



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 206958 - 2750244 - v1.0

13/01/2023

BATTERIES AU PLOMB A RECOMBINAISON

IDE03 : Evaluation de la sécurité des stockages électrochimiques - Opération B1

Ministère de la Transition écologique
et de la Cohésion des territoires

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Incendie, Dispersion, Explosion

Rédaction : AZAM Aurelien

Vérification : BORDES ARNAUD; DELBAERE THIERRY; LECOCQ AMANDINE

Approbation : Document approuvé le 13/01/2023 par BOUET REMY

Table des matières

1	Introduction et contexte	4
2	Principe général de fonctionnement d'une batterie au plomb à recombinaison et comparaison avec la technologie conventionnelle au plomb	5
3	Etat de maturité de la technologie et marchés visés.....	7
4	Principaux avantages et principales limites d'une batterie au plomb à recombinaison par comparaison aux batteries conventionnelles au plomb	8
5	Identification des principaux risques	9
5.1	Typologie de risques similaires aux batteries conventionnelles au plomb	9
5.2	Risques spécifiques aux batteries au plomb à recombinaison	9
6	Réglementation et recommandations pour l'utilisation sûre des batteries au plomb à recombinaison 13	
7	Conclusions et perspectives	17

1 Introduction et contexte

La technologie Li-ion est la technologie qui connaît actuellement un fort développement et est au centre de l'attention de la plupart des acteurs du secteur du stockage d'énergie par voie électrochimique. Cependant, les industriels et académiques du domaine innovent sans cesse et d'autres technologies existent déjà ou pourraient émerger dans un futur proche. Pour suivre le cours de ces innovations concurrentes ou complémentaires du Li-ion, l'INERIS reste attentif à leurs particularités en termes de sécurité.

L'objet de cette note est d'étudier le profil de risques de la technologie de batteries au plomb à recombinaison (dites « fermées ») comparativement à des batteries au plomb ouvertes. L'étude se penchera notamment sur les recommandations de l'Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales relatif à la rubrique 2925-1 « Ateliers de charge d'accumulateurs électriques », particulièrement concernant les prescriptions de ventilation vis-à-vis de l'émission de dihydrogène par les batteries au plomb à recombinaison. La présente note traitera du fonctionnement normal des batteries au plomb à recombinaison, ainsi que de leur fonctionnement en mode dégradé (vieillessement, soupape défaillante, ...).

Dans la suite de cette note, les batteries au plomb à recombinaison seront notées batteries VRLA, en lien avec l'acronyme anglais *Valve Regulated Lead-Acid* largement répandu dans les documents industriels et académiques.

2 Principe général de fonctionnement d'une batterie au plomb à recombinaison et comparaison avec la technologie conventionnelle au plomb

Les batteries VRLA sont des batteries acide-plomb à régulation par soupape. En fonctionnement normal, les batteries acide-plomb produisent du dioxygène (O₂) et du dihydrogène (H₂) par électrolyse de l'eau lors de la charge, et particulièrement en cas de surcharge ou de charge flottante à tension constante de la batterie. Pour les batteries de type VRLA, la majorité du dioxygène généré à des régimes de charge normaux est recombinaison au sein de la batterie. L'émission des gaz générés par le fonctionnement normal des batteries VRLA est donc réduite par rapport aux batteries acide-plomb classiques.

Toutefois, une proportion de l'ordre de 2 à 3 % des gaz produits n'est pas recombinaison par les batteries VRLA. Afin de prévenir tout risque de surpression, une soupape est donc nécessaire. Les batteries VRLA sont munies de soupapes non inversables qui s'ouvrent lorsqu'une valeur prédéterminée de pression interne est atteinte, libérant ainsi les gaz générés.

En cas de régime de charge trop élevés (typiquement au-delà de C/3), la formation de gaz devient plus rapide que la cinétique de recombinaison des gaz : ces gaz seront alors libérés par la soupape, qui joue un rôle clé dans la sécurité des batteries VRLA.^{1 2}

Même si les quantités de gaz générés sont faibles pour les batteries VRLA dans des conditions normales de fonctionnement, il est dangereux de placer ces batteries dans des équipements hermétiques à l'air. Les équipements dans lesquels sont placées les batteries acide-plomb VRLA doivent être ventilés afin de diminuer le risque de formation d'atmosphère explosive (ATEX) air/hydrogène.

