à une variété de programmes, par exemple, ceux ayant trait aux satellites, aux aéronefs, aux navires, aux applications dans les régions septentrionales, et peut donner le coup d'envoi à une entreprise commerciale canadienne se spécialisant dans la fabrication de batteries Ni/Cd fiables nécessaires à ces programmes.

2.4.1.4 Circuits de protection et de limitation de charge

Ces circuits ne présentent aucun problème. Il faudra peut-être modifier les techniques actuelles de manière à prolonger au maximum la durée des batteries à mesure que l'on acquiert plus de connaissances au sujet des processus détaillés de charge et de décharge. Il faudrait effectuer des études à court terme (d'une durée allant jusqu'à 1 an) pour éprouver l'efficacité des nouveaux circuits.

2.4.1.5 L'électrolyte

Le KOH est un électrolyte puissant dont le comportement ne pose presque pas de problèmes. Il possède une faible résistance pour des concentrations voisines du point eutectique, de sorte qu'il peut agir à basse température. La solubilité de l'oxygène dans la concentration de KOH utilisée est assez satisfaisante. Les principaux problèmes sont plutôt les impuretés et la migration d'un corps actif dans l'électrolyte (Cd).

La présence de carbonate dans l'électrolyte ou sur les plaques réduit la tension de décharge, élève la tension de charge, diminue l'acceptation de charge, augmente la pression de l'élément à la surcharge et diminue la durée du cycle⁸.

Il y a formation de carbonate de potassium lorsque l'électrolyte d'hydroxyde de potassium est exposé à de l'air contenant du bioxyde de carbone. L'inclusion de pièces d'espacement organiques oxydables, etc., à l'intérieur de l'élément peut également donner lieu à la production d'un ion carbonate. Dans le passé, une connaissance superficielle de ces réactions s'est traduit par un montage négligent des batteries, et des considérations financières donnent lieu à une approche insouciant de nombreux cas aujourd'hui. Pour le STT, l'on a prescrit une concentration de carbonate de potassium inférieure à 4%.

2.4.1.6 Les soudures et les joints d'isolation

Les joints ne posent aucun problème véritable; il s'agit d'augmenter la fiabilité du joint au moyen de meilleures techniques d'assemblage. La SAFT, en France, a un contrat du gouvernement français pour l'étude des joints de batteries. La Fondation de recherches de l'Ontario (FRO) est à contrat depuis quatre ans et est en quête de fonds supplémentaires qui pourraient lui permettre de terminer ses études*. La FRO pourrait jouer un rôle essentiel comme conseiller en ce qui touche les joints, auprès de toute entreprise commerciale canadienne à l'avenir.

* Voir la proposition P-1947-G de la FRD au CRDO, Ottawa, 1^{er} mars 1975.

La grande majorité des soudures effectuées sur les éléments sont satisfaisantes, mais de temps à autre, il peut se produire des erreurs dans les techniques de soudage utilisées. Pour vérifier la fiabilité, la meilleure approche du MDC, en tant qu'utilisateur, serait de vérifier les joints des éléments qui sont livrés. L'on ne sait encore de quelle façon cela pourrait se faire, mais les membres du Groupe de vérification de la fiabilité doivent tenir compte de ce problème.

2.4.2 Problèmes de l'élément Ni/H₂

Les problèmes qui attendent le concepteur d'un élément Ni/H₂ fiable sont essentiellement les mêmes que ceux des éléments Ni/Cd, à quelques modifications près.

- a) Comme on l'a mentionné, la rétention de charge est pauvre en comparaison avec le système Ni/Cd. Non seulement cela signifie un manque d'énergie lorsqu'on en a besoin à une période ultérieure, mais cela se traduit aussi par une charge continue sur la batterie pour laquelle il faut prévoir une capacité de production supplémentaire. L'entretien de la batterie à 0°C réduirait de beaucoup cette perte — voir la figure 2.
- b) On a remarqué qu'il y a une augmentation par rapport au temps de la pression interne de l'élément. Une recherche⁹ récente propose d'utiliser des électrodes de nickel frittées et imprégnées électrochimiquement pour éviter ce problème.
- c) L'électrolyte migre apparemment dans un environnement où "g" est égal à zéro, et jusqu'à présent, l'on ne peut remédier à cette situation. Les gradients de température dans l'élément devraient compenser ce problème.
- d) Les joints d'isolation: le système Ni/H₂ est sous pression, et les joints doivent être plus étanches aux fuites que ceux du Ni/Cd. On ne possède aucune donnée de fiabilité en ce qui a trait aux effets de la corrosion sous contrainte des joints.
- e) Le contenant et les soudures de la batterie: on doit disposer d'un contenant capable de résister à .35 atm et doté d'un facteur de sécurité. La corrosion sous contrainte et la fragilisation causées par l'hydrogène peuvent présenter un problème. Il faut trouver un moyen de vérifier l'intégrité du soudage après l'assemblage et la livraison au client. L'Inconel 718, l'Inconel 625 et des alliages de titane ont été employés pour le contenant de la batterie.
- f) L'électrode d'hydrogène peut être sujette à des défaillances en raison d'un dégagement de gaz au cours de la charge.
- g) La SAFT considère un gonflement de l'anode comme étant la limitation principale du système.
- h) Fonctionnement à basse température: une limitation semble être la polarisation élevée à la décharge, tandis que dans le cas de l'élément Ni/Cd, la limitation est la mauvaise acceptation de charge de la cathode à basse température.
- i) Font⁵ et Giner¹⁶ ont relevé une diminution de la rétention électrolytique des séparateurs en polypropylène au cours des essais. Ce phénomène est sans doute causé par une diminution du mouillage du polypropylène, un problème que le CRDO croit avoir partiellement résolu.
- j) Des pressions internes élevées (.. 1 000 lb/po²) et de hautes températures (400°C et plus dans des endroits localisés) peuvent se produire si l'élément est court-circuité.

Bien qu'en théorie les éléments Ni/H₂ ont une durée de cycle supérieure jumelée à des grandeurs de décharge élevées par rapport aux éléments Ni/Cd, il faut pouvoir le confirmer dans la pratique. Ainsi, il y a une perte relativement grave et rapide de la charge par rapport au temps. Tandis que la solution des problèmes se

rapportant aux joints et au contenant n'est qu'une question de temps et d'efforts, le problème de rémanence de charge est un phénomène inconnu dans le moment et peut être plus insaisissable. D'autre part, ce phénomène peut s'avérer simple: dans le cas des éléments Ni/Cd, on a découvert une mauvaise rémanence de charge grâce à la présence d'un ion nitrate dans l'électrolyte.

2.4.2.1 Circuits de commande électriques

Il ne présentent aucun problème. Patterson⁹ a conclu que le système Ni/H₂ peut être employé dans des modèles de circuits d'alimentation électrique existants et qu'il n'entraîne que des changements mineurs.

2.5 DEGRÉ DE FIABILITÉ

Le degré de fiabilité constitue une des principales préoccupations lors de l'achat de composants de haute fiabilité d'un petit fabricant. Jusqu'à quel point cette préoccupation se justifie-t-elle?

