

INERIS

références

LE POINT
DES ÉTUDES
SUR LA MAÎTRISE
DES RISQUES
OCTOBRE 2012

batteries et sécurité



INERIS

références

LE POINT
DES ÉTUDES
SUR LA MAÎTRISE
DES RISQUES
OCTOBRE 2012

**batteries
et sécurité**

SOMMAIRE

INERIS RÉFÉRENCES BATTERIES ET SÉCURITÉ

02 ♦ RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

04 ♦ INTRODUCTION

05 ♦ CONTEXTE

06 ♦ DE QUOI PARLE-T-ON ?

08 ♦ TRAVAUX D'EXPERTISE

14 ♦ TRAVAUX DE RECHERCHE

18 ♦ CERTIFICATION VOLONTAIRE

20 ♦ PRÉCONISATIONS DE LA CORE

21 ♦ CONCLUSION

22 ♦ VALORISATION DES TRAVAUX DE RECHERCHE

23 ♦ ANNEXES

Annexe 1 : L'opinion publique sur les véhicules électriques

Annexe 2 : Feuille de route recherche 2012-2019

Annexe 3 : Les moyens d'essais

Annexe 4 : Tableau de l'analyse préliminaire des risques

Le développement de nouvelles technologies et énergies soulève de nombreuses interrogations en matière de sécurité. Les systèmes de stockage électrochimique de l'énergie, dont l'utilisation est amenée à se développer fortement, ne dérogent pas à cette règle. Ces systèmes sont utilisés pour des applications stationnaires ou embarquées, la plus connue étant sans doute la batterie des véhicules électriques.

SÉCURITÉ DES BATTERIES DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Expert reconnu dans le domaine de l'évaluation et de la prévention des risques industriels, l'INERIS conduit depuis plusieurs années des travaux de recherche et d'expertise sur cette technologie. Le plan national lancé en octobre 2009 et dont l'objectif, d'ici 2020, est la mise en circulation de 2 millions de véhicules électriques et hybrides rechargeables a conduit l'INERIS à concentrer majoritairement ses efforts sur la sécurité des batteries des véhicules électriques. Les travaux menés se déclinent selon deux axes.

Des travaux de recherche sur le stockage de l'énergie

Ces travaux portent en particulier sur les batteries lithium-ion, technologie actuellement la plus utilisée dans les véhicules électriques. Les conclusions des premiers travaux réalisés ont permis de mettre en évidence le rôle majeur des composés de l'électrolyte sur le risque thermique et toxique lié au fonctionnement de la batterie en condition abusive (lors de la combustion accidentelle de cette dernière).

Appui aux pouvoirs publics sur la sécurité de la filière véhicules électriques

Des travaux d'appui au ministère chargé de l'écologie, conduits en 2010 et 2011, visaient à fournir des éléments sur la sécurité de la filière. Ainsi, en 2010, l'INERIS a réalisé une analyse préliminaire des risques de la filière véhicules électriques. La cartographie des enjeux est basée sur trois rapports préparatoires portant sur l'accidentologie des batteries pour véhicules électriques, sur les différentes technologies existantes et sur le contexte réglementaire

« EXPERT RECONNU DANS LE DOMAINE DE L'ÉVALUATION ET DE LA PRÉVENTION DES RISQUES INDUSTRIELS, L'INERIS CONDUIT DEPUIS PLUSIEURS ANNÉES DES TRAVAUX DE RECHERCHE ET D'EXPERTISE SUR LA SÉCURITÉ DE LA FILIÈRE VÉHICULES ÉLECTRIQUES, EN PARTICULIER SUR LES BATTERIES »

et normatif (ce dernier rapport a été réalisé avec l'Union technique de l'automobile, du motorcycle et du cycle). Ces premiers travaux ont mis en évidence que les situations accidentelles (explosion, incendie et dispersion toxique) dans les lieux confinés comme les parkings constituent un scénario pour lequel les risques ne peuvent être exclus en l'absence d'études plus approfondies. Ainsi, l'INERIS a réalisé, à la demande du ministère chargé de l'écologie, des simulations numériques puis une campagne d'essais grandeur réelle pour des constructeurs automobiles afin de comparer le comportement général des batteries et des véhicules thermiques et électriques lors d'un incendie. Ces essais ont confirmé deux conclusions issues des modélisations : comme pour les véhicules thermiques, la visibilité chute très rapidement (opacité complète au bout de 10 minutes) ; on assiste en outre à l'émission significative de fluorure d'hydrogène.

Les résultats et conclusions de ces travaux ont permis à l'administration de mettre en place les mesures proportionnées encadrant le stationnement et la recharge des véhicules électriques, notamment dans les parkings publics.

CERTIFICATION VOLONTAIRE

L'INERIS est à l'initiative du référentiel de certification volontaire ELLICERT (ELECTrique Lithium CERTification) pour les batteries, cellules et packs des véhicules électriques. Ce référentiel vise à démontrer l'atteinte, en

MOYENS D'ESSAIS

Pour mener à bien ses travaux, l'INERIS dispose d'une plateforme d'expérimentation spécifique dénommée STEEVE Sécurité. Portée par l'Institut, en partenariat avec l'université de Picardie Jules Verne, le CNRS et EDF, cette plateforme a pour vocation d'offrir aux industriels, entreprises et collectivités un large panel d'expérimentations et simulations pour évaluer et faire progresser la sécurité.

termes de sécurité globale, de niveaux de résistance à des dysfonctionnements ou agressions électriques, mécaniques ou thermiques. La certification s'adresse d'abord aux fabricants de batteries désireux d'apporter une preuve indépendante de la qualité de leurs produits mais aussi aux utilisateurs et constructeurs automobiles.

Dans les années à venir, les travaux de l'INERIS sur les batteries des véhicules électriques vont se poursuivre en élargissant le champ à d'autres applications, stationnaires ou embarquées, telles que les supercapacités mais aussi le stockage en appui à l'énergie produite à partir de sources renouvelables. ■■■■

L'INERIS ACCOMPAGNE L'INNOVATION

La connaissance des risques est un enjeu essentiel. Même si nous appelons de nos vœux le développement de nouvelles technologies pour relever les défis du développement durable, celles-ci ne pourront être mises en œuvre que si les risques potentiels qu'elles sont susceptibles d'engendrer sont maîtrisés. L'INERIS, dédié à la sécurité industrielle, fait évoluer en permanence ses activités et adapte ses compétences pour mettre son expertise au service de cette innovation. Contribuer à la maîtrise des risques technologiques connus ou émergents constitue le fondement de ses activités. Les nouvelles énergies soulèvent des questions diverses en matière de sécurité : comment les produire, les stocker, les acheminer et les utiliser sans danger ? Une mobilisation

en s'appuyant en particulier sur une plateforme d'expérimentation spécifique, STEEVE Sécurité, construite au siège de l'INERIS à Verneuil-en-Halatte (*annexe 3*).

En parallèle de cette recherche, l'INERIS accompagne les acteurs industriels dans la réalisation des premières études de sécurité sur des modules ou des packs de batteries et dans la réalisation d'essais en situation abusive¹. L'objectif de ces essais est double : évaluer le comportement de la batterie en situation abusive ; améliorer les dispositifs de sécurité présents pour limiter les effets éventuellement observés.

Les essais réalisés par l'Institut aident ainsi les constructeurs automobiles à mettre au point des technologies intrinsèquement sûres et propres. L'INERIS les accompagne par l'évaluation des barrières de sécurité et la définition du cadre normatif adapté dans lequel ces technologies pourraient être déployées.

C'est notamment le cas pour les batteries destinées aux véhicules électriques et hybrides rechargeables avec le schéma de certification volontaire ELLICERT. L'INERIS propose de nouvelles certifications répondant à une exigence de sécurité, à la demande du marché et à la demande sociale : c'est le cas d'ELLICERT,

qui doit pouvoir constituer un avantage concurrentiel pour les produits ainsi certifiés.

Enfin, l'INERIS, dans son rôle d'appui technique aux pouvoirs publics a conduit, en 2010 et 2011, plusieurs études sur la sécurité des véhicules électriques et en particulier sur la prévention des risques liés aux batteries. Ainsi, l'INERIS a réalisé en 2010, à la demande du ministère chargé de l'écologie, une étude visant à mieux identifier les risques présentés par la mise en place d'une filière « véhicules électriques » en France. Dans ce cadre, l'INERIS a aussi été mandaté en 2011 par certains constructeurs automobiles français pour mener une campagne d'essais grandeur réelle afin de comparer le comportement général des batteries et des véhicules thermiques et électriques lors d'un incendie. Les résultats et conclusions ont permis à l'administration de mettre en place les mesures proportionnées encadrant le stationnement et la recharge des véhicules électriques, notamment dans les parkings publics. ■■■■

« LES ESSAIS RÉALISÉS PAR L'INSTITUT AIDENT LES CONSTRUCTEURS AUTOMOBILES À METTRE AU POINT DES TECHNOLOGIES INTRINSÈQUEMENT SÛRES ET PROPRES »

très en amont permet de mettre au point des procédés et des produits performants, d'anticiper les défaillances, voire de prévoir la gestion des déchets pour éviter des surcoûts tardifs qui freineraient ou interdiraient la mise sur le marché de produits innovants.

Pour répondre à cette problématique, l'INERIS met en œuvre toutes ses compétences et se positionne en partenaire clé pour faciliter le développement des nouvelles filières, intervenant auprès de tous les acteurs (industriels, pouvoirs publics, réseaux de recherche, etc.). C'est notamment le cas pour les batteries des véhicules électriques.

Ainsi, l'Institut mène des travaux de recherche sur la sécurité des batteries avec les acteurs de la filière, notamment le réseau de recherche et technologie sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E) qui réunit laboratoires publics, industriels et autres établissements scientifiques

note 1 Essais abusifs : influence de la nature des composants, de l'état de charge, du vieillissement...

LE VÉHICULE DÉCARBONÉ : UNE OPPORTUNITÉ ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Les formes de mobilité sont appelées à changer profondément, en France et dans le monde, au cours des années à venir.

Le Gouvernement a fait du développement des véhicules « décarbonés » (véhicules rechargeables, 100 % électriques ou hybrides rechargeables) une priorité importante de sa politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le déploiement de ces véhicules est identifié comme une opportunité économique et environnementale pour la France.

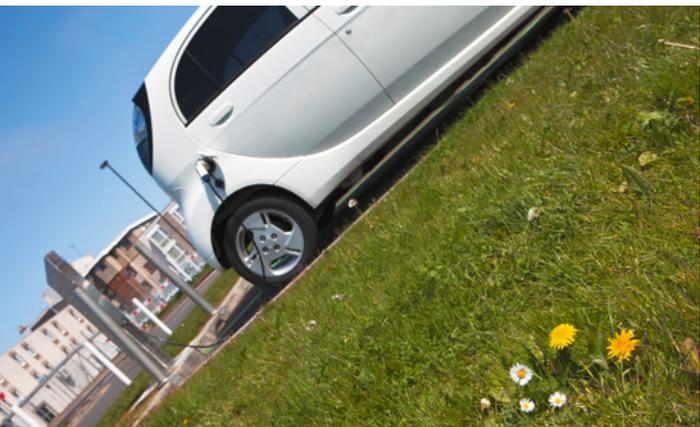
Un plan national, destiné à faire circuler 2 millions de voitures électriques et hybrides rechargeables en 2020, a été lancé en octobre 2009. Ce plan comporte 14 actions visant à intensifier l'effort de recherche, favoriser l'émergence de l'offre industrielle, stimuler la demande et déployer une infrastructure de recharge pour les véhicules « décarbonés ».

De tels enjeux ont conduit différents acteurs de la société à se prononcer sur le déploiement du véhicule électrique notamment les consommateurs et les élus. En tant que relais, les médias jouent un rôle important dans la construc-

MARCHÉ ANNUEL DU VÉHICULE DÉCARBONÉ À PARTIR DE 2020

Le véhicule décarboné représente un marché évalué entre 20 et 50 milliards d'euros par an à partir de 2020 en Europe (dont 7,5 milliards en France). Les appels d'offres publics et privés sur les achats groupés permettront de constituer un marché de flottes de 100000 véhicules d'ici à 2015.

tion de cette opinion. Plusieurs actualités sur le dernier trimestre 2011 ont donné lieu à un traitement médiatique important, notamment le lancement de l'Autolib à Paris. On voit au travers des éléments présentés en annexe I que l'opinion des consommateurs et des élus est encore en construction malgré un consensus assez fort sur l'intérêt écologique perçu de ce type de véhicule et les enjeux économiques qu'il représente. ■■■



2 millions

**DE VOITURES ÉLECTRIQUES
ET HYBRIDES RECHARGEABLES
MISES EN CIRCULATION D'ICI
2020 EN FRANCE**



3 PRINCIPAUX SYSTÈMES DE VÉHICULE ÉLECTRIQUE

- ◆ Le véhicule purement électrique dont le moteur est alimenté par une batterie qui doit être rechargée.
- ◆ Le véhicule hybride qui associe moteurs thermique et électrique. La batterie est rechargée de plusieurs manières (générateurs électriques couplés au moteur thermique, récupération d'énergie mécanique dissipée lors du freinage ou par les amortisseurs...).
- ◆ Le véhicule hybride rechargeable qui diffère du véhicule hybride car sa batterie peut aussi être rechargée sur le secteur électrique.

LES BATTERIES ÉLECTROCHIMIQUES : L'OPTION LA PLUS PROMETTEUSE

A court et moyen termes, les systèmes électrochimiques semblent être l'option la plus prometteuse pour le stockage embarqué dans les véhicules électriques ou hybrides rechargeables. Les batteries électrochimiques convertissent l'énergie d'une réaction chimique en énergie électrique.

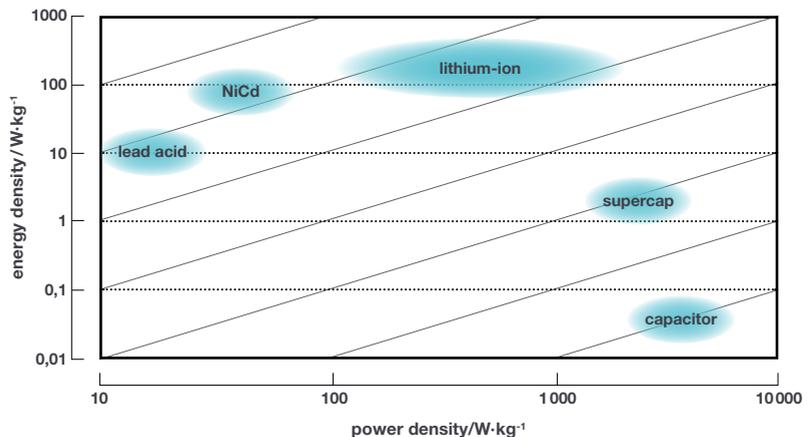
Il en existe deux grands types :

- ◆ **les accumulateurs en milieu aqueux** comprenant des systèmes acides (batterie au plomb) ou alcalins (batteries nickel-cadmium, nickel-hydrure métallique),
- ◆ **les accumulateurs en milieu organique** (batteries au lithium).

figure 1.

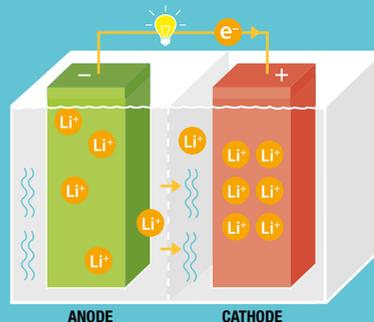
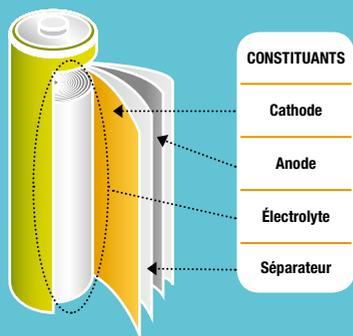
Diagramme de Ragone de différents systèmes de stockage électrochimique

Ce diagramme compare les performances énergétiques de différents systèmes de stockage électrochimique. La technologie Li-ion y apparaît comme la plus prometteuse.