Les batteries acide-plomb sont constituées d'une électrode positive PbO₂, d'une électrode négative Pb, d'un électrolyte aqueux contenant de l'acide sulfurique (H₂SO₄) permettant d'assurer le transfert des ions et d'un séparateur placé entre l'anode et la cathode afin d'empêcher le contact entre les électrodes. Dans le cas des batteries VRLA, l'électrolyte est contenu dans un matériau solide saturé.³ Il existe deux types de batteries acide-plomb VRLA selon le mode de saturation en électrolyte :

- Les batteries VRLA à électrolyte gel, dont l'électrolyte est gélifié par adjonction d'un additif, par exemple de la poudre de silice ;
- Les batteries VRLA AGM (Absorbent Glass Mat), dont l'électrolyte (acide sulfurique) est immobilisé par absorption dans un séparateur en fibre de verre.⁴

¹ Linden's handbook of batteries – fourth edition, Thomas B. REDDY (2011)

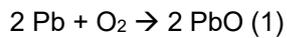
² Lead and Nickel Electrochemical Batteries, Christian GLAIZE & Sylvie GENIES (2012)

³ Techniques for estimating the VRLA batteries ageing, degradation and failure modes, A. Mariani *et al.*, Proceedings of the 19th international Conference on Automation & Computing, Brunel University, 13-14 September 2013

⁴ « Qu'est-ce qu'une batterie VRLA ? » (<https://microtexindia.com/fr/quest-ce-quune-batterie-vrla/>) – site consulté le 27/09/2022

Les batteries VRLA sont conçues de manière à permettre la recombinaison du dioxygène et du dihydrogène lors de la charge selon les réactions suivantes.⁵

Au niveau de l'électrode négative :



Au niveau de l'électrode positive :

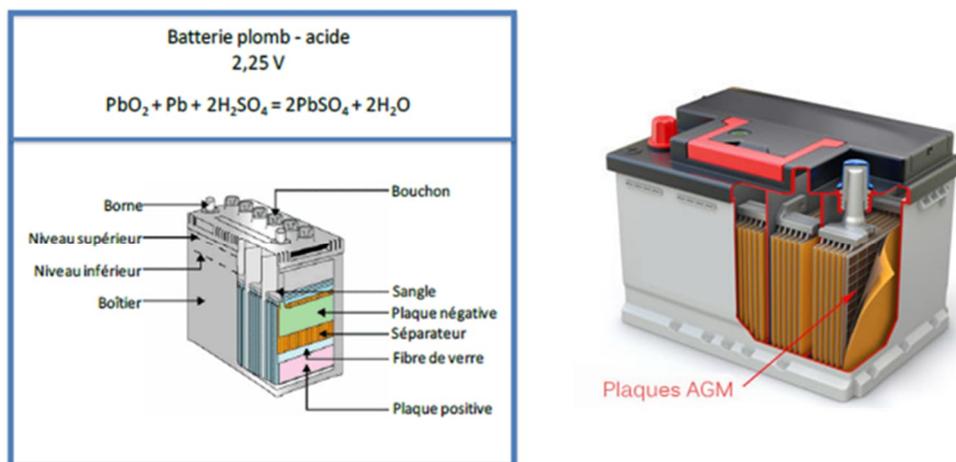
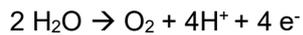


Figure 1 : Principe général de fonctionnement d'une batterie acide-plomb, et vue éclatée d'une batterie VRLA AGM⁶

⁵ Complexity in battery systems: Thermal runaway in VRLA batteries, Henry A. Catherino, Journal of Power Sources 158 (2006) 977-986

⁶ « Qu'est-ce qu'une batterie VRLA ? » (<https://microtexindia.com/fr/quest-ce-quune-batterie-vrla/>) – site consulté le 27/09/2022