Si les articles en question sont de conception simple et que leur mode de fonctionnement est bien compris, une équipe spéciale pourrait fabriquer des dispositifs très fiables selon un coefficient de fiabilité élevé. Les amplificateurs de câbles sous-marins en sont un exemple. De longs antécédents de fiabilité pour de tels articles sont des renseignements supplémentaires, mais ne sont pas essentiels.

Par contre, si l'on ne comprend pas entièrement le mode de fonctionnement de ces articles, l'on doit combler ce manque de compréhension par la connaissance du degré de fiabilité des composants.

À la lumière des problèmes des systèmes Ni/Cd et Ni/H₂ dont on vient de parler, l'auteur considère que les batteries constituent un cas limite et qu'elles appartiennent sans doute au second groupe mentionné précédemment. Les chercheurs du CRDO croient plutôt qu'elles appartiennent au premier groupe, et qu'une équipe spéciale bien dirigée pourrait fabriquer des batteries de haute fiabilité pour les satellites.

2.6 Ni/Cd OU Ni/H₂

Comme on l'a indiqué à la section 2.1, on n'a jusqu'à présent aucune raison précise d'abandonner l'élément Ni/Cd en faveur d'un autre système. Mais quel système employer et quand l'employer? Cela dépend de nombreux facteurs. Pour aider au choix, la figure 5 représente un arbre de décision.

Si le poids est un facteur prépondérant, il ne faut pas oublier que l'économie de poids repose sur la capacité de la batterie. En raison du lourd contenant nécessaire aux éléments Ni/H₂, les éléments plus petits sont relativement lourds. Pour le moment, les batteries Ni/H₂ sont d'un poids intéressant si la capacité est supérieure à ~35 Ah. Le STT à 10 Ah est bien inférieur à cette valeur. Bien que le poids des batteries du SST ne dépasse pas 2.2% du poids total du satellite et qu'une économie de 1% soit possible en utilisant les éléments Ni/H₂, l'auteur ne croit pas que cette économie compense la diminution de fiabilité qu'elle entraîne. À mesure que l'on améliore les éléments Ni/H₂, la situation va changer, et il faudra tenir compte d'autres critères.

Si les éléments Ni/H₂ sont employés jusqu'à un certain point comme principales sources d'énergie, le Canada ne souhaiterait-il pas devenir un des chefs de file dans ce domaine? Le Canada pourrait se lancer dans des entreprises plus profitables plutôt que de faire oeuvre de pionnier dans l'emploi des éléments Ni/H₂ dans l'espace, et à moins d'une excellente raison, il devrait s'en tenir aux éléments Ni/Cd jusqu'à ce que les batteries Ni/H₂ aient fait leur preuve dans l'espace. Cette raison pourrait être la mise au point d'une batterie Ni/H₂ améliorée au Canada et la nécessité de démontrer sa fiabilité dans l'espace. Mais aucune raison ne s'est encore présentée et, comme il n'existe pas d'industrie nationale de batteries Ni/Cd, il n'est guère probable qu'il en surgisse une dans les prochaines années.

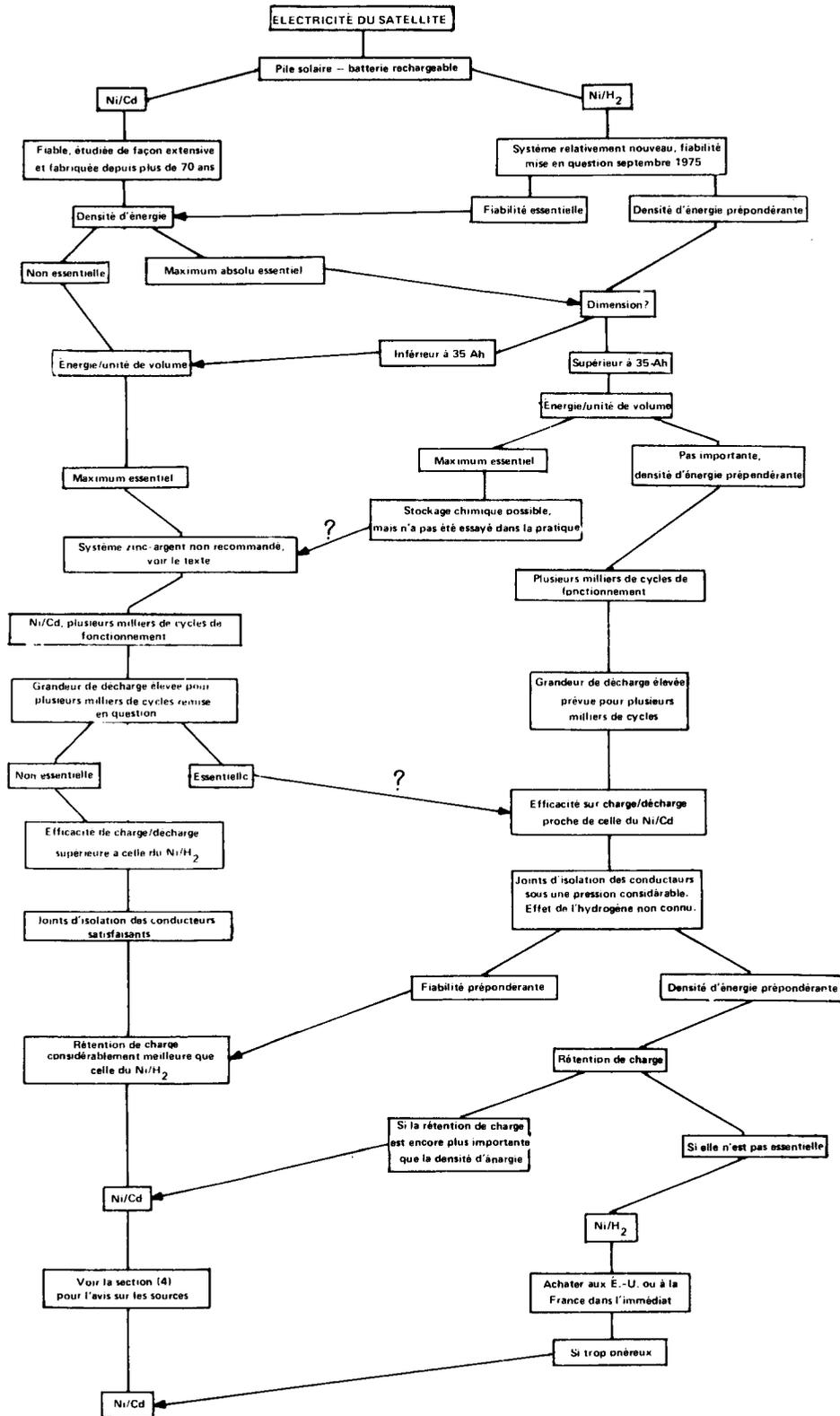


Figure 5. Arbre de décision pour aider à choisir des batteries Ni/Cd ou Ni/H₂ pour une application particulière aux satellites

En dépit du commentaire précédent sur les problèmes, le système de batterie Ni/Cd est réputé pour sa durée de vie et sa fiabilité par rapport aux autres systèmes. Pour améliorer le rendement actuel, il est indispensable de recourir à de nouvelles méthodes et à appliquer de nouvelles disciplines.