LES BATTERIES AU LITHIUM-ION

À ce jour, la voie la plus explorée par les constructeurs de véhicules électriques est celle des batteries au lithium, en particulier lithium-ion. Ce sont en effet ces dernières qui présentent pour l'instant les meilleures performances énergétiques. Les batteries électrochimiques requièrent néanmoins encore des améliorations en matière de performance (capacité et durée de vie), de réduction du coût et de sécurité.



► Le fonctionnement d'un générateur électrochimique repose sur le stockage de l'énergie sous une forme chimique, puis sur sa libération, lors de la décharge, sous forme de courant électrique au cours de réactions électrochimiques dites d'oxydo-réduction. Lorsque ces réactions ne sont pas réversibles, on parle de pile. Lorsqu'elles le sont et que l'on peut recharger le système en faisant passer un courant électrique en sens inverse, on emploie le terme d'accumulateur. Une batterie Li-ion, ou accumulateur Li-ion, est constituée de deux électrodes isolées par un séparateur et d'un électrolyte assurant l'échange ionique du système. Durant la décharge, une réaction d'oxydation se produit à l'électrode négative, produisant des ions Li^+ et des électrons. Les ions sont véhi-

figure 2.

À gauche : composants d'une batterie Li-ion. À droite : principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion lors de l'utilisation

culés grâce à l'électrolyte jusqu'à l'électrode positive où va se produire une réduction. Ces ions vont alors être « insérés » dans le matériau d'électrode. Lors de la charge le processus inverse est effectué. Ainsi, c'est à l'électrode positive que se trouvera la réaction d'oxydation et à l'électrode négative une réduction. Les ions Li^+ vont être acceptés à nouveau par le matériau de l'électrode négative, les électrons transitant par le circuit électrique extérieur. ■■■■

LES SUPERCAPACITÉS

► Les supercapacités possèdent une densité de puissance très supérieure aux batteries Li-ion mais une densité d'énergie dix à vingt fois plus faible. Elles sont actuellement destinées à des applications stationnaires, liées au transport urbain (train, tramway, bus) et à l'automobile.

Le principe des supercapacités dites symétriques repose sur la création d'une double couche électrochimique par l'accumulation de charges électriques à l'interface entre une solution ionique (électrolyte) et des électrodes en carbone à haute surface spécifique. À la différence des batteries, il n'y

a pas de réaction d'oxydo-réduction, mais une accumulation de charges comme dans un condensateur conventionnel. Actuellement, il existe des technologies hybrides alliant les principes des batteries au lithium et des supercapacités. Utilisée dans un véhicule, la supercapacité permet par exemple de récupérer et stocker l'énergie de freinage, puis de la restituer au redémarrage (fonction « start and stop »), renforçant ainsi l'autonomie et la durée de vie de la batterie au lithium. ■■■■

Dans le cadre de son rôle d'appui au ministère chargé de l'écologie, l'INERIS a produit en 2010 des études pour fournir des éléments d'information sur la sécurité de la filière véhicules électriques.

Les premières conclusions de ces études ont conduit l'INERIS à réaliser en 2011 des modélisations et des travaux expérimentaux sur les risques d'incendie de la batterie. En parallèle de ces travaux d'appui aux pouvoirs publics, l'INERIS apporte sa contribution à des travaux d'expertise au niveau international, notamment dans le cadre de sa collaboration avec la Fire Protection Research Foundation (FPRF).

SÉCURITÉ DE LA FILIÈRE VÉHICULES ÉLECTRIQUES

HIÉRARCHISATION DES ENJEUX LIÉS À LA SÉCURITÉ DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

L'INERIS a réalisé une analyse préliminaire de risques (incendie, explosion, effets toxiques aigus) sur l'ensemble du cycle de vie des véhicules électriques (figure 1). Un point d'attention particulier a été accordé à la batterie (conception, fabrication, transport, stockage, utilisation, fin de vie et recyclage...).

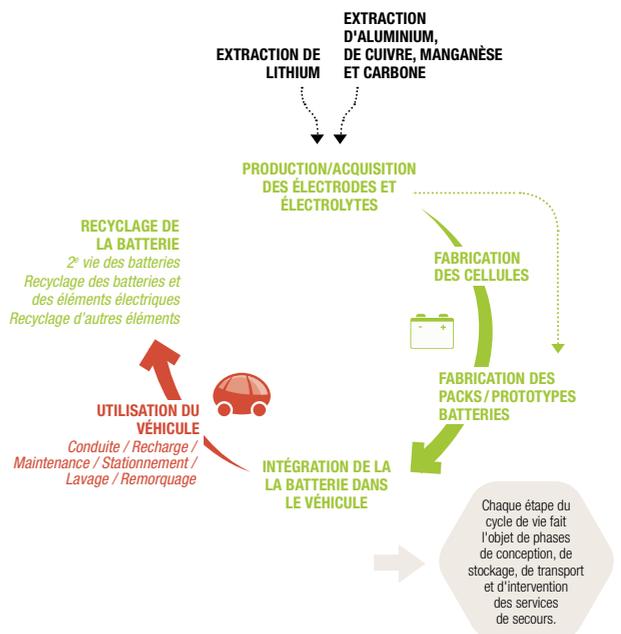
Ce travail d'analyse préliminaire n'avait pas pour vocation d'évaluer et comparer des technologies de batteries entre elles ou de quantifier précisément un type de risque. Son objet était de déterminer et hiérarchiser les travaux complémentaires qu'il conviendrait de mener.

Cette étude n'est pas le fruit de travaux expérimentaux de l'Institut. Elle s'est fondée sur les données disponibles dans la littérature scientifique au mois d'octobre 2010 et complétée par de nombreux entretiens avec les différents acteurs du domaine.

Trois documents préparatoires ont nourri l'élaboration de cette analyse de risques :

- ◆ le premier inventorie les différentes technologies de batteries utilisées et susceptibles d'être mises en œuvre dans les prochaines années, >>>

figure 1.
Cycle de vie des véhicules tout électriques et électriques hybrides



L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DE RISQUES

L'analyse préliminaire de risques sur l'ensemble du cycle de vie de la filière véhicules électriques (incendie, explosion, effets toxiques aigus) a identifié des scénarios de risques à chaque étape et les a classés par niveau de risque croissant (figure 2). Les risques associés aux 50 scénarios identifiés ont été évalués à l'aide d'une matrice de criticité et de maîtrise des risques (tableau 1).

50
SCÉNARIOS
DE RISQUES
IDENTIFIÉS



figure 2.
Répartition des 50 scénarios de risques
Ils concernent l'ensemble du cycle de vie de la filière véhicules électriques.

► Parmi les 50 scénarios accidentels potentiels identifiés par l'INERIS au cours des différentes étapes du cycle de vie des batteries, 12 ont été considérés comme les plus critiques et sont identifiés en rouge. Ils concernent notamment les étapes du stockage, de la recharge et de l'utilisation.

La « cartographie » obtenue permet ainsi d'identifier d'une part, des scénarios présentant un risque important compte tenu des informations disponibles ; d'autre part, des scénarios pour lesquels les connaissances et informations disponibles,

au moment de la rédaction du rapport, ne permettent pas d'exclure qu'ils présentent des risques significatifs.

Un point de vigilance particulier doit être accordé au Battery Management System (BMS) qui ne fait l'objet pour l'instant d'aucune réglementation ou normalisation (projet en cours) alors qu'il joue un rôle essentiel en matière de sécurité d'usage de la batterie, tant lors de la marche du véhicule que lors des opérations de charge à l'arrêt. ■■■■

tableau 1.

Analyse préliminaire de risques - cartographie des scénarios identifiés

La criticité des risques est déterminée selon 4 niveaux en fonction d'une appréciation des conséquences potentielles liées : aux pertes financières ; à l'importance de l'impact sur les cibles (environnement, hommes, faune, flore...) ; à l'importance des moyens d'intervention ; à l'importance des quantités de matières dangereuses stockées.

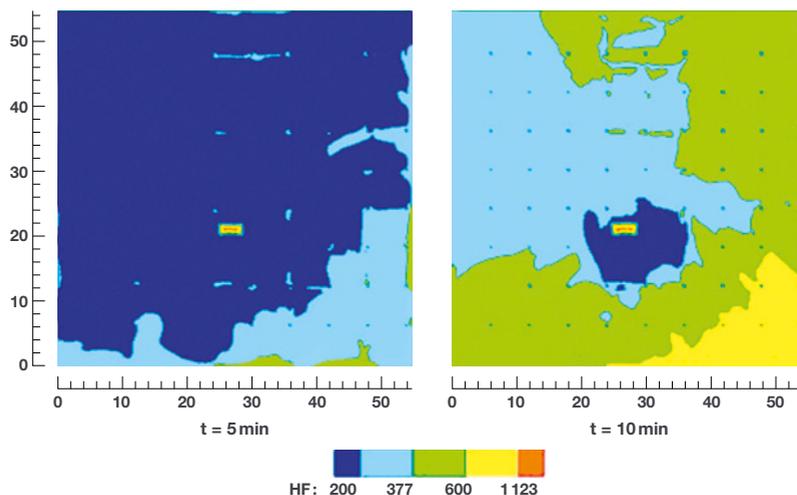
Le degré de maîtrise des risques a été également estimé selon 4 niveaux d'importance en fonction : de l'état des connaissances scientifiques et techniques ; des mesures de maîtrise des risques en place ; du retour d'expérience ; des barrières réglementaires et normatives.

NIVEAU DE CRITICITÉ	4	16	17-19-21-22-25 37-40-45	26	
	3	8-10-13-34-38	1-3-6-7-18-24 27-30-31-33-36-48	4-20-23	
	2	9-11-14-32-35 39-43-44	2-5-12-29-41 42-49	15-28-46-47-50	
	1	7 bis			
MATRICE DE CRITICITÉ		1	2	3	4
	MAÎTRISE DES RISQUES : BESOIN DE DÉVELOPPEMENT DE CONNAISSANCES / COMPÉTENCES SUR LA MAÎTRISE DES RISQUES				

Les risques associés aux 50 scénarios identifiés ont été évalués à l'aide d'une matrice de criticité et de maîtrise des risques (tableau 1).

Ces scénarios sont présentés en annexe 4, page 33. ➔

figure 3.
Évolution de la concentration en fluorure d'hydrogène (HF) dans un plan horizontal à 1,8 m du sol avec une légende correspondant aux seuils d'effets :
SEI₃₀ : 200 ppm ;
SEL₃₀ : 377 ppm ;
SEI₁₀ : 600 ppm ;
SEL₁₀ : 1 123 ppm



Seuils d'effets irréversibles et létaux
SEI₃₀ et SEI₁₀ = seuil des effets irréversibles après une exposition de 30 min et 10 min ;
SEL₃₀ et SEL₁₀ = seuil des effets létaux après une exposition de 30 min et 10 min.
La concentration de gaz est indiquée en ppm (parties par million).

- » ♦ le deuxième, réalisé par l'UTAC (Union technique de l'automobile du motocycle et du cycle) avec l'appui de l'INERIS, fait le point sur le contexte réglementaire et normatif dans lequel s'inscrit la filière véhicules électriques,
- ♦ le troisième porte sur l'accidentologie et recense les principaux incidents ou accidents ayant impliqué des batteries électriques jusqu'en 2010.

MODÉLISATION D'UN FEU DE VÉHICULE ÉLECTRIQUE EN PARKING SOUTERRAIN

Dans l'analyse préliminaire de risques, les situations accidentelles dans les lieux confinés, comme les parkings souterrains, constituent un scénario pour lequel les risques ne peuvent être exclus tant que des études approfondies n'ont pas été menées (cf. scénario 25 portant sur les risques accrus d'explosion, incendie et dispersions toxiques en milieu confiné).

Des premières simulations numériques et des notes de calculs préliminaires ont donc été réalisées pour le ministère chargé de l'écologie début 2011, faute d'informations issues de situations réelles.

Elles visaient à répondre à la question suivante : en cas d'incendie dans un parking, un véhicule électrique représente-t-il un danger supplémentaire par rapport à un véhicule thermique équivalent ?

« EN CAS D'INCENDIE DANS UN PARKING, UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE REPRÉSENTE-T-IL UN DANGER SUPPLÉMENTAIRE PAR RAPPORT À UN VÉHICULE THERMIQUE ÉQUIVALENT ? »

- Concernant les feux de véhicules électriques et thermiques, 4 hypothèses principales ont été retenues. Elles portent sur :
- ♦ la puissance développée par l'incendie et sa courbe de développement,
 - ♦ le comportement au feu de la batterie et la durée de l'incendie d'une batterie,
 - ♦ la composition des fumées pour l'incendie d'un véhicule thermique.
 - ♦ la quantité de fluorure d'hydrogène (HF) produit par l'incendie d'une batterie électrique.

La modélisation s'est également efforcée de tenir compte de la géométrie et du système de ventilation du parking. Ces simulations préliminaires ont montré que, pour le véhicule thermique comme pour le véhicule électrique, la variable critique est la visibilité qui chute rapidement,

rendant l'évacuation des personnes présentes dans le parking délicate. Le temps d'évacuation a alors été évalué à moins de 10 minutes.

On anticipe, dans les deux cas, des effets sur la santé, avec une différence entre le véhicule thermique et le véhicule électrique :

- ◆ pour le véhicule thermique, les concentrations en monoxyde de carbone (CO) atteignent en 10 minutes le seuil des effets irréversibles pour une surface très faible du parking,

- ◆ pour le véhicule électrique, les concentrations en HF dépassent le seuil des effets irréversibles en 10 minutes sur une surface faible (10 %) par rapport à la surface totale du parking, mais qui s'avère beaucoup plus importante que dans le cas du véhicule thermique (*figure 3*).

Par ailleurs, la concentration en HF pourrait constituer un degré de risque supplémentaire dans les scénarios d'incendie où le temps d'évacuation dépasserait 10 minutes.

Les résultats présentés ci-dessus sont partiels. En effet, la confidentialité des données transmises par les industriels pour réaliser ces travaux ne permet pas à l'INERIS de diffuser l'intégralité des données d'entrées et des résultats

obtenus. En outre, ils sont à considérer avec précaution. Certaines hypothèses retenues dans ces simulations n'ont pu être confirmées. De plus, elles simulent une situation réaliste majorante. Ainsi, si l'augmentation du potentiel toxique des fumées lié à la présence de HF semble avérée du fait de la présence de fluor dans les batteries envisagées, la quantification de cette augmentation demeure délicate en l'absence d'essais à échelle réelle.

ESSAIS INCENDIE RÉALISÉS À ÉCHELLE RÉELLE SUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Afin d'évaluer plus précisément si les véhicules électriques dotés d'une batterie lithium-ion présentent un risque supplémentaire en cas d'incendie en milieu confiné, une campagne d'essais incendie à échelle réelle a été réalisée >>>

Essais incendie d'un véhicule électrique à échelle réelle



Fin 2009

Le ministère chargé de l'écologie demande une **analyse préliminaire des risques de la filière véhicules électriques**.

2010

Remise des rapports « analyse préliminaire des risques », « accidentologie », « technologie » et « réglementation ».

19 janvier 2011

Présentation par le ministère aux principaux acteurs de la filière des problématiques prioritaires identifiées par le ministère à la suite de l'étude précitée.

Février-mars 2011

Trois groupes de travail sont chargés de **déterminer les mesures de sécurité à retenir**.

À partir d'août 2011

Campagne d'essais incendie packs et véhicules électriques.

» à l'automne 2011. Pour ce faire, l'INERIS a été mandaté par certains constructeurs automobiles français.

Ces essais ont confirmé deux conclusions issues des modélisations :

- ◆ comme pour les véhicules thermiques, la visibilité chute très rapidement (opacité complète au bout de 10 minutes). Dans les deux cas, l'évacuation nécessite donc d'être effectuée dans ce délai de 10 minutes,
- ◆ l'émission significative de fluorure d'hydrogène (HF).

Cependant, ces essais laissent entrevoir que, pour les véhicules électriques, la cinétique (comportement du feu) est moins rapide que celle anticipée dans les modélisations préliminaires ou observées lors d'incendies de packs isolés.

Ces résultats conduisent l'INERIS à recommander de soutenir, dans les discussions internationales en cours sur les règles d'homologation des véhicules électriques, l'adoption de dispositions relatives :

- ◆ aux modalités d'installation de la batterie dans le véhicule, qui jouent plusieurs rôles notamment : protection

« LES TRAVAUX DE L'INERIS RÉALISÉS À CE JOUR N'ONT PERMIS D'IDENTIFIER AUCUN VERROU TECHNOLOGIQUE MAJEUR EMPÊCHANT LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE »

contre les agressions externes de la batterie, confinement des émissions de gaz, facilité d'identification et d'intervention pour des services de secours,

- ◆ à la fiabilité et l'efficacité du Battery Management System (BMS), qui conditionne significativement l'analyse des risques de certains scénarios identifiés.