3 Etat de maturité de la technologie et marchés visés

Les batteries acide-plomb ont été inventées en 1859 et sont la plus ancienne technologie de batteries encore utilisée dans des applications commerciales. Les premières batteries VRLA à électrolyte gel (silice) ont été produites dans les années 1930 par Elektrotechnische Fabrik Sonnenburg, puis améliorées et commercialisées par Sonnenschein à la fin des années 1950. Les premières batteries VRLA AGM ont quant à elles été commercialisées au début des années 1970 par Gates Rubber Corporation.⁷

Les batteries acide-plomb VRLA sont une technologie mature utilisée dans de nombreuses et diverses applications incluant les systèmes d'alimentation sans interruption (ASI), les moyens de transport légers (voiturettes de golf, fauteuils roulants électriques, chariots élévateurs...) et les applications de télécommunications. En 2019, le marché global des batteries acide-plomb est évalué à 59 milliards de dollars (équivalent en euros), au sein duquel les batteries VRLA représentent un segment de 33,9 %.⁸ Pour comparaison le marché des batteries Li-ion est estimé à des valeurs proches de 40 milliards de dollars (équivalent en euros) la même année.

⁷ « Qu'est-ce qu'une batterie VRLA ? » (<https://microtexindia.com/fr/quest-ce-quune-batterie-vrla/>) – site consulté le 27/09/2022

⁸ Rapport NFPA “Fire Hazard Assessment of Lead-Acid Batteries” (Juillet 2020)

4 Principaux avantages et principales limites d'une batterie au plomb à recombinaison par comparaison aux batteries conventionnelles au plomb

L'avantage principal d'une batterie VRLA comparativement à une batterie conventionnelle au plomb est sa facilité de maintenance. La perte d'eau est en effet minime dans une batterie VRLA, alors que le niveau d'électrolyte doit être régulièrement vérifié pour une batterie au plomb conventionnelle. L'eau consommée lors de l'électrolyse en charge doit être régulièrement renouvelée par un opérateur. Également, l'électrolyte d'une batterie VRLA est absorbé ou gélifié, ce qui permet d'éviter des fuites d'électrolyte parfois constatées pour des batteries conventionnelles.

Néanmoins, la flexibilité d'utilisation en charge et décharge d'une batterie VRLA est moindre par rapport aux autres batteries au plomb. Les batteries VRLA sont sujettes à des échauffements importants par effet résistif et à cause de la réaction exothermique de recombinaison du dioxygène à l'électrode négative. De fait, les batteries VRLA ne peuvent pas être chargées rapidement, et ne tolèrent pas les surcharges.⁹

Les décharges profondes sont également à proscrire du fait d'effets de dégradations observés sur le matériau actif de l'électrode positive.¹⁰ Des points spécifiques de sécurité liés à la technologie VRLA existent également, et seront traités dans la partie 5 de la présente note.

Batteries conventionnelles au plomb		Batteries VRLA	
Avantages	Limites	Avantages	Limites
Coût de production peu élevé	Maintenance régulière	Moins de maintenance	Production plus onéreuse
Flexibles en charge / décharge	Fuites d'électrolyte acide	Pas de fuites d'électrolyte	Peu flexible en charge / décharge
Durée de vie plus élevée	Emission de dihydrogène lors de la charge	Emission moindre de dihydrogène	

Tableau 1 : Avantages et limites comparés des batteries conventionnelles au plomb et des batteries VRLA

⁹ Rapport NFPA "Fire Hazard Assessment of Lead-Acid Batteries" (Juillet 2020)

¹⁰ Techniques for estimating the VRLA batteries ageing, degradation and failure modes, A. Mariani *et al.*, Proceedings of the 19th international Conference on Automation & Computing, Brunel University, 13-14 September 2013