Il est intéressant de signaler ici les observations du Dr. T. King selon lesquelles les éléments en Ag/S et Mg/AgCl (pour torpilles) sont assemblés en "chambre blanche", contrairement aux éléments des satellites. En général, les éléments des satellites étaient des adaptations d'éléments commerciaux. La NASA a mis au point une norme de fiabilité élevée pour les batteries spatiales et les critères de conception sont encore en cours d'évaluation.

3. LA POSITION CANADIENNE ACTUELLE

3.1 L'INDUSTRIE

Il y a trente-trois entreprises de fabrication de batteries au Canada, mais seulement quatre d'entre elles sont canadiennes. La plupart fabriquent des batteries à l'acide et au plomb, et une seule (SAFT) se spécialise dans la fabrication des batteries nickel-cadmium.

Vers la fin des années 60, une tentative pour établir une usine de batteries nickel-cadmium au Canada, chez Gulton Industries à Gananoque a échoué. L'on croit savoir que la Electric Storage Battery Company (ESB) a une usine Ni/Cd sur les tablettes aux États-Unis et qu'il serait possible de l'établir au Canada moyennant une stimulation appropriée. Il convient de noter que ESB est présentement une filiale de l'International Nickel Company of Canada. L'industrie des batteries est sous la coupe de grandes multinationales, et aucun effort en R&D sur les batteries nickel-cadmium ne se fait dans l'industrie canadienne. En 1973, les importations de batteries nickel-cadmium se chiffraient à $\approx 3.1 \times 10^6$. On peut obtenir de plus amples renseignements en lisant les rapports du MIC par K. Munro¹⁶ et G.F. Carter¹⁷.

3.2 LA FONDATION DE RECHERCHES DE L'ONTARIO

La FRO a effectué des études sur les joints verre-céramique-métal pour les batteries Ni/Cd pendant quatre ans environ. Ces études étaient financées par le Conseil de recherches pour la défense Ottawa (CRDO) et par le Centre de recherches sur les communications (CRC). Les chercheurs ont étudié les mécanismes de défaillance et ont mis au point des joints améliorés pour les systèmes de batteries Ni/Cd. Ces recherches sont directement reliées aux batteries Ni/Cd pour satellites.

3.3 LE CONSEIL DE RECHERCHES POUR LA DÉFENSE OTTAWA

La division des sources d'énergie électrique (DSEE) du CRDO est de loin le plus important groupe de recherches sur les batteries au Canada.

La DSEE du CRDO est chargée de la recherche sur tous les types de batteries, de piles combustibles et d'autres dispositifs électromécaniques. Elle s'est surtout intéressée aux batteries à haut rendement spécialisées qui peuvent fonctionner dans les milieux spatial et militaire rigoureux, comportant de basses températures, un fonctionnement de longue durée sous l'eau, etc. Les batteries pour les avions, les satellites, les torpilles, les bouées acoustiques, les radio-balises et les systèmes de communication en sont des exemples concrets. La Division entretient des rapports fructueux avec l'industrie canadienne des batteries qui profite énormément des recherches du CRDO (tiré de "Le Conseil de recherches pour la défense – les 25 premières années").

Ses objectifs généraux, tels une plus grande densité d'énergie, une densité de puissance supérieure, et surtout des études sur les problèmes thermiques, ceux de la charge des plaques, les séparateurs et les joints

isolants des batteries Ni/Cd, sont directement orientés vers les exigences du CRC pour les batteries de satellites. Aussi convient-il de mentionner ses objectifs et moyens contenus dans le projet "Études d'optimisation des batteries de satellites pour le MDC".

Objectifs

Fournir continuellement au Centre de recherches sur les communications du Ministère des communications les meilleurs renseignements disponibles sur les batteries pour satellites.

Moyens

1. Évaluer les prototypes d'éléments de satellites de divers fabricants pour les applications du STT.
2. Agir comme expert-conseil au sujet de l'étude du CRC-FRO sur les joints verre-céramique-métal.
3. Mener des études d'optimisation sur les séparateurs, les plaques et les techniques de charge.
4. Fournir des services de consultation au CRC, s'il y a lieu.
5. Mener des essais d'évaluation et choisir les éléments destinés aux prototypes et aux maquettes de vol des satellites.
6. Évaluer les résultats du rendement des batteries de satellites au cours des essais au sol et recommander les changements à apporter au plan directeur des batteries ainsi que déterminer si les batteries conviennent pour le vol.
7. Donner des conseils sur le conditionnement des batteries et y participer activement avant le lancement.
8. Analyser les données télémétriques sur les batteries après le lancement et donner des conseils en vue d'assurer un rendement optimal des batteries.

Le succès que le CRDO a obtenu dans la conception, l'étude et l'approvisionnement, etc., des batteries employées sur les satellites canadiens (par exemple, la longévité des batteries du satellite Alouette), est considéré comme une réalisation remarquable des chercheurs travaillant dans le domaine des sources d'énergie.

D'une part, il y a le fait que le Canada possède un secteur secondaire insuffisant, mais il existe un groupe gouvernemental qui peut fournir la stimulation nécessaire, bien qu'il éprouve des difficultés à conserver ses appuis.

A cause d'un manque de fonds, 1975 a été la première année où le Canada n'a pas envoyé de délégués du CRDO au Goddard Space Flight Centre Battery Symposium, en novembre.

4. SOURCES ET POLITIQUE SUR LES BATTERIES DE SATELLITES

4.1 ANTÉCÉDENTS DE LA POLITIQUE

4.1.1 Renseignements nécessaires

Il y a lieu de croire que la politique concernant les batteries de satellites doit graviter autour de deux questions principales:

- a) S'assurer que le Canada obtient des batteries fiables pour ses satellites;

- b) S'assurer que l'industrie canadienne profite de toutes les retombées technologiques possibles à la suite de leur utilisation à bord des satellites.

On a déjà étudié les constituants chimiques ainsi que les problèmes connexes des batteries. Puis on a comparé les deux principales batteries. Cette partie du travail a été basée en fait sur une réalité future, et il est à espérer qu'elle aura une certaine relation avec celle-ci. De même pour la politique, elle doit reposer sur de solides lignes directrices pour être réaliste.

Cependant, il n'y a pas eu de solides lignes directrices, au sens où l'auteur les entend. Il est donc nécessaire de trouver des réponses aux questions suivantes:

1. Va-t-il y avoir un programme de construction de satellites au Canada?
2. Combien de satellites seront construits chaque année?
3. Le Canada pourra-t-il déterminer les caractéristiques détaillées des batteries ou même la source de celles-ci?
4. Le MDC s'engagera-t-il au point d'apporter une contribution importante à la source des batteries, à leurs caractéristiques et au programme d'essais?
5. Si l'on achète un satellite, les batteries seront-elles comprises?
6. Quelle est l'attitude du MDC sur la recherche par rapport aux contrats de matériel à un coût minimal?
7. De combien d'argent dispose-t-on?
8. Que faut-il entendre par retombées technologiques?

