

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Professeur Christian GLAIZE

Université Montpellier 2 (UM2)
Institut d'Électronique du Sud (IES)
Groupe Énergie et Matériaux (GEM)
E-mail : glaize@univ-montp2.fr

CAFÉ CLIMAT : Véhicules électriques
Agence Locale de l'Énergie - Montpellier - 13 septembre 2011

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Court CV

Professeur à l'Université Montpellier II. Chercheur au sein du Groupe Énergie et Matériaux (GEM) de l'Institut d'Électronique du Sud (IES).

1978 : Thèse de Doctorat "Étude de hacheurs réversibles entièrement statiques. Application à l'alimentation d'un moteur de traction pour VE.

1993 : Lauréat du prix ADER- LR (Association pour le Développement de l'Enseignement et de la Recherche - Languedoc-Roussillon) sur des chargeurs de batteries pour VE.

7 brevets sur les chargeurs de batteries pour véhicules électriques

Plusieurs dizaines de publications sur les batteries et les chargeurs

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

1. Rôle de la batterie

Stocker de l'énergie électrique

2. Comment ?

Par conversion réversible d'énergie électrique en énergie chimique

3. Pourquoi ?

Alimentation électrique d'un dispositif non relié au réseau de distribution électrique
à fin d'autonomie énergétique

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

4. Grandes catégories d'usage

Cyclage : la batterie subit des décharges plus ou moins profondes.

Elle est chargée par le réseau de distribution électrique (ou des panneaux solaires) et permet de fournir de l'énergie électrique en utilisation « nomade » ou, pour le photovoltaïque, en absence de soleil.

Exemples : téléphones et ordinateurs portables, **véhicules électriques** (au sens large), installations photovoltaïques,...

Floating : la batterie est maintenue à l'état chargée pour être prête à fournir de l'énergie en cas de défaillance de l'alimentation principale.

Exemple : « onduleur » de secours pour informatique

Démarrage : la batterie sert au démarrage d'un moteur thermique par exemple automobile, à l'alimentation de différents auxiliaires (phares, clignotants, autoradio,...). Elle régule la tension de bord. Elle est chargée par l'alternateur. Elle est quasiment tout le temps complètement chargée.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Véhicules électriques hybrides : la batterie fournit des pointes de puissance en complément du moteur thermique.

Elle peut aussi faire rouler le véhicule en mode électrique pur.

Elle est rechargée par le moteur thermique ou au freinage par le moteur électrique fonctionnant en alternateur.

Son état de charge reste le plus souvent autour de 50 %.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

5. Sigles utilisés

VE : Véhicule électrique (voitures, bus, camions, chariots manutentions¹, fauteuils pour handicapés, voiturettes de golf,...). La batterie est rechargée par le réseau de distribution électrique (ou des panneaux solaires à poste fixe).

VEH : Véhicule (voiture) électrique hybride. La batterie ne peut être rechargée que de manière interne au véhicule.

Près de 20 modèles différents disponibles en France. La plus connue : Toyota Prius.

Véhicule hybride rechargeable ou VEH plug-in (PVEH) : VEH pouvant être rechargé par le réseau de distribution électrique (ou des panneaux solaires). Autonomie en électrique pur réduite (20 à 50 km). Encore aucune offre commerciale en France. Plusieurs prototypes. Batteries Lithium-ion (Phosphate de fer ?). Plusieurs offres prévues fin 2011 et 2012.

¹ Marché important qui a permis le développement d'une industrie de la batterie de cyclage.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

6. Deux approches différentes

Véhicules à moteur thermique -> Véhicules à moteur électrique

Véhicules à moteur thermique -> VEH -> VEH plug-in -> VE pur

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

7. Les différents types de stockage possibles sur un VE

Batteries électrochimiques

Piles à combustibles

Transformation énergie électrique

<-> énergie chimique

Volant d'inertie

Air comprimé

Transformation énergie électrique

<-> énergie mécanique

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

8. Terminologie : Accumulateur, Élément, Batterie, Monobloc, Pack, BMS.

L'**accumulateur** accumule l'énergie électrique sous forme d'énergie chimique.