Les travaux de l'INERIS réalisés à ce jour ont permis d'identifier un certain nombre de risques et les pistes de recherche ou d'expertise pour les réduire. Néanmoins, aucun verrou technologique majeur empêchant le développement de la filière n'est apparu. ■■■■

+ D'INFO

Les rapports d'étude et synthèses de l'INERIS sont téléchargeables sur le site Internet www.ineris.fr

[Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques : données de base sur les différentes technologies de stockage d'énergie. Rapport d'étude INERIS, juin 2010.](#)

[Approche de la maîtrise des risques spécifiques à la filière véhicules électriques. Procès-verbal n°10/02725-1, INERIS-UTAC, octobre 2010.](#)

[Accidentologie relative aux systèmes de stockage d'énergie électrochimique : analyse du retour d'expérience. Rapport d'étude INERIS, septembre 2010.](#)

[Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques. Analyse préliminaire des risques. Rapport d'étude INERIS, juin 2011.](#)

[Synthèse de modélisations préliminaires de l'impact d'un feu de véhicule électrique en parking souterrain. Note INERIS, septembre 2011.](#)

[Éléments de synthèse suite aux premiers essais incendie réalisés à échelle réelle. Note INERIS, décembre 2011.](#)

+ D'INFO FOCUS

Lecoq A., Bertana M., Truchot B., Marlair G. Fire tests on vehicles with electric and combustion engines. International Association for Fire Safety Science, newsletter n° 32, avril 2012.

Lithium-Ion Batteries hazard and use assessment, Exponent, prepared for the Fire Protection Research Foundation, juillet 2011.

French connection. Upcoming seminar underscores global impact of European research on lithium-ion batteries, NFPA journal, Mars-avril 2012. www.nfpa.org

COLLABORATION AVEC LA FIRE PROTECTION RESEARCH FOUNDATION



Depuis 2006, l'INERIS collabore avec la Fire Protection Research Foundation¹ (FPRF), fondation de recherche américaine affiliée à la National Fire Protection Association² (NFPA). L'INERIS a d'ailleurs conclu avec la FPRF un accord de coopération sur le stockage et le transport des matières dangereuses. Dans le cadre de ses missions, la fondation est amenée à conduire des études afin d'évaluer les risques incendie liés aux batteries lithium-ion.

■ L'INERIS est le seul organisme français à avoir été sollicité pour participer à ces travaux et fait partie des membres du comité technique associé. La première phase de cette collaboration a donné lieu à la publication, par le cabinet de conseil américain Exponent en juillet 2011, d'une synthèse bibliographique sur les risques associés aux cellules et batteries lithium-ion sur l'ensemble du cycle de vie. Elle y mentionne les travaux de l'INERIS et la certification ELLICERT. L'approfondissement des connaissances en la matière permettra d'identifier les mesures de protection appropriées en cas d'incendie de batteries Li-ion.

Cette étude (phase I du programme) comporte sept chapitres :

- ◆ une introduction générale sur la technologie lithium-ion, pour les cellules et les batteries,
- ◆ une présentation des différentes applications des batteries au lithium-ion (médical, électronique, automobile, aérospatial, stockage d'énergie),
- ◆ un résumé des principales règles et normes applicables aux batteries Li-ion, en particulier en matière de transport et de sécurité,
- ◆ un recensement des principales défaillances sur l'ensemble du cycle de vie de la batterie et pour différentes conditions d'utilisation,
- ◆ une analyse du cycle de vie d'une cellule ou d'une batterie, en particulier les procédures de manipulation, transport et stockage au cours de différentes étapes du cycle de vie,
- ◆ une évaluation du risque incendie associé au transport et au stockage de ces batteries,
- ◆ une discussion sur les incertitudes existantes en matière de risque incendie des batteries Li-ion et les essais pouvant être conduits afin de les réduire.

En 2012, les travaux se poursuivent (phase II du programme) et portent sur le développement des connaissances permettant d'optimiser les mesures de prévention et de protection du stockage de piles et batteries au lithium-ion.

Ces travaux comportent deux phases :

- ◆ identification des cas majorants pour chaque catégorie de stockage,
- ◆ réalisation d'essais de protection incendie selon les cas majorants identifiés en utilisant différents agents extincteurs et visant le dimensionnement d'installations de protection par

HIGH CHALLENGE STORAGE PROTECTION SEMINAR

La NFPA a organisé le 27 juin 2012 à Paris un séminaire international pour aborder la question du risque incendie lors du stockage et les mesures de protection à mettre en œuvre dans cette situation. L'INERIS était membre d'honneur de ce séminaire et y a présenté ses travaux sur les risques d'incendie liés au stockage des batteries lithium-ion, avant commercialisation et en fin de vie. Une centaine de participants se sont réunis (professionnels de la protection incendie, assureurs, centres techniques, industriels, représentants de l'administration, bureaux d'études). Ils ont notamment mis en évidence le manque de données sur les mesures de protection à prendre, en cas de départ de feu, dans les entrepôts contenant de grandes quantités de batteries Li-ion.

sprinklers. Les résultats de ces essais permettront d'élaborer un guide sur les mesures de protection incendie appropriées dans les dépôts de piles et batteries et de fournir des informations pour l'intervention des secours. ■■■■

note 1 La Fire Protection Research Foundation programme, coordonne et valorise des recherches sur la sécurité incendie en collaboration avec des scientifiques et des laboratoires dans le monde entier.

note 2 La National Fire Protection Association est une association américaine à but non lucratif leader dans les domaines de la sécurité, en particulier incendie. Fondée en 1896, cette association élabore des règles et des normes partagées par les parties prenantes, préconise des travaux de recherche, dispense des formations et propose des programmes d'enseignement. La NFPA rassemble plus de 70 000 membres à travers le monde.

Depuis de nombreuses années, l'INERIS conduit des travaux de recherche sur le stockage de l'énergie, majoritairement orientés sur les batteries lithium-ion. Dans sa feuille de route de recherche 2012-2019 (annexe 2), l'Institut envisage d'élargir ses connaissances aux nouvelles technologies de stockage électrochimique, pour des applications stationnaires et mobiles.

ÉTUDE DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE À L'INERIS

BATTERYNANOSAFE: ÉVALUER LES RISQUES THERMIQUES ET TOXIQUES LIÉS À L'UTILISATION DES BATTERIES LI-ION EN CONDITIONS ABUSIVES

L'INERIS a participé au projet de recherche BATTERYNANOSAFE, portant sur la sécurité des nouvelles générations de batteries lithium-ion incorporant des nanomatériaux. Financé par la Région Picardie, il a été conduit en partenariat avec le Laboratoire de réactivité et de chimie des solides (LCRS), unité mixte du CNRS et de l'université de Picardie Jules Verne.

Dans le cadre de ce projet, une thèse encadrée conjointement par l'INERIS et l'université de Picardie Jules Verne a été réalisée¹. Cette thèse a été conduite par Perrine Ribière de septembre 2007 à septembre 2010.

L'objet de ce travail de thèse était d'évaluer les risques thermiques et toxiques liés à l'utilisation des batteries Li-ion en conditions abusives et de mieux comprendre les mécanismes générant des instabilités.

Cette thèse a permis de mettre en évidence le rôle majeur des composés de l'électrolyte dans la sécurité des batteries. Elle a en effet montré que :

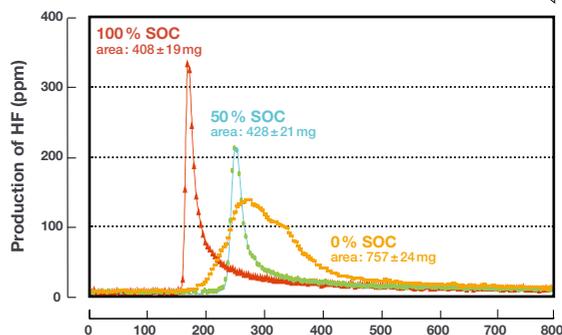
- ◆ l'énergie de combustion est principalement due aux solvants de l'électrolyte,
- ◆ la toxicité lors de la combustion est relative à la production de fluorure d'hydrogène (HF) provenant pour moitié du sel de l'électrolyte,

note 1_ Thèse de doctorat spécialité sciences des matériaux, Étude de la sécurité des batteries Li-ion : de la cellule au matériau, Perrine Ribière, soutenue le 24 juin 2011 à l'université de Picardie Jules Verne.

figure 1.

Quantification des gaz toxiques

Les travaux mettent en évidence le dégagement d'une quantité non négligeable de fluorure d'hydrogène (HF) dont la cinétique d'émission dépend fortement de l'état de charge de la batterie.



- ◆ la réactivité de l'électrode négative chargée vis-à-vis de l'électrolyte lors d'une montée en température est conditionnée par la stabilité thermique des produits de réduction.

Ainsi les futurs travaux pourraient se focaliser sur le développement d'un sel d'électrolyte contenant moins de fluor. Concernant les réactions exothermiques observées, il s'agira de confirmer les mécanismes proposés, d'élargir l'étude à d'autres systèmes et de développer de nouveaux outils analytiques pour compléter les données obtenues.



Essais de combustion au calorimètre de Tewarson du Sodium CarboxyMethyl Cellulose (Na-CMC) - un composant largement utilisé dans la formulation des électrodes pour les batteries Li-ion.

DEGAS : IDENTIFICATION DES GAZ ÉMIS LORS D'UNE UTILISATION ABUSIVE

Ce projet a démarré en 2011 pour une durée de trois ans. Le projet DEGAS vise à développer des tests de sécurité liés à l'émission de gaz toxiques par les batteries Li-ion. Coordonné par l'université de Picardie Jules Verne, en partenariat avec l'INERIS, il s'inscrit dans la continuité des travaux menés dans le cadre du projet BATTERYNANOSAFE qui ont notamment mis en évidence le dégagement d'une quantité non négligeable de fluorure d'hydrogène lors de la combustion d'une batterie Li-ion. Comme ce dernier, il est financé par la Région Picardie.

Ce projet porte sur la sécurité des batteries Li-ion et plus particulièrement sur l'identification des gaz émis lors d'une utilisation abusive (combustion, surcharge, court-circuit...). Ses principales étapes sont :

- ◆ la mise au point de nouveaux outils analytiques pour la détection et l'identification des gaz. Pour cette étape,

l'INERIS développe des méthodes de prélèvement et d'analyse des gaz émis et des méthodes d'évaluations simplifiées des effets toxiques provenant de ces émissions,

- ◆ l'étude des gaz émis lors d'utilisations abusives (tests de pyrolyse, combustion et surcharge) pour des matériaux classiques d'électrodes et d'électrolytes,

- ◆ l'étude des matériaux d'électrodes, d'électrolytes et d'additifs potentiellement candidats dans les futures batteries (alliages de lithium et matériaux de « conversion » pour les composés d'électrode négative, fluorosulfates pour les composés d'électrode positive). Des travaux de recherche sont également entrepris pour la conception de nouveaux additifs ou sels de lithium. La comparaison entre les matériaux utilisés et ces nouveaux matériaux sera réalisée,

- ◆ un bilan des résultats expérimentaux de manière à obtenir différentes échelles de risques à partir de l'étude de phénomènes tels que l'émission de gaz toxiques, l'emballement thermique ou l'explosion à partir des tests de sécurité effectués sur les matériaux d'électrodes et d'électrolytes (incluant ou non des additifs). L'INERIS est particulièrement associé à cette étape du projet et tiendra compte de ces résultats dans les travaux futurs réalisés au sein de la plateforme STEEVE Sécurité.

Les résultats obtenus permettront de trouver les meilleures associations de matériaux d'électrodes et d'électrolytes pour la fabrication d'une batterie Li-ion présentant le moins de risques possibles lors d'utilisations abusives.

« PROJET DEGAS : LES RÉSULTATS OBTENUS PERMETTRONT DE TROUVER LES MEILLEURES ASSOCIATIONS DE MATÉRIAUX D'ÉLECTRODES ET D'ÉLECTROLYTES POUR LA FABRICATION D'UNE BATTERIE LI-ION »

« PROJET HELIOS : LES 18 PARTENAIRES ONT POUR OBJECTIF D'AMÉLIORER LES PERFORMANCES, LA FIABILITÉ ET LA SÉCURITÉ DES BATTERIES À HAUTE ÉNERGIE DESTINÉES AUX VÉHICULES ÉLECTRIQUES DE SÉRIE »

AUTRES PROJETS SUR L'ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ DES BATTERIES

PROJETS ACCEPTÉS :

- ◆ **STABALID.** Projet européen sur les batteries Li-ion utilisées pour des applications stationnaires. Il a pour partenaire un fabricant de batteries, SAFT.
- ◆ **NECOBAULT.** Projet européen sur les batteries métal-air pour des applications automobiles. Il a également SAFT pour partenaire.

PROJETS EN COURS DE SOUMISSION :

- ◆ **PROGEBALI.** Projet national (financement OSEO demandé) sur les prochaines générations de batteries Li-ion. Il a également SAFT pour partenaire.
- ◆ **CYCLADE.** Projet national (financement ADEME¹ demandé) sur la filière de recyclage des batteries Li-ion. Il a pour partenaire RECUPYL, société spécialisée dans le recyclage des batteries.

HELIOS : ÉVALUER LA SÉCURITÉ DES BATTERIES À HAUTE ÉNERGIE

Dénommé, HELIOS pour High Energy Lithium-Ion Storage, ce projet d'une durée de quatre ans (2009-2012) est financé dans le cadre du 7^e PCRD (Programme cadre de recherche et développement) de l'Union européenne.

Les 18 partenaires ont pour objectif d'améliorer les performances, la fiabilité et la sécurité des batteries à haute énergie destinées aux véhicules électriques de série. Les travaux portent sur les quatre couples électrochimiques de batteries au lithium suivants : Lithium Nickel Cobalt Oxide/Graphite ; Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide/Graphite ; Lithium Manganese spinel/Graphite ; Lithium Iron Phosphate/Graphite.

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet sont divisés en sept « workpackages ». L'INERIS est en charge du sixième, dédié à l'évaluation de la sécurité de ces batteries. Les essais de sécurité portent sur le comportement des batteries soumises à des agressions d'ordre électrique, mécanique et thermique. Ils sont menés à plusieurs échelles, allant du laboratoire à la grandeur réelle. Ils donneront lieu à des recommandations relatives à la conception de la sécurité des équipements de stockage de l'énergie électrique utilisant la technologie lithium-ion. ■■■■■

tableau 1.

Les partenaires du projet HELIOS

Coordonné conjointement par Renault et Opel, ce projet européen réunit d'autres constructeurs automobiles (PSA, Ford, Fiat et Volvo), des centres d'expertise et de recherche (INERIS, EDF, CEA, LRCS, ENEA, Uppsala University...) et un fabricant de batteries (SAFT).

+ D'INFO

<http://www.helios-eu.org/>

note 1_ ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

PARTENAIRES	PAYS
1. RENAULT SAS (RENAULT)	FR
2. ADAM OPEL GMBH (OPEL)	DE
3. PSA PEUGEOT (PSA)	FR
4. VOLVO POWERTRAIN (VOLVO)	SE
5. FORD FORSCHUNGSZENTRUM AACHEN GMBH (FORD)	DE
6. CENTRO RICERCA FIAT S.C.P.A. (CRF)	IT
7. LABORATOIRE DE RÉACTIVITÉ ET CHIMIE DES SOLIDES (LRCS), UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE	FR
8. UPPSALA UNIVERSITY (UU)	SE
9. RWTH AACHEN UNIVERSITY (RWTH)	DE
10. UMICORE N. V. (UMICORE)	BE
11. INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES (INERIS)	FR
12. ZENTRUM FÜR SONNENENERGIE- UND WASSERSTOFF-FORSCHUNG (ZSW)	DE
13. ÉLECTRICITÉ DE FRANCE (EDF)	FR
14. JOHNSON CONTROLS HYBRID AND RECYCLING GMBH (JCHAR)	DE
15. AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY (AIT)	AT
16. COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE (CEA)	FR
17. NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT (ENEA)	IT
18. SAFT SA (SAFT)	FR

LE CALORIMÈTRE, UN ÉQUIPEMENT POUR L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES IMPACTS THERMIQUES ET TOXIQUES DES INCENDIES

▣ Ce calorimètre permet de réaliser des essais de laboratoires sous condition d'air contrôlé - pour simuler des feux bien ou sous ventilés - et de caractériser le comportement au feu de produits et de matériaux dans des conditions d'incendie.