4.1.2 Retombées technologiques

Le présent rapport traite principalement des batteries, mais les "retombées technologiques" constituent également une question de première importance. A diverses époques, les retombées technologiques se sont traduites par de l'emploi, de la production ou des investissements pour l'avenir. L'engagement dans le programme spatial doit fournir au Canada des avantages pratiques et tangibles.

On s'inquiète du fait que le programme spatial ne produit pas suffisamment de retombées technologiques. Si une attitude bornée limite les dépenses au strict minimum, on crée une situation dans laquelle on ne paie qu'un coût minimum pour les connaissances et les installations qui sont acquises au détriment de quelqu'un d'autre. Une telle attitude se justifie du point de vue financier, mais ne présente aucun investissement pour l'avenir. Au cours de l'ère des satellites, il y a deux expériences qui illustrent assez bien ce point de vue.

La durée des batteries du satellite Alouette a été remarquable. Le CRC s'enorgueillit avec raison de la durée exceptionnelle de ces satellites, mais il ne faut pas oublier que sans le dévouement et l'intérêt des gens qui ont constitué l'équipe CRDO chargée des batteries avant l'époque des satellites, un tel exploit n'aurait pas été possible. Le CRC (ERTD) a eu la chance d'accéder à cette source de renseignements qui s'est avérée extrêmement rentable; les conseils des experts se sont traduits par une augmentation à de nombreux points de vue de la durée des batteries et a permis une exploitation beaucoup plus grande d'un satellite bien construit.

D'autre part, avec le STT, on sait qu'une certaine recherche devait être menée comme faisant partie d'un contrat de vérification des batteries, de concert avec le CRDO. Les questions qui se posent maintenant sont: quelle recherche applicable au STT a réellement été faite? Croit-on maintenant que le contrat aurait dû être octroyé sans contenir une clause de recherche, c'est-à-dire, sans "retombées technologiques".

La recherche constitue une des formes les plus précieuses des retombées technologiques, puisqu'elle est un investissement pour l'avenir. Une proportion constante des grands programmes technologiques devrait être prévue pour la recherche, de manière à constituer un autre moyen destiné à assurer des avantages plus durables et un investissement dans l'industrie canadienne, etc.

En premier lieu, des retombées technologiques dues à l'industrie canadienne ne se produiront que si la fabrication des batteries a lieu au Canada.

4.1.3 Un peu d'économie

Les batteries de satellites sont des articles de luxe. L'on peut donc se demander avec raison: "Pour quelles raisons la fabrication des batteries de satellites est-elle une entreprise à perte et se poursuit-elle pour le prestigage seulement?" C'est la question que se sont posée des gens proches de la scène du STT et les fonctionnaires du MIC (voir aussi la note de service de E.J. Casey du 26 mars 1975, p. 2, paragraphe 5). Il est évidemment difficile de fournir des chiffres concrets pour soutenir cet état de choses; voilà pourquoi l'on a adopté une autre perspective.

Supposons qu'un satellite canadien soit lancé tous les deux ans, et que les batteries proviennent d'une entreprise canadienne. A titre d'exemple, considérons que le coût des batteries du STT est de \$58 000 et admettons un profit de 20%, c'est-à-dire, environ \$12 000. La production de batteries très fiables nécessiterait, selon un minimum absolu, deux experts et trois techniciens expérimentés. Leurs salaires seraient d'environ (2 x \$25 000 – 3 x \$15 000) ou \$95 000 par année, sans tenir compte des frais généraux de l'équipement, etc. Le mémoire du CRDO du 6 février 1975, estimait de plus que le programme de recherche coûtait entre \$13 000 et \$300 000 par an. On n'a pas besoin de continuer ni de fournir des chiffres plus précis pour voir qu'un "profit" inférieur à \$6 000 par année ne va pas soutenir une entreprise de fabrication, même si nous supposons que les ventes de batteries sont décuplées.

4.2 OPTIONS

4.2.1 Le "statu quo"

S'il ne devait plus y avoir de programme de satellites "construits au Canada" à l'avenir, ou si, au Canada, nous n'avons plus voix au chapitre en ce qui a trait à la conception et au choix des batteries pour les satellites canadiens, il est alors difficile de justifier tout appui pour la recherche sur les batteries de satellites. On obtiendrait les connaissances au besoin du CRDO, par exemple, ou des É.-U. Si le MDC ou d'autres adoptaient cette perspective, le CRDO et la DSEE n'auraient plus aucune raison d'exister, en raison d'un manque de soutien continu. Les conseils viendraient alors des É.-U., ce qui n'entraînerait guère de retombées technologiques au Canada.

4.2.2 Une usine de batteries de satellites canadienne

Il y a deux objectifs principaux pour cette usine:

- a) Assurer la fourniture de batteries spatiales pour le futur programme de satellites canadien, et
- b) Réaliser certaines retombées technologiques attribuables aux batteries au Canada, ce qui signifie aux yeux de l'auteur des emplois dans une industrie viable (rentable).

Dans le cas d'une optique plus étroite, le cas a), si le MDC ne considère que les entreprises étroitement reliées aux besoins des communications (satellites?), la situation se présente comme suit: une entreprise établie uniquement pour fabriquer des batteries de satellites et financée par le gouvernement.

L'établissement d'une telle entreprise spécialisée au Canada comporterait des avantages:

- a) Il est à espérer que l'usine pourrait répondre à nos besoins, donner suite à nos idées et s'efforcer de satisfaire à nos exigences du mieux qu'elle le pourrait.
- b) Si l'usine est située dans l'Est du Canada, on doit améliorer de beaucoup les moyens de liaison et de contrôle de la qualité par rapport à la situation (STT) actuelle.
- c) Un facteur positif, plutôt qu'un avantage, semble être le désir maintes fois formulé de membres de la NASA d'avoir la chance d'établir une société de la Couronne pour la fabrication des batteries (Dr. T. King).

Cependant, il y a plusieurs désavantages:

- a) Le fabricant canadien proposé ne disposerait d'aucun dossier de fiabilité.
- b) Le marché canadien est extrêmement limité, et l'on ne peut espérer vendre de nombreuses batteries de satellites hors du Canada. L'annulation du programme signifie la perte d'une expérience précieuse, bien que spécialisée et d'un investissement public considérable.
- c) Comme on l'a mentionné auparavant, la fabrication de batteries de satellites en elle-même est une entreprise non rentable et reviendrait cher aux contribuables, si l'on considère le manque de retombées technologiques dans d'autres domaines.

Si l'on décide tout de même de poursuivre le programme, il faut pouvoir répondre aux questions suivantes:

- a) Combien sommes-nous prêts à payer pour établir et maintenir un fournisseur de batteries "adapté" au Canada et qui seulement "pourrait" fabriquer des batteries à haute fiabilité?
- b) Combien souhaitons-nous payer pour entretenir une expérience industrielle au Canada?
- c) Combien souhaitons-nous payer par personne pour créer des emplois au Canada plutôt que de payer des prestations d'assurance-chômage? Le nombre d'emplois créés serait minime.

Comme il a été établi en 4.1.3, la dimension minimale du groupe qui pourrait être établi coûterait, avec les frais généraux, ..\$250 000 par année.