L'**élément** de base est formé d'une association de deux **électrodes** (une **positive** et une **négative**) placées dans un **électrolyte**.

Un élément fournit une tension nominale de l'ordre du volt :

1,2 V pour un élément NiCd ou NiMH,

2 V pour un élément au plomb,

3,6 à 3,8 V pour les éléments au lithium (LiCoO_2 / C) utilisés sur les appareils nomades mais seulement 1,8 V pour les éléments LiFePO_4 plus adaptés aux véhicules électriques.

Pour obtenir des tensions plus élevées, on associe en série des éléments.

C'est une **batterie d'accumulateurs** :

une batterie est une association de plusieurs éléments d'accumulateurs.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Un accumulateur est disponible

- soit sous forme d'**élément simple**
- soit sous forme d'association (indissociable) de quelques éléments (le plus souvent 3 ou 6 pour du plomb ; 5 pour du Ni) dans un même bac appelée **monobloc**.

Une association de plusieurs éléments ou de monoblocs est un

pack batterie ou un pack énergie

qui contient souvent aussi un **BMS : Battery Management System**
ou Système de Gestion de Batterie

(jauge d'autonomie et d'état de santé, équilibreur,...).

Indispensable sur batteries au lithium.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

On appelle **matière active** (MA) les produits chimiques transformés lors des réactions de charge et de décharge.

Par exemple, plomb, oxyde de plomb et acide sulfurique dans un accumulateur au plomb.

Dans les autres accumulateurs (NiCd, NiMH, Li), MA : électrodes seulement.

Il y a aussi et nécessairement de la matière inactive : contenant, connexions, séparateurs, surplus d'électrolyte.

Les performances d'une batterie sont inférieures à celles d'un élément seul.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Vocabulaire : une pile n'est habituellement pas rechargée (rechargeable ?).

En anglais, le terme "**battery**" désigne indifféremment une pile ou un accumulateur².

Pour un accumulateur, on parle de "*rechargeable battery*" ou "*storage battery*".

On trouve aussi les vocables de :

primary battery pour une pile et *secondary battery* pour un accumulateur.

² C'est peut-être pour cela qu'on parle, à tort, de batterie pour un téléphone portable.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

9. Caractéristiques d'un accumulateur

9.1. Tension nominale

Exprimée en V

9.2. Capacité

Quantité d'électricité (exprimée en Ah) délivrée par un accumulateur au cours d'une décharge complète

9.3. Profondeur de décharge (Depth of Discharge – DOD)

Rapport entre la quantité d'électricité déjà extraite d'un accumulateur et sa capacité

9.4. État de charge (State of Charge – SOC)

$SOC = 1 - DOD$: estimation (en pourcentage) de la quantité d'électricité qui reste dans l'accumulateur. C'est l'équivalent de l'indication donnée par une jauge à essence.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

9.5. Énergie massique (*gravimetric energy density* ou *specific energy*)

Rapport de l'énergie restituable à un régime donné sur la masse de l'accumulateur.

Unité : Wh/kg

Notion particulièrement utile pour le dimensionnement d'une batterie dans les systèmes embarqués

Autonomie et vitesse désirées => masse de batteries à embarquer.

Intéressante pour comparer, à régime de décharge donné, différents dispositifs de stockage.

9.6. Énergie volumique (*specific energy*)

Rapport de l'énergie restituable à un régime donné sur le volume de l'accumulateur.

Unité : Wh/L

Notion utile pour le dimensionnement d'une batterie stationnaire car, dans ces applications, le volume est souvent plus important que la masse

Intéressante pour comparer, à régime de décharge donné, différents dispositifs de stockage.

9.7. Puissance massique et puissance volumique

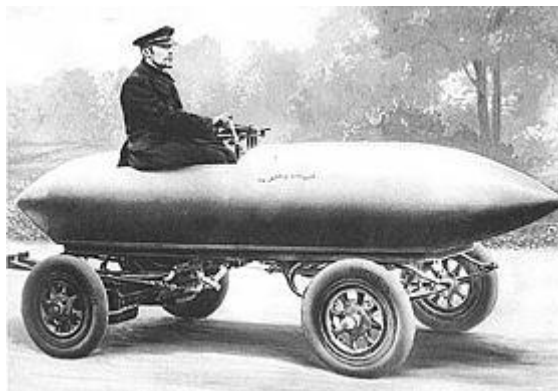
Unités : W/kg et W/L

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10. Les différentes technologies d'accumulateurs et utilisations

L'histoire des batteries pour VE est, depuis plus d'un siècle, source d'incessants rebondissements.