Il permet notamment de mesurer :

- ◆ la propension à l'inflammation et la réponse thermique du matériau à une inflammation pilotée,
- ◆ la propension à la combustion, à travers les paramètres de production de chaleur et de gaz de combustion,
- ◆ l'aptitude d'un matériau (polymère) à propager un incendie (vitesse et extension),
- ◆ les facteurs d'émission des produits de combustion toxiques et polluants.

Contrairement à ce que son appellation pourrait laisser entendre, cet appareil est autant dédié aux mesures thermiques que chimiques. Il est en effet reconnu comme l'un des modèles physiques de feu donnant accès aux données d'entrées servant à l'évaluation de la toxicité des fumées d'incendie. Il peut traiter des échantillons sous forme solide (le cas échéant à l'état divisé), liquide et gazeuse, et même de petits objets (cellules de batterie par exemple).

À l'INERIS, le calorimètre est utilisé pour des activités de recherche, d'appui technique pour l'administration ou des prestations commerciales. Son potentiel d'application est très large : il peut servir à étudier la réactivité des déchets organo-métalliques, la mise en protection d'ateliers d'usinage en cas de départ de feu, la sécurité des batteries ou des liquides ioniques, l'efficacité de protection d'agents d'inertage, la production de données d'entrée nécessaires à l'utilisation de modèles de prédiction des conséquences d'un scénario d'incendie, etc.

Dans le cadre de ses activités de recherche sur la sécurité des batteries, le calorimètre a été utilisé pour les projets DEGAS et BATTERYNANO SAFE (p. 14-15). ■■■

note 1_ Normes ASTM E2058 et NFPA287.

note 2_ Norme ISO 12136:2011.

UNE RECONNAISSANCE INTERNATIONALE

Mis en service en 1997, le calorimètre incendie de l'INERIS est une version légèrement modifiée du calorimètre désigné aux États-Unis sous le vocable de Fire Propagation Apparatus, inventé par le Dr Archibald Tewarson dans les années 1970 ; d'où sa désignation courante de calorimètre de Tewarson.

La version aboutie de cet équipement - datant du début des années 1990 - a fait l'objet d'une reconnaissance normative à laquelle l'INERIS a fortement contribué, d'abord sur le continent américain¹, puis plus récemment à l'international². L'INERIS est aujourd'hui le seul Institut français à disposer d'un calorimètre incendie de ce type et seuls trois modèles comparables sont utilisés en Europe.



Calorimètre à incendie de l'INERIS.
Essai de combustion à niveau constant.

L'INERIS a proposé aux parties prenantes dès octobre 2010 un référentiel de certification volontaire portant sur la sécurité des cellules et packs destinés en particulier aux véhicules électriques et hybrides rechargeables. Ce référentiel vise principalement les technologies lithium-ion et les véhicules de catégories L, M et N¹.

DÉVELOPPER UN RÉFÉRENTIEL ET LE PROMOUVOIR À L'INTERNATIONAL

13 ESSAIS POUR ÉVALUER LE NIVEAU DE SÉCURITÉ DES BATTERIES

Baptisé ELLICERT, pour ELectrique LITHIUM CERTification, ce référentiel s'inscrit dans le cadre du plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables mis en œuvre par le Gouvernement en octobre 2009.

13 essais différents sont conduits sur les cellules et les packs afin d'évaluer le niveau de tenue face à des dysfonctionnements ou agressions électriques, mécaniques ou thermiques (tableau 1). Le référentiel prend également en compte le degré de fiabilité du BMS (Battery Management System). Les résultats obtenus permettent la délivrance d'un certificat pour les cellules et/ou pour les packs sur lequel est mentionnée la classe de sécurité (A, B ou C). La classe C correspond aux exigences minimales de sécurité que l'on peut demander pour les cellules et les packs. Les classes B et A ont les exigences de sécurité les plus renforcées.

*note 1_ Véhicules de catégories L - véhicules à moteur à 2 ou 3 roues et quadricycles à moteur.
Véhicules de catégorie M - véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de personnes et ayant au moins 4 roues.
Véhicules de catégories N - véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de marchandises et ayant au moins 4 roues.*

note 2_ Organisation Internationale de Normalisation (ISO).

note 3_ Commission Electrochimique Internationale (CEI).

NUMÉRO DE L'ESSAI	TYPE D'ESSAI (POUR CELLULE ET PACK)	DYSFONCTIONNEMENT OU AGRESSION CONCERNÉE
1	VIBRATION	MÉCANIQUE
2	CYCLE THERMIQUE	THERMIQUE
3	BASSE PRESSION	MÉCANIQUE
4	STABILITÉ THERMIQUE	THERMIQUE
5	CHARGE FORCÉE	ÉLECTRIQUE
6	DÉCHARGE FORCÉE	ÉLECTRIQUE
7	CHOC OU SECousse	MÉCANIQUE
8	ÉCRASEMENT	MÉCANIQUE
9	PÉNÉTRATION	MÉCANIQUE
10	COURT-CIRCUIT EXTERNE	ÉLECTRIQUE
11	CHUTE	MÉCANIQUE
12	IMMERSION	MÉCANIQUE
13	FEU EXTERIEUR RÉEL OU SIMULÉ	THERMIQUE

tableau 1

Liste des essais réalisés dans le cadre de la certification ELLICERT

13 essais différents sont conduits sur les cellules et les packs afin d'évaluer le niveau de tenue face à des dysfonctionnements ou agressions électriques, mécaniques ou thermiques. Les modalités des essais s'appuient sur un ensemble de standards internationaux, disponibles en 2010, qui chacun ne couvrirait qu'une partie des dysfonctionnements ou agressions visés. Avec la publication récente des normes internationales ISO² ou CEI³, l'INERIS vient d'engager une révision du référentiel ELLICERT pour l'adapter ainsi à l'état de l'art. Cette révision sera disponible fin 2012. Dans le même temps, un grand constructeur automobile français a marqué son intérêt pour la certification ELLICERT pour les batteries équipant, ou destinées à équiper, ses véhicules électriques.

« ELLICERT CONTRIBUE À FOURNIR DES GARANTIES DE SÉCURITÉ ET DE QUALITÉ POUR LES FABRICANTS COMME POUR LES UTILISATEURS EN POSANT DES BASES COMMUNES POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX BATTERIES ÉLECTRIQUES »

Ce référentiel vise à accompagner en matière de sécurité des batteries, sur une base volontaire, les phases de démonstration, test, expérimentation et déploiement des véhicules électriques pour lesquelles un processus réglementaire est encore en phase de gestation.

En posant des bases communes pour l'évaluation des risques liés aux batteries électriques, ELLICERT contribue à fournir des garanties de sécurité et de qualité pour les fabricants comme pour les utilisateurs. Piloté par l'INERIS, le comité de certification d'ELLICERT rend compte de cette diversité en associant des fabricants de batteries, des constructeurs automobiles, des gestionnaires de flotte, des experts nationaux de la filière véhicules électriques, une association de consommateurs et une organisation représentative des élus. Ce comité a eu notamment pour rôle de concourir à l'élaboration du référentiel puis de l'approuver, et de le faire évoluer pour tenir compte de l'avancement de l'état de l'art. ■■■■

Essai "abusif" de batterie à l'INERIS



PROMOUVOIR LE RÉFÉRENTIEL ELLICERT À L'INTERNATIONAL

Afin de promouvoir le référentiel ELLICERT et de développer des partenariats, l'INERIS a pris contact avec des organismes internationaux et européens, acteurs dans le domaine de la sécurité des batteries pour véhicules électriques et hybrides. Ils ont la particularité d'avoir un mode de fonctionnement proche de celui de l'INERIS, travaillant à la fois avec les pouvoirs publics et les partenaires industriels.

Ainsi, l'INERIS collabore depuis 2008 avec Underwriters Laboratories (UL), organisme de certification et de contrôle américain à forte vocation internationale, qui évalue notamment la sécurité de produits, composants, matériaux ou systèmes et délivre des certificats ou élabore des normes en matière de sécurité. C'est dans le cadre de cette activité qu'UL s'intéresse à la sécurité des véhicules électriques. Cet organisme a été associé à l'élaboration du référentiel ELLICERT.

Au niveau européen, l'INERIS a conclu un accord de collaboration d'une durée de trois ans avec HSL (Health and Safety Laboratory), agence gouvernementale britannique traitant des questions de santé et de sécurité.

Des rapprochements avec d'autres organismes sont en cours. En Allemagne, avec BAM, office fédéral allemand de recherche et d'essais sur les matériaux et TÜV SÜD, organisme d'essais, contrôle et certification. En Suède avec SP, Institut public de recherche technique, en vue d'une collaboration notamment sur les agressions thermiques à l'égard des batteries.

Enfin, l'INERIS pourrait rejoindre prochainement l'un des groupes de travail informels sur les véhicules électriques mis en place par la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (ONU-CEE)¹.

note 1_ Le Forum mondial pour l'harmonisation des réglementations sur les véhicules, aussi appelé « groupe de travail 29 » (WP 29), fonctionne dans le cadre de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (ONU-CEE). Il définit un grand nombre de réglementations sur les véhicules, couvrant la sécurité et les exigences environnementales pour les voitures et autres véhicules. Son objectif est de promouvoir des exigences techniques harmonisées qui abaissent les coûts de développement, évitent la répétition des procédures administratives pour l'industrie et contribuent donc à l'efficacité économique et à la réduction des coûts pour les consommateurs et la société.

PRÉCONISATIONS DE LA CORE

SUR LES TRAVAUX DE L'INERIS

Ce dossier a été examiné par les membres de la Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE), qui s'est réunie le 23 mai 2012. Elle recommande :

♦ d'actualiser la cartographie des enjeux au regard des connaissances nouvelles (analyse préliminaire de risques),

♦ de lui faire en 2013 un état d'avancement de l'appropriation du référentiel ELLICERT et du nombre de certificats délivrés.

LA CORE EN QUELQUES MOTS

La Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE) est l'une des instances de gouvernance de l'INERIS. Officialisée par l'arrêté ministériel du 26 avril 2011 relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'INERIS, elle marque le passage d'une gouvernance uniquement scientifique à une gouvernance scientifique et technique, c'est-à-dire incluant également les activités d'expertise et d'appui aux pouvoirs publics. Forte de quinze membres, elle réunit en six collèges des représentants de différents secteurs de la société : monde académique, industriels, Organisations non gouvernementales (ONG), syndicats, élus et État. Elle est ainsi la concrétisation de la démarche d'ouverture à la société de l'INERIS.

La CORE a trois grandes missions : partager les enjeux et les questionnements sociétaux ; appuyer la diffusion des résultats des recherches et expertises de l'INERIS ; contribuer à la programmation de ses travaux scientifiques et techniques. ■■■■

CHRONOLOGIE DE LA DÉMARCHE D'OUVERTURE À LA SOCIÉTÉ DE L'INERIS

AVRIL 2005

Visite de la délégation de parlementaires de la commission « Développement durable et aménagement du territoire ». Au cours de sa visite, la commission a encouragé l'Institut à développer la capacité de ses experts et chercheurs à participer au débat public.

SEPTEMBRE 2006

Le renforcement de la capacité des experts à participer au débat public est inscrit dans le contrat d'objectifs 2006-2010 signé entre l'État et l'INERIS.

2007 - 2008

Le Grenelle de l'Environnement conforte la volonté d'ouverture à la société de l'Institut.

AVRIL 2008

Organisation de la première rencontre-débat avec des représentants d'ONG et d'associations en vue d'échanger sur les résultats de travaux de recherche ou d'expertise de l'Institut. 24 autres débats ont été organisés depuis lors.

MAI 2008

Le conseil d'administration donne un avis favorable à l'évolution envisagée par l'INERIS de ses instances d'évaluation scientifique et technique. Il engage l'Institut à effectuer les démarches nécessaires pour préciser ses propositions.

OCTOBRE 2008

Signature d'une charte d'ouverture à la société avec l'IRSN et l'AFSSET.

JUIN 2009

♦ Ouverture du séminaire scientifique annuel de l'Institut à la société

civile. La création d'une Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE), composée de représentants des différentes composantes de la société, y est décidée.

♦ Signature de l'avenant Grenelle au contrat d'objectifs État-INERIS qui fixe notamment pour objectif l'élargissement de la gouvernance scientifique à de nouveaux acteurs.

SEPTEMBRE 2009

Le conseil d'administration est informé des modalités d'évolution de la gouvernance scientifique de l'Institut discutées lors du séminaire de juin.

MARS 2010

Visite de la CORE à l'INERIS.

JUIN 2010

1^{ère} participation de la CORE au séminaire des orientations scientifiques et techniques de l'INERIS portant sur la préparation du contrat d'objectifs 2011-2015 de l'Institut.

SEPT. PUIS DÉC. 2010

L'INERIS adopte, par délibération du conseil d'administration, la charte nationale de l'expertise qui prévoit dans son article 9 des dispositions particulières relatives au devoir d'alerte. Le protocole de gestion des ressources publiques signé avec l'État en décembre prévoit donc pour l'INERIS d'entreprendre l'investigation « en amont » des suites à donner « en cas d'expression en son sein d'un risque, notamment à caractère environnemental ou sanitaire » et précise que les rapports qui en seront

issus ont vocation à être présentés à la CORE pour avis.

OCT. ET NOV. 2010

1^{ères} réunions de travail de la CORE qui s'impliquent notamment sur les travaux de hiérarchisation des substances chimiques conduits par l'Institut.

AVRIL 2011

Parution au Journal Officiel de l'arrêté ministériel relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques. La CORE est officiellement créée.

SEPTEMBRE 2011

Le conseil d'administration est informé de l'élargissement du comité de suivi de la charte de déontologie à un membre de la CORE issu du collège associations.

SEPT. - OCT. 2011

Les membres de la CORE sont nommés par le Directeur général de l'INERIS après consultation du conseil scientifique pour une durée de trois ans renouvelable.

AVRIL 2012

Le conseil d'administration de l'INERIS approuve la proposition de nomination du président et vice-président de la CORE.

ADAPTER NOS COMPÉTENCES AUX AUTRES APPLICATIONS STATIONNAIRES ET EMBARQUÉES

Dans les prochaines années, l'INERIS continuera à accompagner le déploiement du stockage électrochimique de l'énergie dans son domaine de compétences, à savoir l'évaluation et la maîtrise des risques en situations accidentelles.

Pour les batteries des véhicules électriques, les futures actions de l'INERIS porteront essentiellement sur la mise en œuvre de projets de recherche d'une part et le développement des essais sur la sécurité des batteries d'autre part. Ainsi, d'ici la fin de l'année 2012, un bilan des essais conduits pour les constructeurs automobiles sera réalisé. L'objectif de ces essais étant de permettre, s'ils ne sont pas positifs, d'améliorer le niveau de sécurité de la batterie avant d'envisager une nouvelle tentative.

Par ailleurs, l'INERIS évaluera les risques pouvant être associés aux systèmes de stockages électrochimiques pour d'autres applications stationnaires et embarquées. En particulier le développement des réseaux électriques intelligents dits « *smart grids* » et les systèmes de stockage en appui de la production d'énergie à partir de sources renouvelables (le recours au stockage sert par exemple pour le lissage de la puissance active injectée sur le réseau car la production d'énergie renouvelable est par essence intermittente, ou dans les régions insulaires françaises¹ pour lesquelles, dans le cadre de l'appel d'offres lancé par le Gouvernement en 2009², le stockage est obligatoire dans les installations de production à partir d'énergie solaire). Ces systèmes de

note 1_ Corse et départements d'Outre-mer.

note 2_ Appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire d'une puissance supérieure à 250 kWc.

note 3_ NaS: Batterie sodium-soufre.

note 4_ ZEBRA: Zero Emission Batteries Research Activity.

note 5_ ADEME, Les systèmes de stockage de l'énergie, Feuille de route stratégique, avril 2011.

note 6_ ADEME: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

stockage ont recours à différentes technologies de batteries, Li-ion mais aussi NaS³, ZEBRA⁴, etc.