A l'heure actuelle, il y a accord pour que les connaissances soient maintenues au niveau du gouvernement (CRDO), où l'on croit qu'elles pourront servir au plus grand nombre possible d'entreprises. La sphère d'influence des connaissances maintenues au niveau de l'industrie n'est certainement pas plus grande.

En résumé, l'établissement d'un fabricant de batteries de satellites seulement ne serait pas ce qu'il y a de plus rentable, mais se justifierait essentiellement pour des raisons politiques.

4.2.3 Entreprise de fabrication de batteries rechargeables commerciales au Canada comprenant une section R&D pouvant fournir des batteries de satellites

Le fonctionnement d'une section R&D au sein d'une telle entreprise coûterait au contribuable une part substantielle de ce qui a été déterminé dans le cas précédent (4.2.2). Dans ce cas, l'entreprise et d'autres ministères, comme le MIC, se partageraient les frais généraux et les coûts d'équipement. Des chercheurs commandités par l'entreprise viendraient renforcer le noyau minimal proposé en 4.1.3. Toutefois, tous les résultats de la recherche effectuée se réaliseraient au stade d'une fabrication canadienne rentable qui emploierait de nombreuses personnes, environ une personne par \$50 000 de ventes (voir le paragraphe 4.2.3.4 et le renvoi 18).

On suppose que la batterie Ni/Cd pourrait être exploitée sur le plan commercial. Il faudrait effectuer beaucoup de R&D sur le système Ni/H₂ avant que celui-ci puisse être mis sur le marché. Mis à part cette considération, le coût élevé, les dangers que présente une pression élevée à l'intérieur de l'élément et la nature explosive de l'hydrogène s'il venait à y avoir des fuites ne favorisent pas son utilisation à l'échelle commerciale. Une batterie à l'acide et au plomb étanche a récemment fait son apparition et elle pourrait concurrencer sérieusement la batterie Ni/Cd pour une utilisation générale et commerciale.

4.2.3.1 Le marché

Le marché des batteries rechargeables croît rapidement. On trouve des batteries nickel-cadmium dans l'équipement aéronautique, scientifique, médical et celui des communications, les outils électriques, les appareils ménagers, l'éclairage de secours, les jouets, les magnétophones, etc. Pour l'avenir, il est possible de les utiliser sur une grande échelle pour alimenter les émetteurs et les récepteurs des systèmes de fibres optiques et les postes de communications du personnel mobile. Dans le moment, le marché commercial canadien a un surplus de $\$3 \times 10^6$. Le marché des batteries Ni/Cd américain est de $\$60 \times 10^6$. Le marché aérospatial, militaire, etc., du gouvernement américain est de $\$200 \times 10^6$. L'ensemble du marché canadien des batteries est de $\$100 \times 10^6$ par année contre $\$1.5 \times 10^9$ pour les États-Unis.

Il y a sans doute à peine suffisamment de place dans le marché canadien pour une entreprise industrielle canadienne, mais ses produits doivent alors être suffisamment différents et spécialisés pour prendre une avance au moyen de laquelle on pourra créer un marché d'exportations. Le marché n'est pas suffisamment grand pour permettre à une compagnie de consacrer assez de fonds à la recherche et au développement; le financement et le sujet des recherches doivent provenir du gouvernement.

Si une société multinationale était engagée dans le programme, on devrait alors envisager la possibilité d'une organisation rationnelle des produits entre les États-Unis et le Canada, ou entre la France et le Canada.

Le MDC/CRC considère la fiabilité comme étant un facteur très important et il possède un excellent groupe de vérification de la fiabilité. Le CRDO possède une vaste expérience dans la conception de batteries à fiabilité élevée pour les satellites et les utilisations à basse température. L'effort industriel canadien doit suivre et se bâtir une réputation dans les domaines des batteries à haute fiabilité et celles utilisables à basses températures ayant des applications dans des secteurs tels que le stockage des données, l'aérospatiale, la médecine, les communications à grande distance, le militaire, le nucléaire, les indicateurs de lieu d'écrasement, l'utilisation commerciale à basses températures, l'éclairage de secours, etc. C'est dans ces domaines que l'expérience canadienne dans la conception des batteries de satellites à haute fiabilité et des batteries fonctionnant à basses températures pourrait être le mieux mise à profit. Un certain nombre de dimensions et de formes de batteries seraient nécessaires pour recouper de tels marchés. Par conséquent, une extension logique du programme serait de desservir le marché des batteries spéciales. Ainsi, l'on pourrait obtenir des retombées technologiques et créer des emplois au Canada, et si l'on considère la scène commerciale dans son ensemble, il serait possible de retirer des avantages précieux et rentables des retombées technologiques. Il ne s'agirait pas d'établir simplement une autre industrie du secteur secondaire, mais plutôt une industrie fondée sur nos matières premières, comme le nickel et le cadmium, ce qui "valoriserait" notre degré de fiabilité ainsi que l'expérience acquise dans les batteries fonctionnant à basses températures.

4.2.3.2 La mise en marché

Si l'on crée une usine de fabrication de batteries nickel-cadmium canadienne, il faut pouvoir mener à bien la mise en marché, du début jusqu'à la fin.

Une étude de marché serait nécessaire, surtout par rapport au défi que pose le système au plomb et à l'acide étanche. Si le MDC/CRDO est sérieusement intéressé, il est entendu que le MIC s'occuperait d'effectuer l'étude de marché. Il faut faire appel aux directions des tarifs, de la douane et de l'accise du gouvernement fédéral dès le début ainsi qu'aux spécialistes de la mise en marché pour assurer que l'entreprise créée puisse vivre et grandir. Ce type de collaboration entre le gouvernement, l'industrie et les spécialistes de la mise en marché a grandement aidé le Japon à maintenir avec succès un bon rapport exportations/importations. Pourquoi pas au Canada?

4.2.3.3 L'apport de l'industrie dans une telle entreprise

Les participants probables sont mentionnés dans une note de service du Dr. E. Casey¹⁹. Le choix doit se faire entre:

- i) Créer une usine de batteries Ni/Cd et s'assurer la participation de Mallory du Canada qui possède déjà un groupe de recherche compétent.
- ii) Créer une usine de batteries Ni/Cd de la ESB au Canada à partir du projet d'usine existant en réserve aux États-Unis.
- iii) Rouvrir l'usine de Gulton Industries à Gananoque. Puisque la SAFT administre maintenant Gulton Industries et qu'elle possède une usine de montage de batteries Ni/Cd à Toronto, il est possible qu'elle songe à fabriquer au Canada.
- iv) Établir une entreprise de batteries complètement nouvelle. Cependant, l'un des trois premiers choix offrirait de plus grandes chances de succès.

À l'heure actuelle, il semble que la création d'une usine de batteries Ni/Cd au Canada sans une participation du CRDO, est peu réaliste.