Rappel : La Jamais-Contente, premier véhicule automobile à avoir franchi le cap des 100 km/h (1899), était une voiture électrique. Batteries au plomb Fulmen.



Combien de fois a-t-on entendu dire par un constructeur de voitures ou de batteries qu'il avait enfin LA solution...

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Famille de batteries présentées aujourd'hui :

- Plomb
- Nickel
- Sodium-Soufre
- Lithium

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.1. Plomb/acide sulfurique (Pb)

Le plus ancien (Gaston Planté, 1859)

3 technologies :

Batteries ouvertes

Batteries sans entretien

Batteries à recombinaison de gaz (improprement appelées « étanches »)

Peu coûteux (70 à 400 €/kWh)

mais énergie massique limitée : typ. 25 à 40 Wh/kg (énergie massique théorique 167 Wh/kg)

Température de fonctionnement : - 20 ou - 15 °C et + 50 à 60 °C (extensible)

70 à 120 Wh/L

120 W/kg en application photovoltaïque (tubulaires),

800 W/kg batterie de démarrage automobile,

2000 W/kg (Orbital, électrode enroulée en spirale, AGM : Absorbed Glass Mat) : démarrage de moteurs difficiles, alimentation des auxiliaires sur bateaux, caravanes, camping-cars, véhicules de secours et automobiles haut de gamme, sauvegardes de centraux téléphoniques ou de centres informatiques, traction électrique à très fortes contraintes en puissance crête et en cyclage (karts électriques, véhicules électriques de loisirs,...),...

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Durée de vie en cyclage (nombre de cycles charge/décharge pour un élément) : 500/1500

Rendement énergétique d'un cycle charge/décharge : 70/75 %

Autodécharge limitée

Bon retour d'expérience : on sait quelle technologie choisir pour chaque application

L'accumulateur au plomb le plus vendu.

Le coût ne peut guère descendre car process de fabrication matures.

Utilisation principale de l'industrie du plomb.

Le taux de recyclage du plomb lui-même atteint pratiquement 100 % =>

accumulateur au plomb recyclé³ non polluant pour l'environnement malgré la haute toxicité du plomb.

Risques d'accident : dégagement d'hydrogène, court-circuit accidentel, acide sulfurique.

Seule batterie utilisable sur des VE dans les années 70 (Renault 4L, Master,...)

Encore utilisée aujourd'hui dans la plupart des petites voitures électriques (vitesse max. entre 45 et 70 km/h et autonomie de 50 à 100 km) commercialement disponibles.

3. Encore faut-il qu'il soit recyclé et non pas abandonné dans une décharge. Sans souci au niveau industriel mais qu'en est-il au niveau des particuliers...

Batteries usagées rachetées par les professionnels du recyclage.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.2. Accus au nickel

10.2.1. Nickel/cadmium/potasse (NiCd)

Inventé en 1899

énergie massique meilleure que Pb : typ. 50 à 60 Wh/kg (énergie massique théorique de 244 Wh/kg)
110 W/kg

mais d'un coût beaucoup plus élevé (à cause du Ni et du Cd)

fort effet mémoire (c'est la seule technologie qui aurait un effet mémoire).

Température de fonctionnement : -30 à + 40 °C

Nombre de cycles (pour un élément) : 1000/2000

Longue durée de vie calendaire, même en conditions difficiles

Rendement énergétique de charge/décharge : 60/75 %

Autodécharge limitée

Faible maintenance (étanche)

Profondeur de décharge importante possible

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Présence cadmium => vente interdite au grand public⁴ mais utilisation encore possible un usage industriel ou professionnel car systèmes performants de collecte et de recyclage en fin de vie ce qui permet d'éviter dissémination dans des décharges ou des incinérateurs.

Position largement dominante dans le passé pour applications demandant forte puissance, masse non prohibitive requises : appareils électroniques, outillage électroportatif, modélisme, éclairage de secours,...