Enfin, l'INERIS devrait poursuivre son activité dans le domaine de l'évaluation de la sécurité des supercapacités, utilisées pour la fourniture de puissance, dans les transports urbains (bus, tramway, train) et les véhicules (fonction « *start and stop* »).

LES DÉFIS À RELEVER POUR DÉVELOPPER LE STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE DE L'ÉNERGIE

Par ses actions, l'INERIS entend accompagner le déploiement de ces technologies en veillant à une bonne prise en compte de la sécurité et à une bonne maîtrise des risques. Cependant, la maîtrise des risques n'est pas l'unique levier pour assurer le développement pérenne d'une filière. Des études complémentaires, réalisées par des organismes qui possèdent les compétences requises, doivent être menées notamment sur l'analyse du cycle de vie et la filière de recyclage et de seconde vie des batteries. Ainsi, dans sa feuille de route stratégique sur les systèmes de stockage de l'énergie⁵, l'ADEME⁶ a identifié quatre enjeux prioritaires : les enjeux environnementaux lors des phases de conception, de production, d'utilisation et de gestion de la fin de vie des systèmes de stockage ; la valorisation économique du dispositif de stockage qui doit être intégrée dès la phase de conception ; le développement de procédés d'industrialisation de la production des systèmes de stockage d'énergie et l'élaboration de standards pour les dispositifs de stockage ; l'émergence d'un cadre institutionnel et régulateur propice. ■■■

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS ORALES

▶ **Bertana M., Tigreat D., Marlair G., Demissy M.**

Nanotechnologies in batteries, a new challenge toward safety?
The young engineers scientists symposium (YESS 2012)
20 - 22 mars 2012, Berkeley, USA

▶ **Boyanov S., Demissy M., Marlair G.**

Electromobility and safety issues pertaining to new battery storage systems
Batteries for EVs: business case and new developments
Workshop 1-2, Challenge Bibendum Forum
18 - 22 mai 2011, Berlin, Germany

▶ **Marlair G.**

Lithium hazards originating from battery composition
Recharge / EBRA meeting on rechargeable lithium batteries in HEV¹, PHEV² and EV³ Applications. Hazards and safety issues at end of life
18 mai 2011, Brussels, Belgium

▶ **Marlair G.**

Sécurité et recyclage des batteries : réalités et enjeux
pour les applications de transport
Atelier Écomobilité
29 septembre 2009, Paris, France

▶ **Marlair G., Demissy M.**

Safety issues pertaining to rechargeable Li-based batteries: "Current knowledge from literature review and abuse testing and perceived remaining research topics"
Conférence invitée au Collège de France
7 novembre 2011, Paris, France

▶ **Marlair G., Demissy M.**

Strategic research on accidental risks pertaining to batteries at STEEV
3rd ENERO Scientific Workshop "Risk Assessment and Management of Strategic Energy Technologies"
5 mars 2010, Brussels, Belgium

▶ **Marlair G., Lisbona D.**

Prevention and protection issues pertaining to large storage of new and used batteries
Challenging Warehousing, International workshop organized by FPRF
27 juin 2012, Paris, France

▶ **Marlair G., Torcheux L.**

Li-ion safety issues for electric vehicles applications
Proceedings of the International power supply conference and exhibition « Batteries 2009 »
30 septembre - 2 octobre 2009, Cannes, France

▶ **Michot C.**

L'INERIS et la sécurité des batteries pour véhicules électriques
1^{ers} ateliers de l'électromobilité
1^{er} décembre 2011, La Rochelle, France

▶ **Lecocq A.**

Strategic research roadmap for risk management of advanced applications of energy storage systems at INERIS
Batteries 2012
24 - 26 octobre 2012, Nice, France

▶ **Lecocq A., Bertana M., Truchot B., Marlair G.**

Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle
2nd International conference on Fires in Vehicles (FIVE)
27 - 28 septembre, 2012, Chicago, USA

▶ **Rivière P.**

Étude de la sécurité des batteries Li-ion : réactivité de l'électrolyte vis-à-vis des matériaux d'électrodes négatives
Colloque du Groupe français d'étude des composés d'insertion (GFECI)
Mars 2009, Biarritz, France

▶ **Rivière P., Grugeon S., Cachot G., Mathiron D., Morcrette M., Boyanov S., Marlair G., Laruelle S.**

Safety and ageing investigation towards an understanding of electrolyte degradation processes
4th International conference on advanced lithium batteries for automobile applications (ABAA-4)
21 - 23 septembre 2011, Beijing, China

▶ **Rivière P., Laruelle S., Morcrette M., Grugeon S., Boyanov S., Marlair G.**

Investigation of the fire-induced behaviour of Li-ion battery cells
Energy and Environmental Science, 2012, 5, 5271-5280
DOI: 10.1039/C1EE02218K

▶ **Rivière P., Laruelle S., Morcrette M., Grugeon S., Tarascon J.-M., Marlair G., Paillart A., Bertrand J.-P.**

Li-ion battery : safety tests
1st European Advanced Automotive Battery Conference (AABC Europe)
4 - 5 février 2010, Mainz, Germany

note 1_ HEV: Hybrid Electric Vehicle (véhicule hybride).

note 2_ PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle (véhicule hybride rechargeable).

note 3_ EV: Electric Vehicle (véhicule électrique).

annexes

24 ♦ ANNEXE 1

L'opinion publique sur les véhicules électriques

30 ♦ ANNEXE 2

Feuille de route 2012-2019 de la recherche INERIS

32 ♦ ANNEXE 3

Les moyens d'essais

33 ♦ ANNEXE 4

Tableau de l'analyse préliminaire des risques

Qu'il s'agisse des consommateurs ou des élus, l'opinion sur le véhicule électrique est encore en construction. Les enjeux économiques et environnementaux occupent une place encore importante dans le traitement médiatique. Cette opinion aujourd'hui très sensible aux questions d'arbitrages entre économie et santé reste susceptible d'évoluer. L'arrivée de nouvelles thématiques sur les risques peut être de nature à changer la donne.

L'OPINION PUBLIQUE SUR LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE

MOTIVATIONS, ATTENTES ET FREINS À L'ACHAT D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE (enquête de l'observatoire Cetelem de l'automobile, 2011)

L'observatoire Cetelem de l'automobile a réalisé en 2011 une grande enquête auprès des consommateurs afin de connaître leurs motivations, attentes et freins concernant l'achat d'un véhicule électrique.

Cette enquête a été réalisée auprès d'un panel de 6 000 personnes, représentatif de la population totale, de 8 pays d'Europe (Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie, Pologne, Portugal, Royaume-Uni), de la Turquie et de la Russie.

Le véhicule électrique a une très bonne image : sept personnes sur dix estiment que cette voiture est avant tout « écologique ». Il n'y a que les Turcs qui le jugent « économique » avant d'être « écologique » (respectivement 67 % et 48 %). Pour les autres, l'avantage financier arrive en deuxième position, avec 53 % de citations, loin devant le caractère « moderne » (29 %), « silencieux » (19 %) et « fiable » (6 %) du véhicule électrique.

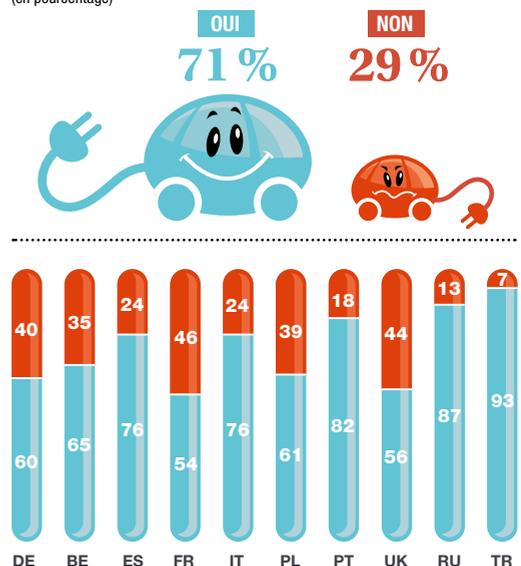
Près de 60 % d'entre eux envisagent l'achat d'un véhicule électrique à l'avenir, même s'il ne rencontre pas le même succès partout. De nombreuses personnes interrogées pensent que son utilisation sera plus économique que celle de son équivalent thermique.

figure 1.

Extraits de l'enquête de l'observatoire Cetelem de l'automobile

71 % des personnes interrogées se déclarent intéressées par le véhicule électrique. Attirés par ce qui est plus qu'ailleurs une nouveauté, les Turcs et les Russes font preuve d'un enthousiasme marqué (93 et 87 %). À l'opposé, les Français affichent un intérêt plus modéré (54 %). Un résultat dû sans doute à une maturité plus grande sur cette question et une suspicion liée au souvenir de précédentes expériences infructueuses.

DANS L'ABSOLU, ÊTES-VOUS INTÉRESSÉ PAR LE VÉHICULE 100 % ÉLECTRIQUE ? (en pourcentage)



Source : l'observatoire Cetelem

Le cœur des consommateurs semble donc acquis au véhicule électrique, mais il faudra néanmoins les convaincre sur deux points pour qu'ils passent à l'acte : le prix plus élevé à l'achat qu'un véhicule thermique équivalent et l'autonomie limitée. En effet, non seulement le véhicule électrique est perçu comme « trop cher », mais en plus « l'autonomie n'est pas suffisante ». Enfin, il faut noter que 16 % des personnes interrogées disent ne pas avoir confiance dans ce type de véhicule.

PERCEPTION DES FRANÇAIS SUR LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE (étude Viavoice)

En décembre 2011, l'INERIS a fait réaliser par l'Institut d'étude Viavoice, une enquête documentaire relative à la perception des Français sur le véhicule électrique et le traitement médiatique du risque associé à cette nouvelle technologie.

Pour ce faire, Viavoice a analysé pendant trois mois les retombées de la presse nationale (octobre à décembre 2011). Il faut noter que cette période a été marquée par la médiatisation du lancement d'Autolib et par la question de la sécurité, en particulier le risque d'incendie, des véhicules électriques dans les parkings souterrains.

L'angle choisi dans les médias pour traiter des perceptions des Français concernant les véhicules électriques reste encore aujourd'hui fortement associé à l'idée de la voiture propre et à son développement dans le parc automobile. Ces véhicules bénéficient en effet le plus souvent d'une image de transport propre, vert, par opposition à l'image d'un transport plus traditionnel associé au pétrole, à la pollution, aux émissions de CO₂.

Au-delà de cet aspect factuel, la presse nationale grand public ne relaie que très peu d'informations concernant

« PRÈS DE 60 % DES PERSONNES INTERROGÉES ENVISAGENT L'ACHAT D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE À L'AVENIR »

les risques liés aux véhicules électriques. Lorsque cela est le cas, le traitement médiatique se fait selon deux angles.

Une innovation

Lorsque le véhicule électrique est vu comme une innovation, ce sont les inconvénients de la batterie qui sont mis en avant. L'analogie avec l'exploitation peut-être trop >>>



« LA LOI DU 12 JUILLET 2010, DITE GRENELLE 2, A CONFIE LA COMPÉTENCE DU DÉPLOIEMENT, DES INFRASTRUCTURES DE RECHARGE ACCESSIBLES AU PUBLIC, AUX COMMUNES AINSI QU'À LEURS GROUPEMENTS »

» rapide de véhicules roulant au GPL et les risques mal maîtrisés ayant causé des accidents est parfois effectuée. La presse relaie fortement l'idée que si l'innovation qu'est le véhicule électrique connaissait les mêmes déboires, son image pourrait en être décrédibilisée. Pourtant, malgré cette mise en garde, l'opinion médiatique reste assez positive ou tout au moins neutre sur le sujet. L'innovation que représente les véhicules électriques ne semble pas mise à mal par les inconvénients de leurs batteries. Sans doute cette innovation bénéficie-t-elle encore de l'image très positive d'innovation propre, répondant complètement à l'enjeu environnemental.

Un nouveau moyen de transport

Lorsque le véhicule électrique est vu en tant que nouveau moyen de transport, ce sont les risques plus globaux en cas d'incendie qui sont mis en lumière. Vu sous cet angle, l'arrivée de la voiture électrique pose question, sur différents plans. En premier lieu, l'enjeu économique, le risque lié aux incendies apparaît surtout comme un frein au moment de la phase de démocratisation. Mais c'est également la sécurité des utilisateurs qui fait débat. Sur ce point, les médias semblent en attente de réponses rapides. Un autre risque est également souligné, il s'agit là d'un risque purement pratique, celui de l'augmentation de la consommation d'électricité. Si les véhicules électriques sont des véhicules « propres » en comparaison des autres, leur développement entraînera peut-être un peu plus celui du nucléaire. Sur ce point la plupart des ONG se sont positionnées sur le sujet des véhicules électriques pour rappeler qu'il s'agit d'une solution écologique seulement si l'électricité utilisée pour recharger les batteries est d'origine renouvelable.

LA CONTRIBUTION DES ÉLUS

Les collectivités territoriales

La loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 dite Grenelle 2, a confié la compétence du déploiement des infrastructures de recharge accessibles au public, aux communes ainsi qu'à leurs groupements. En avril 2010, une charte a été signée entre les constructeurs automobiles Renault et PSA, 13 collectivités territoriales pilotes et l'État pour le déploiement d'infrastructures publiques de recharge de véhicules électriques. Ces dernières ont fait l'objet en 2011 d'un livre vert (Louis Nègre, sénateur des Alpes-Maritimes), guide destiné



© Photographika

aux collectivités territoriales dans la mise en œuvre de leur projet de déploiement de l'infrastructure de recharge dans les espaces ouverts au public.

Au Parlement

Le dernier rapport publié est celui de Gérard Voisin en juin 2010. Il s'agit d'une information sur les politiques française, allemande, britannique, espagnole en faveur du véhicule électrique (recherche, incitations fiscales, approche industrielle...) et la politique européenne, dans laquelle a été notamment soulignée la nécessité de l'émergence rapide de normes et de standards européens. En 2011, la question des véhicules propres a été évoquée lors des débats principalement sous le prisme fiscal.

En ce qui concerne les questions écrites, il est intéressant de noter que de nombreux parlementaires ont interrogé le Gouvernement sur :

- ◆ la suppression de la prime pour les véhicules fonctionnant au gaz de pétrole liquéfié (GPL) : une cinquantaine de députés,
- ◆ le soutien apporté par le Gouvernement pour favoriser la production de véhicules hybrides ou électriques : une trentaine de députés et un sénateur,
- ◆ le soutien à l'installation de bornes de recharge : une dizaine de députés.

Un rapport intitulé « La voiture de demain : carburants et électricité » a été réalisé en 2011, à la demande du Premier ministre par un groupe de travail présidé par Jean Syrota et

« LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE EST AUSSI SÛR QUE LE VÉHICULE THERMIQUE »

À l'occasion des rencontres internationales des voitures écologiques le 7 juillet 2011, 6 parlementaires ont fait une déclaration commune en faveur du véhicule électrique. Intitulée « le véhicule électrique est aussi sûr que le véhicule thermique », cette déclaration souligne le niveau d'exigence fort souhaité pour les véhicules électriques en matière de sécurité qui doit se situer au même niveau que celui exigé pour les véhicules thermiques. Les parlementaires appellent néanmoins de leurs vœux le développement de la filière « au moment même où les acteurs du monde entier développent cette nouvelle technologie dans un cadre très concurrentiel où les enjeux économiques, sociétaux et écologiques sont colossaux, il convient de laisser à la France et à cette filière industrielle émergente les meilleures chances de réussite ».

coordonné par le Centre d'analyse stratégique et le Conseil général de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies. Ce rapport a étudié, pour la vingtaine d'années à venir, les perspectives de développement des véhicules grand public à motorisation électrique - véhicule électrique, véhicule hybride rechargeable ou non - avec une attention particulière pour les données technico-économiques relatives aux batteries. Il met notamment en lumière les freins technologiques et comportementaux au développement de cette filière. ■■■■■

+ D'INFO

Centre d'analyse stratégique, Conseil général de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies, rapport de la mission présidée par Jean Syrota, La voiture de demain : carburants et électricité, La documentation Française, n°37, 2011.