4.2.3.4 Investissement par emploi créé

Toute tentative pour obtenir une valeur moyenne sur l'investissement par emploi créé s'est avérée sans succès. Monsieur D. Quarterman, directeur de la planification et de l'analyse, à l'Industrie et Commerce, affirme qu'aucune valeur moyenne n'a été calculée pour l'industrie de l'électronique et a fait remarquer que l'on pouvait commencer en n'ayant que peu de capital investi, c'est-à-dire, par la location. À l'autre extrémité de l'échelle se trouve le génie électrique lourd, comme la fabrication de génératrices, qui possède un assez gros investissement en capital par emploi créé. Une usine de batteries rentable se situerait au milieu de ces extrêmes et ne serait pas déraisonnable de ce point de vue. La quantité d'investissement nécessaire reposerait sur l'équipement nécessaire pour remplir des fonctions de fabrication individuelles selon un taux économique. Le Dr. I. Henderson du CRDO a étudié ce domaine il y a quelques années.

Dans un rapport¹⁸ de 1966 sur l'industrie canadienne des batteries, les ventes par employé et la valeur ajoutée par employé se chiffraient respectivement à \$25 000 et \$12 000.

4.2.3.5 Chances de réussite

La demande pour les batteries secondaires allant croissant, il serait possible de fabriquer des batteries pour les applications à haute fiabilité et des batteries fonctionnant à basses températures. La mise en marché constitue le principal problème: la demande, la détermination des prix, la protection tarifaire et par-dessus tout, l'attitude des multinationales de la batterie.

4.2.3.6 Les brevets

Les brevets de base ont été enregistrés en 1899, 1900 et 1901, et ne doivent plus poser de problème maintenant. Le CRDO a déjà mis au point pour la première fois et a présenté des séparateurs de batteries supérieurs, tandis que le FRO a conçu des joints supérieurs qui peuvent être fabriqués par une firme canadienne. Les moyens spéciaux utilisés dans la préparation et le traitement des électrodes ne sont pas encore brevetés.

4.2.3.7 Opportunité du moment

Si la firme qui est établie doit fabriquer des éléments de batteries pour satellites et si elle veut maîtriser les éléments Ni/H₂ d'ici 5 à 10 ans, il est alors important qu'elle soit lancée le plus tôt possible.

Même si l'on considère que le moment est mal choisi actuellement pour établir un fabricant de batteries Ni/Cd, il faut appuyer le CRDO pour s'assurer son expérience lorsqu'on aura besoin de conseils très utiles au sujet des éléments Ni/H₂, vers les années 1980–81.

4.3 ÉTUDES DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT

4.3.1 Rôle de la DSEE du CRDO

Les gestionnaires de tout programme de satellites doivent avoir accès aux connaissances acquises dans les batteries, afin de faciliter le processus de la prise des décisions. Cela vaut autant pour le gouvernement que pour l'industrie et pour le fournisseur de batteries, qu'il soit canadien ou étranger.

Le Canada ne se servira probablement pas des réserves d'alimentation principale des satellites par Ni/H₂ avant 1985, en raison des difficultés éprouvées dans le moment, des considérations de poids et de l'inopportunité, pour le Canada, d'utiliser des batteries Ni/H₂ avant qu'elles aient subi l'épreuve de l'espace. Cela signifie que le MDC devra rédiger des normes pour les batteries Ni/H₂ vers 1980 environ. Le conseil d'experts serait nécessaire et pourrait s'avérer crucial étant donné qu'il s'agirait d'un nouveau système de batterie pour le Canada. De telles connaissances n'existent pas à l'heure actuelle au Canada, et à moins d'obtenir des conseils des États-Unis, il faut que le travail de base soit fait maintenant pour assurer que les conseils seront disponibles au Canada en temps voulu.

On peut choisir de s'appuyer sur des études théoriques, ou bien faire un bon investissement pour l'avenir en finançant un petit groupe de recherche travaillant sur ce système et sur les problèmes qu'il pose.

Il incombe au MDC d'aider à subventionner le groupe compétent chargé des batteries qui a été d'un immense secours aux premiers programmes de satellites, tout en étant extrêmement rentable. Une gestion soignée et des contrats de consultation peuvent faire bonne figure sur papier dans l'immédiat, mais dès que les installations et l'expérience acquise dans les batteries s'avèrent nécessaires, ils peuvent ne pas se manifester. Le talent, l'intérêt et les installations doivent être un investissement pour l'avenir.

Les prochains programmes du genre STT doivent sans doute prévoir une proportion constante du coût pour la recherche qui y est associée. Les programmes de matériel stimulent le développement technologique, mais ils s'appuient sur les réserves de connaissances établies précédemment et les grugent.

Le financement de la DSEE du CRDO constitue maintenant un investissement pour la réussite future des satellites canadiens. On peut cerner deux problèmes principaux pour ceux-ci:

1. Le séparateur et l'agent mouillant

Le CRDO a fait oeuvre de pionnier dans ces domaines pour le programme des satellites canadiens. On n'a pas saisi complètement le problème, ni accepté les idées du CRDO. Il faut se pencher sur la caractérisation chimique de l'agent mouillant et sur son mode de désintégration dans les éléments Ni/Cd et Ni/H₂. Enfin, il faut étudier plus à fond la perméabilité, le mouillage et la stabilité du polypropylène.

Le programme peut très bien occuper deux professionnels et deux techniciens pour une période de deux ans. Le coût annuel s'élèverait à \$125 000 environ, y compris les frais d'équipement et généraux à 50%.

2. L'importance des changements structuraux des électrodes

Le problème principal est la "surface" de l'électrode et ce qui se produit exactement au cycle de charge/décharge. C'est là que repose la réponse pour une longue durée, une grandeur de décharge élevée, une haute cyclicité, la rétention de la capacité, etc. Il est peut-être temps d'introduire de nouvelles techniques (disciplines?) pour résoudre les problèmes; le microscope électronique à balayage vient à l'esprit et fournit un domaine de collaboration dans la recherche entre le CRDO et le CRC. Les

connaissances acquises sur la structure de l'électrode de nickel s'appliquent essentiellement aux éléments Ni/Cd et Ni/H₂.

On a besoin d'un solide effort de recherche. Au début, il faut au moins trois professionnels en plus de deux techniciens de soutien pour une période de cinq ans. Leur expérience et leur installation pourraient être établies de manière à être prêtes à affronter s'il y a lieu, la période cruciale de l'introduction des éléments Ni/H₂ dans les satellites canadiens. Le coût annuel s'éleverait à \$200 000 environ.

4.3.2 Considérations sur le degré de financement

Quelque \$190 000 ont été payés à la DSEE du CRDO pour des conseils se rapportant aux batteries du STT. Cette somme représente 0.3% du coût total. C'est un prix vraiment bas à payer pour améliorer et assurer la fiabilité du plus important composant de n'importe quel satellite. La durée des batteries du satellite STT n'est pas critique aussi longtemps qu'elle est supérieure à 2 ans. Cependant, dans le cas d'autres satellites — Alouette, Anik, etc. — la durée des batteries constitue un élément déterminant de la durée de service. Si l'on augmente de 25 à 100% la durée de vie du satellite et la productivité en améliorant la durée des batteries, alors l'amélioration des batteries est extrêmement rentable. Par exemple, si un satellite de 40×10^6 avec une durée limitée à 4 ans pour la batterie passait à une durée de vie de 6 ans, le coût diminuerait à 6.6×10^6 annuellement plutôt que 10×10^6 par année. En fait, il est sans doute plus rentable d'augmenter la durée des batteries de satellites que d'augmenter l'énergie par unité de poids.