Technologie nickel-cadmium (NiCd) maintenant remplacée par d'autres technologies : NiMH (même tension) et lithium-ion.

A été utilisé sur des VE dans les années 90 :

Par exemple : Peugeot 106 et Citroën Saxo

Autonomie en cycle normalisé 100 km ; Vitesse maximale 90 km/h

Temps de charge 6-8 h (recharge normale) / 45 mn (recharge rapide)

4. À cause du comportement sociologique de recyclage insuffisant des petits accumulateurs dans le grand public.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.2.2. Nickel Métal Hydrure (NiMH)

On devrait dire nickel-hydrure métallique mais on a l'habitude de dénommer cette technologie Nickel Métal Hydrure pour se rapprocher de l'acronyme NiMH qui vient de l'anglais nickel-metal hydride. Un hydrure métallique est un composé permettant de stocker de l'hydrogène.

Énergie massique meilleure que Pb et NiCd : typ. 70 et 120 Wh/kg (énergie massique théorique 278 Wh/kg)

Énergie volumique pratique entre moins de 100 et plus de 400 Wh/L.

Introduite en 1975. Développée pour remplacer l'électrode au cadmium très toxique des NiCd. Commercialisée en 1990.

Occupe (occupait) un créneau notable pour les applications où l'énergie volumique (/Pb) et le prix (/Li) sont des arguments importants.

Applications aux premiers téléphones cellulaires hors Japon.

Aujourd'hui, type « pile rechargeable » AAA, AA,... principalement parce que tension suffisamment proche de celle des piles qu'ils remplacent (1,2 V au lieu de 1,5 V) et parce que recharge beaucoup moins délicate que celle des Li-ion.

Fonctionnement sûr (/Li).

VEH : Toyota Prius (générations I à IV), Lexus,...

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.2.3. NiFe

Développée en 1901 par Edison pour propulser son véhicule électrique : la Bailey Electric. Cette voiture de 900 kg avait une autonomie de 160 km.

Les accumulateurs NiFe ont ensuite et surtout été utilisés pour l'éclairage et la traction dans les mines et pour la propulsion dans les sous-marins.

Énergie massique théorique 265 Wh/kg. Entre NiCd (244 Wh/kg) et NiMH (278 Wh/kg).

L'énergie massique pratique : 20 à 30 Wh/kg pour les électrodes tubulaires en pochette et atteint 40 à 60 Wh/kg pour les électrodes frittées ou fibreuses

Très longue durée de vie (3000 cycles ; 30 ans et plus)

Autodécharge plus rapide que pour NiCd et NiMH

Simple à fabriquer. Peu onéreuse.

Pas de constituants polluants ou toxiques (plomb, lithium, cadmium, solvants,...) ou difficiles à recycler.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Accumulateurs NiFe : alternative intéressante au NiCd puisque cadmium remplacé par du fer, bien moins coûteux.

Cependant, technologie délaissée car faible rendement de charge dû à un fort dégagement gazeux, en particulier d'hydrogène pouvant amener un risque important d'inflammation ou d'explosion. Cela a aussi empêché de développer des éléments étanches. Pour pallier à cette limitation, des propositions ont cependant été effectués pour recombinaison par catalyse l'oxygène et l'hydrogène dégagés.

Cependant, force est de constater que malgré de nombreux essais, ce type d'accumulateur n'a pas trouvé de domaines d'applications suffisamment importants pour être commercialement développés à grande échelle.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.2.4. NiZn

Au premier abord, l'accumulateur NiZn présente un intérêt indéniable / NiCd grâce à son électrode négative en zinc, métal abondant, peu coûteux, non toxique et facilement recyclable.

Tension d'un élément 1,6 V (/ 1,2 V NiCd et NiMH).

Performances supérieures au NiCd et au NiMH et coût potentiellement inférieur.

Cependant réalisations commerciales encore rares car croissances dendritiques => tenue en cyclage longtemps été très faible. Recherches en cours. Protos pour VE et VEH en cours de tests.

Si durée de vie suffisante : tension, très faible autodécharge, gamme de température -20 à +60°C,...