Charte pour le déploiement d'infrastructures publiques de recharge de véhicules électriques. État - constructeurs automobiles - collectivités territoriales pilotes. 13 avril 2010.

Déclaration commune de 6 parlementaires à l'occasion des Rencontres internationales des voitures écologiques, 7 juillet 2011.

Observatoire Cetelem de l'automobile, La voiture électrique et les européens, 2012.

Lancement du plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables. Dossier de presse MEDDTL, octobre 2009.

Livre vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules «décarbonés». Sénat, Louis Nègre, avril 2011.

Rapport d'information sur le véhicule électrique. Assemblée nationale, Gérard Voisin, juin 2010.

Fort de ses compétences en matière d'évaluation des risques et d'accompagnement de l'innovation, l'INERIS conduit un programme de recherche sur les risques liés aux systèmes de stockage électrochimique. Ce programme s'inscrit dans la logique de travail définie entre les acteurs du réseau RS2E (réseau de recherche et technologie sur le stockage électrochimique de l'énergie) dont l'INERIS est membre.

FEUILLE DE ROUTE 2012-2019 DE LA RECHERCHE INERIS

4 AXES DE TRAVAIL INTERDÉPENDANTS

Axe 1 : Veille technologique, suivi du retour d'expérience

Il s'agit d'un axe transversal qui vise à suivre le développement de nouvelles technologies de stockage électrochimique, le développement d'approches innovantes en matière de sécurité des batteries mais aussi l'accidentologie au niveau national et international.

Axe 2 : Caractérisation de la sécurité des systèmes de stockage électrochimique

Cet axe comprend plusieurs volets. Le premier volet consiste à développer des méthodes expérimentales et à mettre en place des essais abusifs pour évaluer l'influence de la nature des composants, de l'état de charge et du vieillissement du système de stockage sur la sécurité mais aussi pour étudier les émissions de substances toxiques en cas d'incident ou d'accident (choc, écrasement, feu extérieur, etc.). La mise en œuvre de ce volet implique fortement la plateforme STEEVE Sécurité. Le deuxième volet vise à prédire et modéliser de manière fiable les conséquences accidentelles liées aux systèmes de stockage (émissions de substances toxiques, incendie, explosion, etc.). Le troisième volet s'intéresse aux dispositifs de sécurité intrinsèques aux systèmes de stockage, à la fois pour évaluer la pertinence des fonctions

3 OBJECTIFS DE RECHERCHE

Le programme de recherche conduit par l'INERIS vise à :

- ◆ Produire des connaissances et fournir des données sur la réactivité des différentes technologies des systèmes de stockage électrochimique tout au long du cycle de vie, en situation normale ou abusive.
- ◆ Développer des outils d'évaluation dédiés aux risques présentés par les systèmes de stockage électrochimique (modèles de simulation des phénomènes, méthodologies d'évaluation des risques adaptées aux spécificités de ce type de stockage, etc.).
- ◆ Évaluer la performance des barrières de sécurité mises en place.

de sécurité et le niveau de fiabilité en situation accidentelle mais aussi pour définir les critères de sécurité nécessaires à la mise en œuvre de la réglementation et de standards normatifs.

Axe 3 : Maîtrise des risques au cours des différentes étapes du cycle de vie des véhicules électriques

Il s'agit d'identifier les enjeux de sécurité pour les batteries des véhicules électriques (VE), électriques hybrides (HEV) et hybrides rechargeables ou « plug-in-hybrid » (PHEV) et ce, tout au long du cycle de vie du véhicule (fabrication,

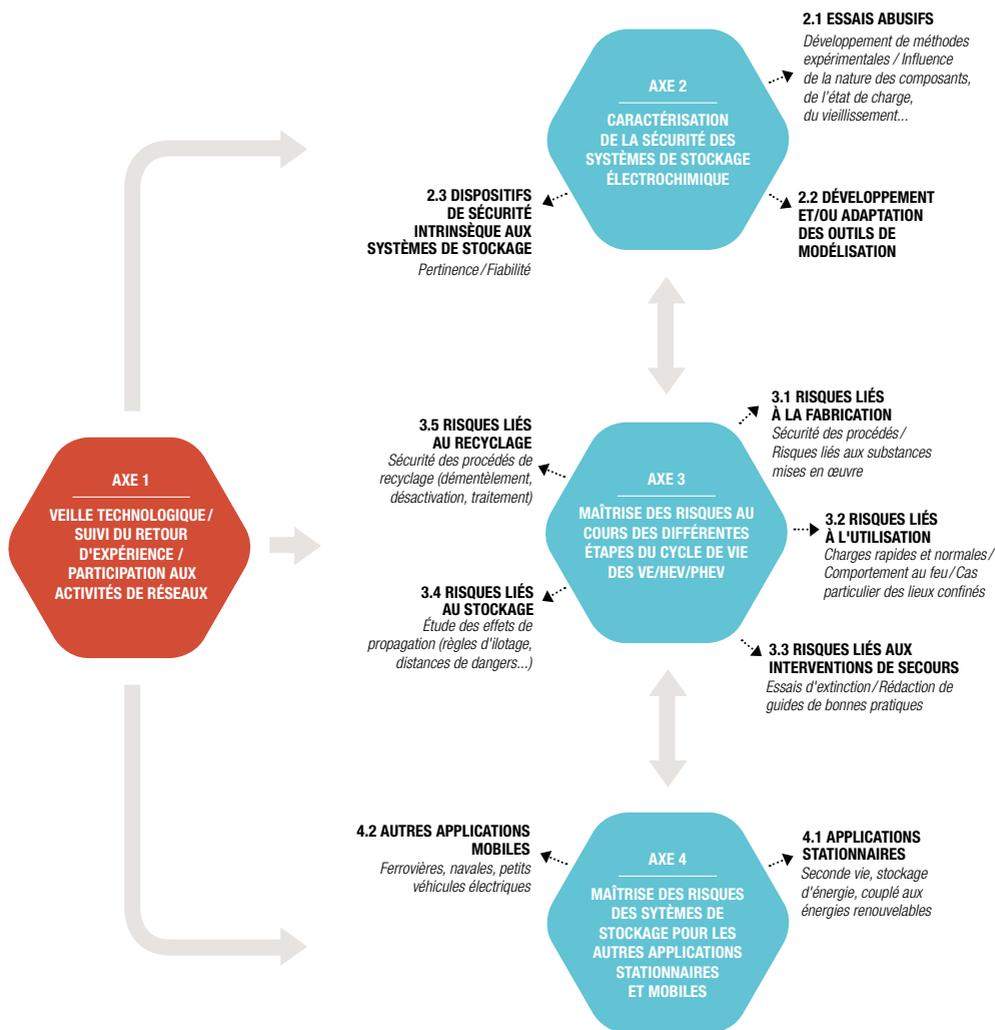


figure 1.

Les quatre axes de recherche du programme 2012-2019

Ce programme de recherche est structuré autour de 4 axes de travail interdépendants.

utilisation, intervention des secours, stockage, recyclage). Pour chaque étape du cycle de vie d'un véhicule, il s'agira d'identifier et de définir les profils de risques ; de proposer les essais expérimentaux spécifiques permettant de mieux comprendre les phénomènes dangereux associés ; de développer et/ou adapter les outils de modélisation permettant de simuler ces phénomènes ; d'élaborer des guides de secours et des guides de bonnes pratiques industrielles.

Axe 4 : Maîtrise des risques des systèmes de stockage électrochimique pour les autres applications stationnaires et mobiles

Cet axe vise à évaluer les risques liés au stockage électrochimique pour les applications mobiles autres que le véhicule électrique (scooter ou vélo électrique par exemple), pour la traction électrique des trains et transports en commun et pour les applications stationnaires (le stockage dans des batteries tampons de l'énergie renouvelable éolienne ou photovoltaïque). Une fois les risques clairement identifiés, des réponses adaptées en matière de prévention et de protection seront proposées.

La plateforme STEEVE Sécurité, financée en partie par l'État et la Région Picardie, est portée par l'INERIS en partenariat avec l'université de Picardie Jules Verne, le CNRS et EDF. Elle a pour vocation d'offrir aux industriels, entreprises et collectivités, un large panel de prestations et des moyens pour évaluer et faire progresser la sécurité, avec le triptyque : recherche, expertise et certification.

LES MOYENS D'ESSAIS



UNE PLATEFORME DÉDIÉE À LA SÉCURITÉ

Le dossier initial de la plateforme d'innovation technologique STEEVE réunissait le CEA, le CNRS, EDF et l'INERIS, acteurs de recherche et d'expertise reconnus dans ce domaine. Le périmètre d'activité de cette plateforme couvrait le domaine du stockage électrochimique de la conception de nouvelles technologies à leur mise en production en passant par les études de sécurité. Au vu de l'ampleur du domaine couvert, les pouvoirs publics ont pris la décision de scinder le dossier en deux plateformes, l'une portant sur l'aspect nouvelle technologie et industrialisation et l'autre dédiée à la sécurité.

LA PLATEFORME STEEVE SÉCURITÉ

L'objectif de la plateforme est d'évaluer les batteries à échelle réelle et d'analyser la sécurité aux différentes étapes du cycle de vie.

Véritable centre d'essais sur la sécurité des batteries, la plateforme permet de réaliser de multiples essais sur les batteries des véhicules électriques tels que des tests de cyclage en température ou humidité relative selon des cycles thermiques, des tests de vibration et de résistance mécanique mais aussi des tests de surcharge, de court-circuit, de percement et de combustion.

La plateforme STEEVE Sécurité a pour ambition de devenir une référence européenne dans l'accompagnement de

l'innovation et d'être complémentaire d'autres plateformes d'innovation qui contribuent également au développement des véhicules électriques.

Cette plateforme est installée au siège de l'INERIS dans l'Oise. ■■■

Ce tableau est également en annexe du rapport d'étude INERIS « Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques. Analyse préliminaire des risques ».

TABLEAU DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
1	Conception (bureau d'études)	<p>Défauts d'architecture du système :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Architecture du véhicule électrique ◆ Architecture des batteries, BMS ◆ Architecture du train propulseur, du moteur électrique et autres composants... ◆ Mauvaise conception du système de chauffage auxiliaire alimenté par un hydrocarbure classique dans le cas des véhicules tout électrique (exemple : proximité entre le réservoir et les batteries chaudes) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Manque de connaissance et d'expérience ◆ Référentiels manquants, connaissances scientifiques et techniques insuffisantes... ◆ Non-application des bonnes pratiques et des normes de conception et de sécurité ◆ Manque de vérification et optimisation ◆ Pression financière et de temps 	<p>Conséquences potentielles sur l'ensemble du système :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Effets latents sur la sûreté de fonctionnement : <ul style="list-style-type: none"> → pannes ou dysfonctionnements des systèmes ou équipements importants pour les fonctions de sécurité, tels que le système de freinage, le BMS ou le système de contrôle du véhicule durant la conduite ou la recharge, etc. ◆ Défauts mécaniques : Modification du centre de gravité (déséquilibre), résistance mécanique aux chocs, etc. ◆ Perte d'isolation électrique <ul style="list-style-type: none"> → chocs électriques, courts-circuits → emballement thermique ◆ Perte de confinement des produits inflammables, toxiques et corrosifs <ul style="list-style-type: none"> → explosion, feu, dispersion toxique, etc. ◆ Les conséquences sont très variables selon les situations : de simples perturbations techniques aux explosions, feu, etc. ◆ Rappel en masse des VE ◆ Acceptabilité sociétale de la filière 	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Équipementiers ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Processus qualité de conception ◆ Mise en place du processus REX de bonnes pratiques ◆ Validation par des équipes internes et externes ◆ Recherches et expertises ◆ Campagnes de tests de validation sur prototypes ◆ Élaboration de normes dédiées et aides aux programmes de recherches adaptés pour la conception des organes ou des équipements importants pour la filière
2	Conception (bureau d'études)	<p>Défauts techniques lors de la conception :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Sous-dimensionnement mécanique, thermique ou électrique des composants importants pour la sécurité du VE ◆ Choix inapproprié des composants 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Méthodes de calcul erronées ◆ Erreurs de calcul (risques opérationnels et facteurs humains...) ◆ Manque de vérification et optimisation ◆ Pression financière et de temps 	<p>Conséquences potentielles sur l'ensemble du système :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Rupture de structure ◆ Effets «missiles» des batteries vers l'habitacle lors de chocs ou collisions par exemple ◆ Perte d'isolation électrique <ul style="list-style-type: none"> → chocs électriques, courts-circuits → emballement thermique ◆ Perte de confinement des produits inflammables, toxiques et corrosifs <ul style="list-style-type: none"> → explosion, feu, dispersion toxique, etc. ◆ Les conséquences sont très variables selon les situations : de simples perturbations techniques aux explosions, feu, etc. ◆ Rappel en masse des VE ◆ Acceptabilité sociétale de la filière 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Processus qualité de conception ◆ Mise en place du processus REX de bonnes pratiques ◆ Validation par des équipes internes et externes ◆ Recherches et expertises ◆ Campagnes de tests de validation sur prototypes

nota _ Les scénarios sur fond de couleur se sont déjà produits et sont recensés dans l'accidentologie.

note 1 _ Criticité de ces risques (gravité en cas de réalisation) cotée de 1 à 4.

note 2 _ Maîtrise de ces risques (cadre existant ou manquant, sécurités identifiées ou pas...) coté de 1 à 4.

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE GES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
3	Conception (bureau d'études)	<p>Cas particulier du défaut de conception des stockages électrochimiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Assemblage non sécuritaire de cellules ◆ Dispositifs de sécurité actifs ou passifs insuffisants ou mal dimensionnés/ positionnés ◆ Choix inapproprié de l'électrochimie... ◆ Non-maîtrise de la technologie, comme la formation de dendrites (dépôts de plaque de lithium métallique sur la surface extérieure des électrodes) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Manque de connaissance et d'expérience ◆ Référentiels manquants, connaissances scientifiques et techniques insuffisantes... ◆ Non-application des bonnes pratiques et des normes de conception et de sécurité ◆ Manque de vérification et optimisation ◆ Electrochimie de la batterie non adaptée à la charge rapide 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Désolidarisation du pack de batteries ◆ Court-circuit interne <ul style="list-style-type: none"> → Emballage thermique ◆ Fuite, perte de confinement d'électrolyte <ul style="list-style-type: none"> → Explosion, feu et dispersion toxique ◆ Les conséquences sont très variables selon les situations: de simples perturbations techniques aux explosions, feux, etc. ◆ Rappel en masse des batteries ◆ Acceptabilité sociétale de la filière 	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Nations unies ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mise en place de réglementation et/ ou certification des systèmes de stockage électrochimique ◆ Meilleure compréhension des phénomènes pour optimiser les mesures de prévention et de protection ◆ Évaluation des performances de sécurité d'un nouveau type de batteries par tests sur présérie en flotte captive (ex.: Prius 4 à Strasbourg)
4	Conception (bureau d'études)	Non-respect des bonnes pratiques et des normes de sécurité en vigueur	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Manque d'information ◆ Manque de procédure ou règle de conception ◆ Erreurs humaines involontaires ou intentionnées dues aux pressions financières et de temps 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conséquences graves éventuelles sur la qualité de conception, l'image et la réputation pour le concepteur et même pour le constructeur ◆ Défauts d'architecture ◆ Sous-dimensionnement des composants ◆ Les conséquences sont très variables selon les situations: de simples perturbations techniques aux explosions, feux, dispersion toxique, etc. ◆ Rappel en masse des VE 	3	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Processus qualité de conception ◆ Veille technologique et réglementaire pour mettre à jour des connaissances sur des nouvelles technologies, normes et réglementations ◆ Audit qualité externe (y compris des sous-traitants)
5	Conception (bureau d'études)	Modification d'un véhicule par des particuliers et/ou professionnels après première mise sur le marché	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Volonté de transformation de l'alimentation des véhicules accompagnant le développement de la filière ◆ Mauvaise conception du kit d'adaptation ◆ Mauvais montage 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Anomalies de fonctionnement avec remise en cause de la sécurité d'utilisation ◆ Incendie du véhicule 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Particuliers ◆ Professionnels ◆ Bureaux de contrôle ◆ Pouvoirs publics 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Encadrer réglementairement ces pratiques (comme réalisé <i>a posteriori</i> pour le GPL) ◆ Mise en place de procédures de contrôle des bonnes pratiques ◆ Appui des procédures d'habilitation pour interventions sur les VE (ex.: UTE C18- 510; UTE C18-550) ◆ Limitation des bricolages par la mise en place de protocoles robustes de communication entre le véhicule et l'interface utilisateur
6	Conception (bureau d'études)	Fiabilités insuffisantes de certains systèmes importants pour la sécurité comme le BMS, le système de contrôle du véhicule ou le système de freinage, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Niveaux d'exigences de performance insuffisants ◆ Analyse des risques déficiente, comme par exemple les modes de défaillances mal analysés du VE ◆ Exigences de fiabilité insuffisantes 	<p>Conséquences potentielles sur l'ensemble du système :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Défauts mécaniques: arrêt brutal, perte de contrôle du véhicule, etc. ◆ Aspects électriques: chocs électriques, court-circuit, etc. <ul style="list-style-type: none"> → emballage thermique ◆ Aspects chimiques: perte de confinement des produits inflammables, toxiques et corrosifs <ul style="list-style-type: none"> → feu, explosion, dispersion toxique... ◆ Les conséquences sont très variables selon les situations: de simples perturbations techniques aux explosions, feux, dispersion toxique, etc. ◆ Rappel en masse des VE ◆ Acceptabilité sociétale de la filière 	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Pouvoirs publics ◆ Instances normatives ◆ Fournisseur d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Définitions de niveaux d'exigences de sécurité fonctionnelle (niveaux de SIL) harmonisés en préconisant l'application des normes de la famille IEC-61508 pour toutes les fonctions importantes pour la sécurité ◆ Analyses systématiques des risques de ces composants