4.3.3 Recherche et développement industriels

Les tâches proposées au CRDO ont rapport aux éléments eux-mêmes plutôt qu'à la batterie conditionnée. A mesure que la densité d'énergie augmente, l'inégalité de la température interne de la batterie augmente aussi. Une étude portant sur le conditionnement mécanique et thermique optimal d'un type donné de batteries de satellite serait un travail approprié pour un laboratoire de recherche et de développement industriel.

On pourrait également octroyer un petit contrat à Quality Hermetics de Toronto pour la production de joints destinés aux éléments Ni/H₂ à haute pression. Toutefois, l'attrait que présente les éléments de stockage chimique LaNi₅ pour diminuer la pression dans les éléments Ni/H₂ réduit l'intérêt d'une étude des joints haute pression. Vers la fin de 1977, il serait assez tôt pour voir à cela, si la question du LaNi₅ est jugée insatisfaisante.

4.4 L'IMMÉDIAT 1976 — 1980

Si l'on suppose qu'il y aura toujours de l'argent pour la recherche, alors la fiabilité, définie comme étant une compréhension plus profonde et meilleure des critères de conception et des problèmes chimico-physiques, s'améliorera pour les systèmes Ni/Cd et Ni/H₂. Le système Ni/H₂ est le plus récent et le plus recherché, et l'on peut raisonnablement supposer que l'on disposera des renseignements nécessaires pour fournir un système acceptable et fiable. Les renseignements dont dispose l'auteur indiquent que l'on n'a pas encore atteint le niveau acceptable. On doit aussi tenir compte du fait que l'intérêt de la NASA se porte maintenant vers un système de navette dans lequel le poids, et par conséquent, la densité d'énergie ne sont pas aussi critiques. Voilà qui enlève une certaine pression à la course aux solutions rapides des problèmes des batteries Ni/H₂. En raison des délais d'exécution se produisant avant le lancement d'un satellite, on peut raisonnablement prévoir que l'on ne se servira généralement pas du système Ni/H₂ comme batteries principales à bord des satellites avant 5 ans au moins.

4.5 L'AVENIR 1980 — 1985

Conservant la même hypothèse en ce qui a trait à la recherche pour la période 1976–1980 et mis à part les problèmes imprévisibles, on peut voir, à partir de la figure 3 que, ayant atteint une fiabilité acceptable, les problèmes de rémanence de charge et d'énergie relativement basse par unité de volume demeurent. On peut

remédier à ce dernier problème au moyen du stockage chimique de l'hydrogène ou d'une augmentation significative de la pression de fonctionnement. Au moins une des deux perspectives doit être suffisamment réussie de manière à effacer cet inconvénient au cours de la période 1980–1985. En attendant que l'on connaisse les raisons d'une mauvaise rémanence de charge, de la migration électrolytique et de l'augmentation de la pression d'hydrogène avec le temps, on peut prévoir le moment de leurs solutions. Si on trouve des solutions simples à ces problèmes, alors on croit que les batteries de satellites Ni/H₂ serviront de batteries principales vers la fin de la période s'échelonnant entre 1980 et 1985, surtout dans le cas des grosses batteries, où la densité d'énergie est importante et est considérée comme étant une bonne valeur d'échange pour une fiabilité possiblement réduite par rapport au Ni/Cd.

On fait beaucoup de progrès dans l'industrie des batteries, surtout en ce qui a trait à la densité d'énergie et à la durée des batteries. Il faut toujours se tenir au courant de la situation. Les dernières propositions d'Intelsat rejettent l'emploi du Ni/H₂, et d'après ce que l'on sait, la NASA n'a pas de projets définis pour employer le Ni/H₂ comme source d'énergie principale. On va effectuer un essai utilisant les batteries Ni/H₂ comme source d'énergie principale, appuyées par des batteries Ni/Cd, à bord du NTS-2 de la marine américaine qui doit être lancé en septembre 1976.

4.6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

- a) L'état des connaissances en ce qui a trait aux éléments Ni/H₂ n'est pas suffisamment avancé pour justifier leur emploi comme sources d'énergie principales sur les satellites canadiens d'ici 5 ans. La position relative du Ni/H₂ dans la période 1980–85, c'est-à-dire d'ici 5 à 10 ans, est plus difficile à prévoir. Les publications de ceux qui sont favorables aux batteries Ni/H₂ amènent à croire que celles-ci joueront un plus grand rôle au cours de cette période mais il y a plusieurs problèmes.
- b) Aucun autre système ne semble être suffisamment avancé ou fiable pour remplacer le Ni/Cd lors de missions de plus longue durée avant 1985.
- c) Les batteries Ni/H₂ sont très rentables au poids par rapport au Ni/Cd pour des batteries à grande capacité. Si l'emploi de batteries de petite taille sur les satellites canadiens se poursuit, alors la batterie Ni/Cd sera le système préféré. Par conséquent, il n'y a aucune raison pour que le Canada fasse oeuvre de pionnier dans la mise au point de batteries Ni/H₂ pour l'espace.
- d) A l'heure actuelle, il semble être beaucoup plus rentable d'améliorer la durée des batteries Ni/Cd que d'essayer des batteries Ni/H₂ à haute densité d'énergie par lb dont on n'a pas encore démontré si elles avaient une longue durée de vie ou de les remplacer par celles-ci.
- e) Si l'on souscrit à l'interprétation limitée des objectifs du MDC, la meilleure politique est sans doute d'acheter aux É.-U. et de payer des provisions au CRDO pour ses conseils, c'est-à-dire, essentiellement ce que nous avons fait par le passé.

Comme investissement dans la fiabilité et la durée des batteries futures à bord des satellites canadiens, il faudrait financer la DSEE du CRDO d'une façon continue. Si le CRDO et/ou le CRC doivent se tenir à la fine pointe de leurs connaissances (et de leur expérience) au sujet des batteries de satellites, il faut alors financer la recherche et assister aux conférences appropriées, par exemple, le colloque annuel de la NASA sur les batteries, à GSFC.

Si nous sommes prêts à élargir notre champ de vision et à collaborer avec le CRDO et d'autres organismes, alors peut-être sera-t-il possible de créer des retombées technologiques. L'on doit tenir compte de nombreux facteurs si l'on envisage la création d'une usine Ni/Cd au Canada pour la fabrication de batteries de satellites. Certains renseignements essentiels ne sont pas disponibles, et par conséquent le texte traite des solutions de rechange et la figure 6 les résume.