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.3. Accus Sodium-soufre et Zebra

10.3.1. NaS

Dans le fonctionnement d'un grand nombre d'accumulateurs, la matière active n'occupe pas le même volume suivant l'état de charge.

Charges et décharges successives imposent contraintes mécaniques aux électrodes, une des causes de vieillissement de l'élément.

Avec des électrodes liquides, ce problème disparaît.

Électrode positive en soufre, électrode négative en sodium, séparateur céramique en alumine.

Fonctionnement à haute température (300 à 400°C). Insensible à la température ambiante.

Obligation de dépenser de l'énergie pour laisser la batterie chaude au repos.

Plusieurs heures pour la remonter en température.

Nb de cycle chaud/froid limité à quelques dizaines.

Énergie spécifique théorique : 755 Wh/kg. Densité d'énergie 3 et 5 fois plus forte que la batterie Pb.

Rendement : ~75%.

Longue durée de vie : 15 ans et 2500 cycles de 100% DOD, ou 4500 de 90% DOD, ou 6500 de 65% DOD.

Puissance crête pénalisée par la conductivité réduite de l'électrolyte céramique.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Sécurité confirmé par les tests de sécurité.

Pas d'émission de gaz, silencieux.

Le sodium est très abondant sur Terre, particulièrement sous la forme NaCl. Le soufre est aussi très abondant sur la Terre.

Recyclage facile.

En Europe : début du développement (1972, BBC) ; arrêt du développement (1996, ABB)

Prototypes : BMW E2, Ford Ghia Connecta, Volkswagen Chico

<http://www.cite-sciences.fr/derosnay/articles/chroniques/batsoufre.htm> :

Environnement - Octobre 1992

Le consortium Asea Brown Boveri (ABB) allié au britannique Britain's Chloride vient d'ouvrir des unités de production capables de faire face à l'importante demande attendue pour ce type de batterie. Dans trois ans l'usine ABB de Heidelberg en Allemagne sera en mesure de produire 100.000 packs de batteries par an. La bataille sodium-soufre contre nickel-cadmium ne fait que commencer !

Aujourd'hui seul constructeur : NGK (Japon). Débouchés essentiels : stockage sur le réseau.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.3.2. ZEBRA

Variante de la NaS inventée en 1985 par le groupe ZEolite applied to Battery Research Africa dirigé par Johan Coetzer à Pretoria, Afrique du Sud.

Aussi connue sous le nom Zero Emission Batteries Research Activity.

Spécifiquement mise au point par les applications VE, transport lourd et transport public.

Énergie massique : 80 à 120 Wh/kg

Durée de vie : 1500 cycles.

Cyclage thermique permis. Contrainte de temps pour réchauffer une batterie déchargée et froide (plusieurs heures à jours). On évitera donc de la laisser se refroidir.

Réserves et production annuelle importantes des constituants de base. Bien supérieures au lithium.

Montée, entre autres, sur la **Fiat Palio** pour le marché brésilien :

Autonomie en cycle normalisé 120 km ; Vitesse maximale 105 km/h

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.4. Accus au lithium

Recherches sur générateurs électrochimiques utilisant du lithium débutent dans les années 60.

Piles commercialisées dans les années 70

Sony Energitech (Japon) a développé puis commercialisé en 1991 la technologie qu'il a dénommé lithium-ion (Li-ion) pour répondre à des applications où les énergies volumique et surtout massique sont des critères prépondérants.

2 grandes familles d'accumulateurs au lithium :

- lithium-ion
- lithium métal polymère

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.4.1. Li-ion

Les ions lithium sont échangés par des mécanismes d'insertion-désinsertion d'une électrode à l'autre.

Non liés à un couple électrochimique bien défini. Tout matériau pouvant accueillir de manière réversible des ions lithium peut être à la base d'un accumulateur lithium-ion.

=> Il existe un très grand nombre de matériaux d'électrodes avec pour chacune des propriétés différentes en matière d'énergies massique et volumique, de tension nominale, de durée de vie de sécurité, de coût,...

Le premier matériau à avoir été utilisé et encore aujourd'hui le plus courant, est l'oxyde de cobalt lithié (LCO). Capacité massique théorique de l'ordre de 137 mAh/g.