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
7	Conception (bureau d'études)	Risques d'inadéquation entre le management de la sécurité et les nouveaux risques potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Technologies en évolution permanente Manque de cohérence et de compatibilité entre différentes générations de technologies Manque de recul 	<ul style="list-style-type: none"> Les conséquences sont très variables selon les situations : de simples perturbations techniques aux explosions, feux, dispersion toxique, etc. Rappel en masse des VE 	3	3	<ul style="list-style-type: none"> Bureaux d'études Constructeurs Bureaux de contrôle Certificateur Instances normatives Pouvoirs publics Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> Veille technologique et réglementaire pour mettre à jour des connaissances sur des nouvelles technologies, normes et réglementations Mises à jour des études de risques, des référentiels, des réglementations, du management de la sécurité...
7bis	Conception (bureau d'études)	Risque d'inadaptation des prescriptions d'utilisation portées dans le manuel utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> Didactique insuffisante Mauvaise traduction Logos d'interdiction inadaptes 	Mauvaise maîtrise du véhicule	1	2	<ul style="list-style-type: none"> Fabricants 	<ul style="list-style-type: none"> Processus qualité Vérification sur panels types de la bonne compréhension
8	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Défauts de fabrication, d'assemblage des équipements (ex. : Défauts de fabrication du système de stockage électrochimique, contaminations accidentelles...)	<ul style="list-style-type: none"> Qualité insuffisante de la chaîne de fabrication Contrôle de qualité déficient Qualité des matières premières non conforme aux exigences Facteurs humains et organisationnels : non-maîtrise des compétences, erreurs humaines, conditions de travail, etc. 	<p>Équipements défectueux :</p> <ul style="list-style-type: none"> Conséquences latentes sur la sûreté de fonctionnement Perte d'isolation électrique → courts-circuits Perte de confinement des produits inflammables, toxiques et corrosifs → emballage thermique, explosion, feux, dispersion toxique, etc. 	3	2	<ul style="list-style-type: none"> Fabricants Bureaux de contrôle Pouvoirs publics Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> Surveillance du marché - Référentiels qualité Contrôle qualité des sous-traitants Cahiers des charges adaptés REX
9	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Cas particulier : Risques accrus lors de l'étape de formage des batteries	<ul style="list-style-type: none"> Le procédé de formage n'est pas optimisé Conception déficiente du local Erreurs humaines (oubli d'une étape dans la procédure, réglage non conforme du courant de charge, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Court-circuit interne → Risques accrus d'emballage thermique, feux, explosion et dispersion toxique, etc. 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> Fabricants Pouvoirs publics Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> Local dédié avec mesures de sécurité incendie adaptées Création et application des procédures spécifiques pour cette opération
10	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Risques liés à la sécurité des procédés : Risques incendies, explosions, fuites de produits polluants, toxiques ou corrosifs... au cours des phases de mise en œuvre, stockage, élimination des produits...	<p>Sécurité du procédé mal maîtrisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> Surpression Emballage thermique Formation d'ATEX, etc. Scénarios accidentels liés à un procédé innovant 	<ul style="list-style-type: none"> Emballage thermique Explosions Feux / incendies Dispersion toxiques Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. 	3	2	<ul style="list-style-type: none"> Fabricants (HSE) Assureurs Pouvoirs publics (DREAL, inspection du travail...) 	<ul style="list-style-type: none"> Respect des réglementations de l'environnement et du travail existantes (CLP (Classification, Labelling, Packaging), Reach, ICPE, code du travail, ATEX...) Mises à jour régulières des études de sécurité Réviser référentiels ICPE si nécessaire
11	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Risques liés à la réalisation d'essais exploratoires, de validation ou de certification des composants sur sites de fabrication	<ul style="list-style-type: none"> Erreurs de manipulation dues au manque de connaissances sur les composants Mesures de maîtrise des risques insuffisantes Phénomènes dangereux peu / mal connus Gestion des échantillons après essais inappropriées Phénomènes dangereux au niveau de la batterie retardés 	<ul style="list-style-type: none"> Chocs électriques Accidents au cours de la manutention Emballage thermique Explosions Feux / incendies Dispersion toxiques Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> Fabricants Bureaux d'études Assureurs Centres d'essais 	<ul style="list-style-type: none"> Élaboration de procédures de sécurité spécifiques sur la gestion des échantillons après essais

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
12	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Cas particulier : (en lien avec scénario 18) Gestion des échantillons soumis à des tests abusifs (connaissance de l'état de charge, dégradations non apparentes...)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pas de procédure ou procédure de gestion déficiente ◆ Manipulation des batteries à l'état dégradé après essai 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chocs électriques ◆ Accidents au cours de la manutention ◆ Emballage thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersions toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fabricants ◆ Pouvoirs publics ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formations et habilitations électriques des opérateurs ◆ Équipements de protection individuels ◆ Élaboration de procédures de sécurité spécifiques de gestion des échantillons après essais
13	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Risques de chocs électriques pour les opérateurs	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La conception du local déficiente ◆ Erreurs humaines (par exemple : oubli d'une étape dans la procédure, réglage non conforme du courant de charge, port d'un bijou métallique, etc.) ◆ Absence de port des EPI (Équipements de Protection Individuels) ◆ Matériels non adaptés 	Chocs électriques pouvant conduire à la mort par électrocution	3	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fabricants ◆ Pouvoirs publics ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formations et habilitations électriques des opérateurs ◆ Équipements de protection individuels (EPI) ◆ Consignes de sécurité strictes ◆ Rédaction des guides de bonnes pratiques
14	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Risques conventionnels au travail (brûlures thermiques ou chimiques, chutes, intoxications...)	Causes classiques avec probabilité augmentée due à la présence de procédés et technologies innovantes et énergétiques	Impacts sur la santé des opérateurs	2	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fabricants ◆ Pouvoirs publics (Inspection du travail) ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formations des opérateurs ◆ Besoin de développement de connaissances et des moyens de prévention et protection
15	Fabrication (composants, batterie ou assemblage)	Risques «nano» liés à l'introduction des nanoparticules dans les batteries qui se répercute sur les différentes phases du cycle de vie de la filière (fabrication, usage, recyclage, etc...)	Risques «nano», l'introduction de «matériaux nanostructurés» étant appelée (si ce n'est déjà fait) à devenir très rapidement une réalité industrielle (ex. nano LTO : oxyde de titane lithié en remplacement du graphite pour l'électrode négative, utilisation de nanotubes de carbone...)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Difficiles à évaluer les caractéristiques physico-chimiques des nanos étant encore mal connues ◆ Dispersion de nanoparticules dans l'air, l'eau ◆ Impacts sanitaires liés à la toxicité potentielle 	2	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fabricants ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formations et habilitations des opérateurs ◆ Équipements de protection individuels (EPI) ◆ Élaboration de procédures de sécurité spécifiques de manutention des matériaux nano ◆ Recherche sur les propriétés physico-chimiques des nanoparticules et leurs utilisations
16	Transport (composants ou pièces rechanges)	Accidents TMD (Trains, camions, avions, bateaux...) provoqués/impliquant batteries, électrolytes, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Accidents de circulation : collisions, crash, déraillement, renversement... ◆ Emballage thermique des batteries au cours du transport ◆ Intensification des flux liée aux impacts des directives batteries et véhicules hors d'usage (VHU) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chocs électriques ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersions toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. 	2 à 4	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pouvoirs publics ◆ Nations unies ◆ Transporteurs ◆ Industriels ◆ Concessionnaires ◆ Garagistes ◆ Autres organisations internationales régissant les réglementations au transport (IMO, IATA, UE...) ◆ Associations professionnelles 	Application et mise à jour de la réglementation TMD au niveau international

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
17	Transport (composants ou pièces rechanges)	Cas particulier: Transport en tunnels : conséquences d'un feu en atmosphère confinée impliquant des batteries ◆ Emballage thermique des batteries au cours du transport	◆ Accidents de circulation : collisions, crash, déraillement, renversement... en tunnels impliquant des camions transportant des batteries ◆ Emballage thermique des batteries au cours du transport	◆ Conséquences accrues de dispersions toxiques, d'effets de surpressions et de propagations d'incendies ◆ Difficulté pour les interventions / services de secours et pour la maîtrise de l'incendie impliquant des batteries ◆ Formation d'ATEX (évaporation d'électrolyte, formation d'hydrogène au cours des phases d'extinction par l'eau) → Risques d'explosion et/ou incendie	4	3	◆ Pouvoirs publics ◆ Nations unies ◆ Transporteurs ◆ Industriels ◆ Concessionnaires ◆ Garagistes	◆ Développement de connaissances, des guides de bonnes pratiques ◆ Application des procédures spécifiques d'utilisation ◆ Développement de réglementation spécifique
18	Transport (composants ou pièces rechanges)	Transport des batteries dans un état différent de l'état neuf (après essais, fin de vie, suite à accident ou anomalie...)	Collecte et transport des batteries à recycler	◆ Chocs électriques ◆ Accidents au cours de la manutention ◆ Emballage thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersions toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc.	3	3	◆ Pouvoirs publics ◆ Nations unies ◆ Transporteurs ◆ Industriels ◆ Concessionnaires ◆ Garagistes	Mise à jour et application de la réglementation TMD
19	Stockage (composants ou véhicules)	Scénarios d'incendies ou d'explosions pour des stockages de batteries	◆ Feu externe ou source de chaleur impactant le stockage ◆ Démarrage d'un feu par emballage thermique des batteries ◆ Actes de malveillances provoquant un incendie	◆ Chocs électriques ◆ Emballage thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersions toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc.	4	3	◆ Pouvoirs publics ◆ Industriels ◆ Constructeurs ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs	◆ Création d'une rubrique ICPE stockage et/ou fabrication ◆ Recueillir les positions des assureurs sur les moyens de prévention/protection à mettre en place ◆ Limiter les tailles de stockage et évacuer les batteries usagées ◆ Développer des connaissances pour adapter les outils de modélisation des conséquences accidentelles ◆ Stocker les batteries à l'état de charge minimal ◆ Réfléchir sur l'intérêt d'un stockage temporaire de sécurité juste après la fabrication pour éliminer les batteries avec défauts importants
20	Stockage et manipulation (composants ou véhicules)	Cas particulier: Risques électriques et chimiques liés aux stockages de batteries chargées (modèle <i>Quick drop</i> par exemple) sur site dédié ou en station service avec présence du public	◆ Profils de risques atypiques (charges lourdes, haute tension...) ◆ États de charge variables	◆ Chocs électriques ◆ Accidents au cours de la manutention ◆ Emballage thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersions toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc.	3	4	◆ Pouvoirs publics ◆ Industriels ◆ Concessionnaires ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs	Mise en place de lieux de stockage dédiés isolés des autres installations et du public
21	Recharge (chez particulier)	Risques de recharge chez les particuliers	Présence: ◆ Équipements électriques défectueux (prises, câbles, ...) ◆ Utilisation d'équipements inadéquats (prolongateurs, multiprises, équipements non certifiés pour l'usage...) ◆ Mauvaise utilisation des installations volontaire ou involontaire (système D)	◆ Emballage thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersions toxiques ◆ Chocs électriques	4	3	◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Certificateur ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics	◆ Vérification de la conformité de l'installation électrique avant la 1 ^{ère} charge et contrôles périodiques ◆ Mise en place ligne dédiée ◆ Développements de standards harmonisés pour les installations y compris les branchements au niveau VE ◆ Informer les utilisateurs des risques et bonnes pratiques ◆ Détection feu ou gaz dans les garages

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
22	Recharge (tous lieux)	Milieux confinés en général	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Milieu confiné ◆ Difficultés de dispersion ◆ Présence de multiples sources d'inflammation ◆ Local multi-usages, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Augmentation probabilité et gravité (incendies et toxiques) ◆ Problématique d'extinction de feux de batteries 	4	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux de contrôle ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Détection feu, gaz ◆ Imposer des restrictions voir interdiction si justifié par la valeur du bâtiment
23	Recharge (chez particuliers)	Problématique spécifique des chargeurs de VAE chez particuliers	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Possibilité de charges à l'intérieur des habitations sans précaution particulière ◆ Mobilité du système batterie / chargeur 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Incendie dans les habitats ◆ Chocs électriques 	3	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Certificateurs ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Assureurs ◆ Vendeurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Information des utilisateurs par les vendeurs, assureurs ◆ Niveaux de sécurité minimums des batteries assurés par le respect à des normes et/ou réglementation à mettre en place
24	Recharge (stations-service)	Recharges dans les stations-service : Risques d'inflammation ATEX	Présence simultanée d'une ATEX et d'une source d'inflammation (électrique)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersion toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. 	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Industriels / exploitants ◆ Bureaux d'étude ◆ Bureaux de contrôle ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Études spécifiques pour les différents types de station ◆ Définir les distances de sécurité
25	Recharge (parkings couverts publics et privés)	Cas particulier : Dans les parkings couverts et autres milieux confinés : Risques accrus d'explosion, feux et dispersions toxiques	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Milieu confiné ◆ Difficultés de dispersion 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Augmentation probabilité et gravité (incendies et toxiques) ◆ Problématique d'extinction de feux de batteries 	4	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux de contrôle ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Adaptation de la réglementation parkings couverts ◆ Détection feu ou gaz
26	Recharge (tous lieux)	Problématique spécifique charge rapide, surtout en milieux confinés	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tensions et courants importants ◆ Mauvaise architecture spécifique du VE : batteries qui supportent mal ce type de sollicitations, matériels de charge inadaptés... 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chocs électriques ◆ Emballement thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersion toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. ◆ Baisse drastique de la durée de vie de la batterie 	4	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux de contrôle ◆ Certificateur ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Interdiction chez les particuliers ou mise en place des contrôles spécifiques ◆ Vérification de l'adéquation prises / capacité réseau / besoin du VE ◆ Vérification de l'adéquation d'un VE et d'une borne de charge rapide (BMS...)
27	Recharge (tous lieux)	Débranchage réseau électrique en cas de sollicitations simultanées	Demandes de puissance trop importantes et simultanées	Risques de coupure de l'alimentation électrique dans un rayon pouvant être importants	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Gestionnaire du réseau électrique ◆ Pouvoirs publics ◆ Industriels 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Développement en lien avec gestionnaires de production d'électricité ◆ Mise en place de smartgrid
28	Recharge (tous lieux)	Problématique de la charge à basse température (< 0°C)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fragilité des batteries à basse température ◆ Défaillances de BMS ou protection non assurée → Formation très rapide de dendrites due à des difficultés d'intercalation des ions Li+ dans la structure des graphites à basse température 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Court-circuit interne ◆ Emballement thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersion toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. ◆ Baisse drastique de la durée de vie de la batterie 	2	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Développement de systèmes plus robustes à basse température : programmes de recherche en cours ◆ Gestion de la charge par BMS : Interdiction de la charge à basse température ◆ Fiabilisation du BMS ◆ Information des utilisateurs à mentionner dans les notices d'utilisation