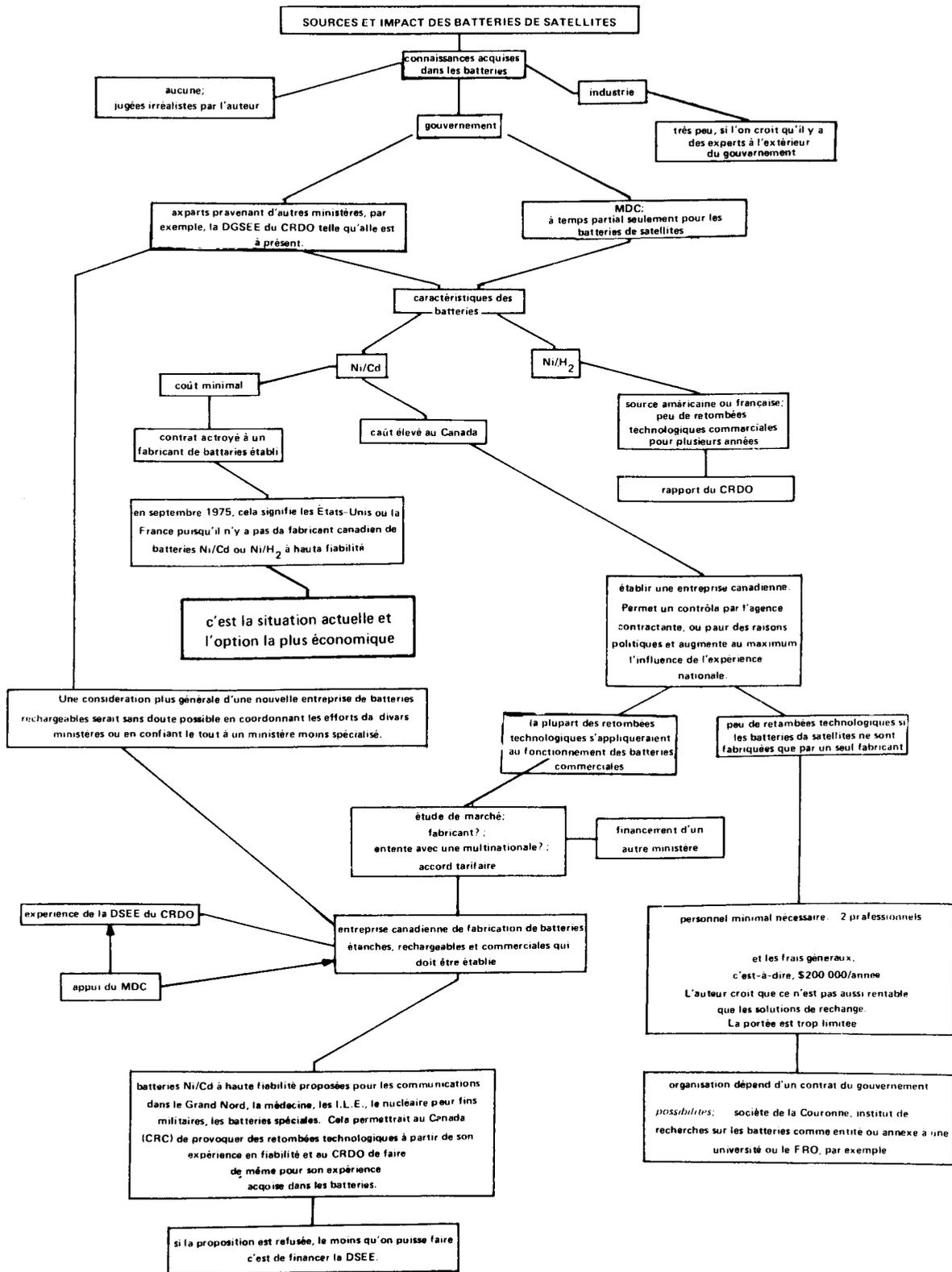


Figure 6. Arbre de décision destiné à faciliter une prise de décision au niveau des politiques à mesure que les renseignements nécessaires sur les antécédents de la politique sont disponibles.

- f) Il faut rassembler et publier tous les renseignements historiques et pertinents se rapportant au programme de la fabrication des batteries pour les satellites canadiens. La sortie du tout dernier satellite est l'occasion rêvée pour publier des découvertes.

Le professeur Wernher von Braun a affirmé que: "Le programme spatial est le fer de lance de la science et de la technologie. L'homme a besoin d'un outil dans sa quête pour la vérité". Au Canada, nous possédons notre propre outil de haute technologie et nous attendons à ce qu'ils soient dépassés à l'occasion sans pour autant que cela soit aussi tragique que l'effondrement de Microsystems. Nous devons nous remettre à jour et essayer de nouveau. Une usine nickel-cadmium à haute fiabilité est-elle l'outil dont nous avons besoin?

5. REMERCIEMENTS

L'auteur souhaite remercier tous les gens avec qui il s'est entretenu au sujet du présent rapport. D'une façon particulière, je voudrais remercier Keith Munro et G.F. Carter, du MIC et Mel Boyes du RBN de m'avoir envoyé leurs rapports, et Tom King pour ses opinions très pertinentes et ses réponses à mes nombreuses demandes.

6. RENVOIS

1. Tsenter, B.I. et al, U.S. Patent 3 669744 filed 25 February, 1971.
2. Klein, M. and George, M., *Nickel Hydrogen Secondary Batteries*, 26th Power Sources Symposium 1974.
3. Klein, M., *Nickel Hydrogen Secondary Battery*, 10th Energy Conversion Conference 1975.
4. Dunlop, J. et al, *Sealed Metal-Oxide-Hydrogen Secondary Cells*, Brighton Conference paper 20, 1974.
5. Font, S. and Goualard, J., *Ni/H₂ Performance Versus Ni/Cd*, Brighton Conference paper 21, 1974.
6. Miller, L., *Ni H₂ as an Alternative to Ni Cd*, 10th Energy Conversion Conference, 1975.
7. Miller, L., *Metal-Hydrogen Battery Designs*, 26th Power Sources Conference, 1974.
8. Barney, D.L. et al, *Effect of Carbonate on the Performance of Sealed Nickel Cadmium Cells*, paper presented at 7th Power Sources Symposium, Brighton, U.K.
9. Patterson, R.E. and Sparks, R.H., *Nickel Hydrogen Battery System Development*, 10th Energy Conversion Conference 1975.
10. Dunlop, J. and Earl, M., *Chemical Storage of Hydrogen Ni/H₂ Cells*, 26th Power Sources Conference.
11. Haas, R.J. and Briggs, D.C., *High Energy Density Silver Hydrogen Cells for Space and Terrestrial Applications*, 8th Intersociety Energy Conversion Conference, 1973.
12. Klein, M., *Sealed Rechargeable Silver-Hydrogen Battery*, Brighton Conference paper 22, 1974.
13. Bauer, P., *Batteries for Space Systems*, NASA SP-172, 1968.
14. Thomas, U., *Advances in Electrochemistry*, V5, P. 215.

15. Kinsey, R.H. and Gordon, D., *Engineering Development & Qualification of Large Sealed Ni Cd Batteries for Long Duration Space Missions*, 10th Intersociety Conference, August 1975.
16. Giner, J. and Dunlop, J., *J Electrochemical Society*, 122, p. 4, 1975.
17. Munroe, K., *Canadian Battery Profile 1973*.
18. Carter, G.F., 1968 DITC Battery Industry Survey.
19. Casey, E.J., memo to file dated 26 March, 1975, DREO 5480-30, p. 2 item 5.
20. Lindsley, E.F., *Leakproof Lead-Acid Cells*, *Popular Science* November 1975.



Government
of Canada

Gouvernement
du Canada