Le cobalt est, à cause de réserves mondiales limitées et de son caractère stratégique, très coûteux. Il est par ailleurs toxique.

Co remplacé en partie par Ni, Mn, Al.

Autre voie : oxyde de manganèse (148 mAh/g). Méthodes de recyclage bien connues car l'oxyde de manganèse également utilisé dans les piles.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Bonne durée de vie, tension/élément élevée (3,6 V) => meilleure énergie massique que Pb, Ni
mais **problèmes de sécurité dans grosses unités.**

=> Oxyphosphate de fer lithié (LiFePO_4). **Énergie massique plus faible mais bien meilleure sécurité.**

Pour ces technologies, l'autre électrode est en graphite (carbone). Futur : titanate de lithium ?

Énergie massique : **150 et 200 Wh/kg.**

10.4.2. Lithium métal polymère (à ne pas confondre avec la lithium polymère – LiPo – qui est une Li-ion)

Introduite dès 1973 (donc avant Li-ion).

Électrode négative constituée par une feuille de lithium métallique

intéressant pour malléabilité, bonne conductivité électrique,

Électrolyte est un film polymère (Michel B. Armand, 1978)

nécessitant une température de fonctionnement de l'ordre de 60 à 90°C,

Électrode positive un matériau d'insertion.

Repris par Bolloré (défi technologique) pour la Batscap devant équiper la Blue Car

Autolib en décembre 2011 ?

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

10.4.3.Le futur : lithium air ?

Électrode positive à air utilisant l'oxygène de l'air (dont les réserves sont illimitées)

Électrode négative métallique. Par exemple lithium.

On annonce souvent des valeurs d'énergie massique de plusieurs milliers de Wh/kg voire dépassant 10000 Wh/kg. Mais c'est en ne tenant compte que d'une partie de la matière active. Si on prend en compte les collecteurs de courant, l'électrolyte, les séparateurs, les amenées d'oxygène, le boîtier,... la réalité se situe plutôt vers quelques centaines de Wh/kg. Donc supérieure à celles des technologies au lithium conventionnelles.

Cependant, puissances spécifiques faibles car apport d'oxygène limité => courants faibles pendant de longues durées => associations avec supercapacités pour répondre aux besoins de puissance.

10.4.4.Le futur : lithium soufre ?

Donnée pour 350 Wh/kg.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

11. Les difficultés de la voiture purement électrique

11.1. Masse des batteries

Énergie massique des batteries sans commune mesure avec énergie massique du SP (10 000 Wh/kg).

60 litres (45 kg) de SP98, c'est 450 000 Wh

La même quantité d'énergie en Li-ion demande $450\ 000 / 150 = 3$ tonnes !!!

Heureusement qu'un moteur électrique a un bien meilleur rendement qu'un moteur thermique, qu'il ne consomme pas à l'arrêt, que l'on peut récupérer l'énergie de freinage.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

11.2. Vitesse de charge de la batterie

Une pompe à essence débite 30 litres de SP98 (masse volumique 750 kg/m³) par minute => on fait le plein en 2 min.

Cela correspond à une "puissance" de 13,5 MW ! L'alimentation électrique de 1000 maisons !

=> intérêt aujourd'hui du VEH

Charge rapide (donc partielle) mais forte puissance appelée au réseau.

Changement de batteries (comme les chevaux de poste). Demande infrastructure lourde et normalisation des packs batterie.

Difficile de croire qu'une batterie de VE puisse être entièrement chargée avec des cellules solaires sur le toit.

11.3. Chauffage de l'habitacle

=> intérêt aujourd'hui du VEH

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

12. Les « à côtés » des batteries de voitures électriques

Aide aux réseaux de distribution électrique

Réutilisation des batteries de VE en utilisation photovoltaïque (injection avec stockage).

BATTERIES D'ACCUMULATEURS POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES

13. Conclusions

Le VEH, c'est déjà OK (et encore améliorable)

Pour le VE pur, on n'a pas encore trouvé la batterie idéale : peu chère, légère, sûre, possédant un bon rendement, utilisant des matériaux abondants, recyclable, non polluante,...

Ayons espoir...