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
29	Recharge (tous lieux)	Problématique de la charge à haute température	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Emballement thermique des batteries à haute température ◆ Défaillances de BMS ou protection non assurée 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersion toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. ◆ Baisse drastique de la durée de vie de la batterie 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Recherche de couples plus sûrs et de mesures de sécurité adaptées ◆ Gestion par BMS ◆ Formation des utilisateurs, doit figurer dans les notices d'utilisation
30	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Modification des habitudes de conduite	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Comportement de freinage électrique différent (risque de freinage brutal) ◆ Vibrations différentes ◆ Bruits différents 	Probabilité augmentée d'un accident de circulation	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Utilisateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formation des utilisateurs ◆ Sujet à considérer par les bureaux d'études et les constructeurs
31	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Perception auditive réduite pour les piétons et cyclistes	Absence de bruit à basse vitesse	Risques accrus d'accidents de circulation	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Pouvoirs publics 	Thème largement abordé sera pris en compte dans les textes normatifs et réglementaires. Moins de bruit est un confort pour les riverains mais peut présenter quelques dangers pour les piétons. Compromis à trouver.
32	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Perte accidentelle de puissance électrique	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Défaillance de BMS ◆ Défaillance du système de contrôle du véhicule ◆ Défaillance des batteries 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Arrêt brutal de la motricité du VE ◆ Perte de contrôle du véhicule ◆ Accidents de circulation 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Certicateur ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics 	Imposer une prise en compte de ce risque par le BMS (application de la norme ISO 6469-2: Mesures de sécurité fonctionnelle et protection contre les défaillances du véhicule)
33	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Incompatibilité intrasystème: Risques de perturbation électromagnétique d'organes participant à la gestion de la sécurité	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Manque d'études sur la compatibilité électromagnétique ◆ Défauts de conception ◆ Défaut de sélection des équipements de qualité 	Perturbation ou perte des fonctions de sécurité	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Certicateur ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Risques à qualifier par études spécifiques ◆ Séparation galvaniques entre courants forts et courants faibles ◆ Tests de compatibilité électromagnétique ◆ Applicabilité de la directive 1999/519/EC (limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz)) ◆ Applicabilité de la directive 2004/40/EC (prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques))
34	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Risques sanitaires des VE	Présence d'ondes électromagnétiques émises par le VE	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Impacts potentiels sur la santé publique ◆ Problème d'acceptabilité sociétale 	3	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Certicateur ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Risques à qualifier par études spécifiques. ◆ Problématique d'acceptabilité sociétale

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
35	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Gestion de la marche arrière-risques de vitesses trop importantes	Possibilité naturelle de circuler à haute vitesse en marche arrière	Risques d'accidents de circulation élevés	2	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Bureaux de contrôle ◆ Certicateur ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics 	Limitation de la vitesse de marche arrière
36	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Situations accidentelles lors du roulage (Voir scénario 40.) intervention / service secours	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Emballlement thermique de la batterie ◆ Feux, explosion et/ou dispersion toxique suite à un crash ◆ Contact accidentel avec de l'eau 	<p>Conséquences liées aux dangers potentiels :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Chocs électriques (au contact de tension électrique élevée) ◆ Ecrasement ◆ Radiation thermique, surface chaude (risque de brûlure) ◆ Effets de surpression ◆ Effets «missiles» ◆ Risque d'asphyxie ◆ Effets toxiques ◆ Effets corrosifs (au contact de l'électrolyte) 	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conducteur ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Qualifier la criticité des scénarios par rapport aux équivalents véhicules thermiques ◆ Réglementation et certification sur la qualification des stockages électrochimiques en conditions abusives en complément des R12, R14 et R95 sur les crashes ◆ Soutenir les travaux initiés à l'ONU visant une homologation des batteries et encouragement de l'application de processus de référentiel de certification volontaire adaptée (ex.: ELLICERT).
37	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Cas particulier : Situations accidentelles dans les lieux confinés (tunnels, parkings, stations de péage...)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Difficultés de maîtrise de feux batteries ◆ Présence simultanée des risques électriques, thermiques, mécaniques et chimiques (toxiques, inflammables et corrosifs) ◆ Lieux confinés 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conséquences accrues de dispersions toxiques, d'effets de surpressions et de propagations d'incendies ◆ Difficulté pour les interventions / services de secours et pour la maîtrise de l'incendie impliquant des batteries ◆ Formation d'ATEX (évaporation d'électrolyte, formation d'hydrogène au cours des phases d'extinction par l'eau) → Risques d'explosion et/ou incendie 	4	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conducteur ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs ◆ Experts de la CNESOR (Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Programmes de recherche sur les moyens de lutte contre l'incendie des batteries à développer ◆ Réglementations spécifiques à réviser selon les cas restriction de l'accès, management de la sécurité (nombre de bornes de charges, mesures de détections précoces d'incidents...)
38	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	Cas des transports multimodaux (tunnel sous la manche, ferries...)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Présence simultanée des risques électriques, thermiques, mécaniques et chimiques (toxiques, inflammables et corrosifs) ◆ Lieux confinés 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conséquences accrues de dispersions toxiques, d'effets de surpressions et de propagations d'incendies ◆ Difficulté pour les interventions / services de secours et pour la maîtrise de l'incendie impliquant des batteries ◆ Formation d'ATEX (évaporation d'électrolyte, formation d'hydrogène au cours des phases d'extinction par l'eau) → Risques d'explosion et/ou incendie 	3	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conducteur ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs ◆ Commissions intergouvernementales de sécurité pour les systèmes transfrontaliers 	Faire reconnaître ce problème auprès de la prochaine commission intergouvernementale de sécurité du transmanche
39	Utilisation en roulage (choc, incendie, etc.)	VE au contact d'eau en grande quantité (inondations, crues...), surtout pour les cas des véhicules usagés (protections dégradées)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Défaillance d'isolation électrique ◆ Présence d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Risque de chocs électriques ◆ Risques de courts-circuits ◆ Risques d'emballlement thermique 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Conducteur ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Risques à qualifier par les constructeurs ◆ Formation des intervenants

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITE ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
40	Utilisation hors roulage (stationnement, intervention, service de secours, etc.)	Risques à l'intervention / service de secours dans des situations accidentelles: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Feux extérieurs ◆ Feux de batteries (déclenchement dans le VE) ◆ Feux intérieurs autres ◆ Crashes ◆ Immersion dans l'eau <i>Voir § 4.3.1.9. Intervention / service secours</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Difficultés de maîtrise de feux batteries ◆ Présence simultanée des risques électriques, thermiques, mécaniques et chimiques (toxiques, inflammables et corrosifs) ◆ Difficultés d'identification d'un véhicule électrique ◆ Défaut de formation de la part des intervenants 	Conséquences liées aux dangers potentiels: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Chocs électriques (au contact de tension électrique élevée) ◆ Radiation thermique, surface chaude (risque de brûlure) ◆ Effets de surpression ◆ Effets «missiles» ◆ Risque d'asphyxie ◆ Effets toxiques ◆ Effets corrosifs (au contact de l'électrolyte) ◆ Formation d'ATEX (évaporation d'électrolyte, formation d'hydrogène au cours des phases d'extinction par l'eau → Risques d'explosion et/ou incendie) 	4	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Moyens d'identification d'un VE ◆ Gestion du risque électrique: possibilité de condamner l'alimentation ◆ Formation de tous les intervenants (pompiers, police, SAMUR, dépanneurs...) ◆ Modalités sécuritaires d'intervention et pertinence des agents extincteurs à qualifier ◆ Rédaction de guides de bonnes pratiques
41	Utilisation hors roulage (stationnement, intervention, service de secours, etc.)	Évacuation du VE après accident (dépannage / intervention): Risque de départ de feu retardé	<ul style="list-style-type: none"> ◆ État de dégradation des batteries peut compliquer leur décharge complète ◆ État de dégradation des batteries ◆ État de charge inconnu 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Départs de feux ◆ Dispersion toxique 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formation des intervenants ◆ Mise en place de procédures d'évacuation adaptées ◆ Sujet à évoquer dans le groupe de transport ONU TMD
42	Utilisation hors roulage (stationnement, intervention, service de secours, etc.)	Cas particulier: Difficultés de gestion du risque électrique des batteries après sinistre	<ul style="list-style-type: none"> ◆ État de charge inconnu 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Difficultés de décharge complète ◆ Risques accrus durant transit ou sur le site de stockage ◆ Chocs électriques 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Industriels ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formation des intervenants ◆ Mise en place de procédures d'intervention adaptées
43	Utilisation hors roulage (stationnement, intervention, service de secours, etc.)	Risques d'incendies au cours du stationnement	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Probabilité accrue due aux chaleurs résiduelles en absence ou arrêt du système de refroidissement ◆ Échauffement en situation climatique extrême 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Emballage thermique de la batterie ◆ Incendie ◆ Augmentation de la gravité due à l'absence de surveillance 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bureaux d'études ◆ Constructeurs ◆ Instances normatives ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Prise en compte dès la conception (systèmes de refroidissement régulé y compris dans les phases d'arrêt...) ◆ Dispositifs de détection dans les lieux confinés ou restriction d'accès
44	Utilisation hors roulage (stationnement, intervention, service de secours, etc.)	Risques de chocs électriques dans les stations de lavage ? ou chez le particulier ?	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Présence d'eau ou humidité ◆ Défaut d'isolation électrique à haute tension 	Mise en danger de la vie des utilisateurs	2	2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Constructeurs ◆ Pouvoirs publics ◆ Services d'intervention ◆ Assureurs 	Installations existantes et véhicules à qualifier vis-à-vis de ce risque
45	Recyclage / élimination	Problématique de gestion des risques au niveau de la collecte, stockage, recyclage et élimination des batteries usagées	<ul style="list-style-type: none"> ◆ États de charge inconnus et variés ◆ Chocs mécaniques ou agressions externes dus aux opérations de manutention, transport, stockage ◆ Grande diversité de provenance des flux de batteries de technologies différentes ◆ Probabilités des courts-circuits externes plus importantes lors de transport, manipulation, stockage de batteries en vrac ou conditionnées avec moins de précautions que des batteries neuves 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chocs électriques ◆ Accidents au cours de la manutention ◆ Emballage thermique ◆ Explosions ◆ Feux / incendies ◆ Dispersion toxiques ◆ Pollution environnementale (air, eau et sol), etc. 	4	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Associations professionnelles (recharge, PRBA...) ◆ Industriels du recyclage ◆ Bureaux d'études ◆ Bureaux de contrôle ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique ◆ Services d'intervention 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Transport soumis à la réglementation TMD pour batteries neuves et usagées. Harmonisation des bonnes pratiques au niveau de l'ONU ◆ Pré-conditionner les batteries avant transport en amont du circuit de collecte ou <i>a minima</i>, protection des bornes (pour seconde vie) ◆ Former les intervenants aux risques spécifiques ◆ Stockage: Réviser les référentiels réglementaires ICPE pour les spécificités des technologies Li-ion de forte puissance ◆ Identification des mesures de prévention et des sites sensibles et organisation des stockages en conséquence

N°	CYCLE DE VIE	SUJETS / RISQUES IDENTIFIÉS	CAUSES	CONSÉQUENCES	CRITICITÉ ¹	MAÎTRISE ²	ACTEURS IMPLIQUÉS ET INVESTISSANT DANS L'ANALYSE ET LA MAÎTRISE DE CES RISQUES (PRIVÉS OU PUBLICS)	SUGGESTIONS / PRÉCONISATIONS
46	Recyclage / élimination	Risques liés à la mise en œuvre de procédés émergents visant au recyclage de l'élément Lithium	Aujourd'hui le Li n'est pas recyclé contrairement aux autres éléments des batteries, ce qui risque de changer au cours du temps. La présence de Li métallique peut rendre ces procédés à risques	Conséquences liées à la réactivité de Lithium métallique et ses composés comme LiOH ou Li ₂ O potentiellement corrosifs et risque de formation de l'hydrogène en contact avec l'eau → ATEX, explosions, feux, dispersions toxiques, pollution environnementale (air, eau et sol), etc.	2	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Associations professionnelles (recharge, PRBA...) ◆ Industriels du recyclage ◆ Bureaux d'études ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	Bonnes pratiques à développer au niveau industriel
47	Recyclage / élimination	Risques nano liés aux procédés de recyclage des matériaux nanostructurés	Présence des matériaux nanostructurés, tels que carbone nanotube, Nano particules de TiO ₂ , etc.	Impacts sur la santé des opérateurs, publics et environnement	2	4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Associations professionnelles (recharge, PRBA...) ◆ Industriels du recyclage ◆ Bureaux d'études ◆ Pouvoirs publics ◆ Communauté scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bonnes pratiques à développer au niveau industriel ◆ Moyens de prévention et de protection ◆ Réglementation adéquate à développer
48	Recyclage / élimination	Risques liés à l'utilisation des batteries de deuxième vie	<ul style="list-style-type: none"> ◆ États de charge inconnus et variés ◆ États physiques dégradés ◆ Résistances internes variées 	Risques de surcharge ou surdécharge importants → risques accrus d'emballage thermiques	3	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Associations professionnelles (recharge, PRBA...) ◆ Industriels du recyclage ◆ Pouvoirs publics 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ BMS dédié et performant ◆ Moyens de détection de température
49	Recyclage / élimination	Apparition de filières de traitement illicites	Recyclages opportunistes liées à la valeur ajoutée des matériaux des batteries (ex. : cobalt) par des particuliers / professionnels dans des conditions illégales	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Non-maîtrise des règles de sécurité et des impacts sanitaires ◆ Perturbation du marché légal du recyclage 	2	3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pouvoirs publics ◆ Associations professionnelles 	Contrôle de la mise en place des filières
50	Recyclage / élimination	Problématiques liées aux coûts élevés du traitement de certaines électrochimies (ex. : LiFePO ₄)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Faible valeur des produits recyclés ◆ Coûts non suffisamment intégrés lors du développement de la filière 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Décharges sauvages avec impacts sur l'environnement et la sécurité des personnes ◆ Développement de filières de traitements illégales (ex. : expédition vers des pays lointains) 	2	4	Tous les acteurs de la filière	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Anticipation des coûts de recyclage d'une filière et intégration de ceux-ci en amont ◆ Soutien des filières de recyclage ◆ Recherche de débouchés pour les produits de valorisation



**Ce document est imprimé sur un papier 100 % PEFC blanchi sans chlore
et issu de forêts gérées durablement.**

**Le label Imprim'Vert garantit des travaux d'impression propres
et respectueux de l'environnement.**

INERIS Références octobre 2012

Batteries et sécurité

Parc technologique Alata - B.P. 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

tél. : 03 44 55 66 77 - fax: 03 44 55 66 99

e-mail : ineris@ineris.fr - www.ineris.fr

Ont contribué à ce dossier :

Direction des risques accidentels - Simeon Boyanov, Yann Macé, Guy Marlair, Delphine Tigreat

Direction de la certification - Christian Michot

Rédaction :

Isabelle Clostre - INERIS

Conception & réalisation graphique :

Efil 02 47 47 03 20 - www.efil.fr

Impression :

imprimexpress (Joué-les-Tours)

Crédits photographiques :

INERIS, Fotolia, Istock Images, Photographika.

À PROPOS DE L'INERIS

L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) a pour mission de contribuer à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, et sur l'environnement. Il mène des programmes de recherche visant à mieux comprendre les phénomènes susceptibles de conduire aux situations de risques ou d'atteintes à l'environnement et à la santé, et à développer sa capacité d'expertise en matière de prévention. Ses compétences scientifiques et techniques sont mises à la disposition des pouvoirs publics, des entreprises et des collectivités locales afin de les aider à prendre les décisions les plus appropriées à une amélioration de la sécurité environnementale.

Créé en 1990, l'INERIS est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère chargé de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Il emploie 587 personnes, basées principalement à Verneuil-en-Halatte, dans l'Oise.

Parc Technologique Alata - B.P.2
60550 Verneuil-en-Halatte
Tél.: 03 44 55 66 77
Fax: 03 44 55 66 99
e-mail: ineris@ineris.fr
www.ineris.fr

INERIS
maîtriser le risque |
pour un développement durable |