5 Identification des principaux risques

5.1 Typologie de risques similaires aux batteries conventionnelles au plomb

Du fait de l'utilisation large, très répandue et depuis une longue durée de temps des batteries acide-plomb, une investigation sur les incidents liés à cette technologie ne peut être exhaustive. De nombreux incidents sans victime et sans dommage matériel majeur ne sont pas nécessairement recensés sur les bases de données d'accidentologie. Selon un rapport de la *National Fire Protection Association* (NFPA) daté de 2019, 26 accidents majeurs liés aux batteries acide-plomb ont été recensés à travers le monde sur la période 1979-2019, causant au total 14 morts et 12 blessés.¹¹ L'un des plus notables et des plus récents est le feu d'un local batterie sur un site de ferme éolienne de Kahuku à Hawaï en 2012, qui a causé la destruction de 12 000 packs batterie acide-plomb (15 MW) et de l'entièreté de l'entrepôt, avec flammes, émissions de fumées toxiques et irritantes durant plusieurs jours, malgré l'intervention des services de secours. Aucune victime n'a été causée par l'accident.¹² Plus récemment en mars 2021 à Strasbourg, un feu issu d'un local abritant des batteries au plomb et des ASI (alimentations sans interruption) a causé l'incendie d'un centre de stockage de données (datacenter OVH). Des dégâts ont été constatés sur tout le bâtiment, ainsi que plusieurs bâtiments voisins. L'incendie n'a causé aucune victime, mais les dommages financiers sont importants, avec une perte du service de stockage de données pour de nombreux clients.¹³

Les principales causes des incidents répertoriés comprennent :

- la surchauffe des batteries acide-plomb,
- un défaut d'isolement électrique entre les batteries et la terre,
- l'accumulation de dihydrogène produisant une Atmosphère Explosive (ATEX),
- l'incendie d'un onduleur (condensateurs sous-dimensionnés) adjacent aux batteries,
- un sur-courant au niveau d'une borne de la batterie entraînant l'inflammation du boîtier.

Les principales conséquences de ces incidents répertoriés comprennent :

- l'incendie d'une partie ou de toutes les batteries, pouvant aller jusqu'au bâtiment complet,
- l'explosion de l'ATEX formée par l'émission de gaz par les batteries,
- l'explosion de la batterie projetant de l'acide sulfurique.

L'ensemble de ces causes et des conséquences associées est également applicable aux batteries VRLA. L'accumulation de dihydrogène produisant une ATEX est fortement limitée par les batteries VRLA en fonctionnement normal grâce à la recombinaison des gaz. Néanmoins, le fonctionnement dégradé des batteries VRLA peut compromettre la recombinaison des gaz, entraîner une accumulation de gaz inflammables dans la batterie, brusquement libérées par la soupape lorsque la pression devient trop grande, causant de fait la formation potentielle d'une ATEX en l'absence d'une ventilation adaptée.

5.2 Risques spécifiques aux batteries au plomb à recombinaison

Plusieurs incidents spécifiques aux batteries VRLA ont été identifiés au cours des dernières années, parmi lesquels deux sont particulièrement notables et clairement analysés. Une explosion de batterie a été recensée en Australie dans une mine de l'Etat du Queensland en 2012. Des batteries VRLA surchargées ont émis du dihydrogène qui s'est accumulé dans le local batterie. Une source d'inflammation, suspectée être liée au chargeur des batteries, a conduit à l'inflammation de l'ATEX formée.

¹¹ Rapport NFPA "Fire Hazard Assessment of Lead-Acid Batteries" (Juillet 2020)

¹² <https://www.hawaiinewsnow.com/story/19173811/hfd-battling-kahuku-wind-farm-blaze/> (site consulté le 28/09/2022)

¹³ https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_ovh_67_vdif_cle01cf13.pdf

Les batteries ont été détruites, aucune victime n'a été causée par l'incident.¹⁴ Une explosion suivie d'un feu de batterie VRLA 12V à électrolyte gel a été recensée au Royaume-Uni, à l'aéroport de Manchester le 7 septembre 2008. La batterie était intégrée dans un fauteuil roulant électrique transporté par avion. Le personnel a identifié des étincelles provenant de la batterie au moment du déchargement du fauteuil roulant. Le fauteuil a été immédiatement transporté hors de l'avion. L'explosion a été observée durant le transport dans un véhicule aéroportuaire, accompagné d'un feu se propageant à l'ensemble du fauteuil.¹⁵

Plusieurs incidents sur batteries VRLA ont également été observés sur batteries VRLA AGM par l'INERIS en 2013, lors de prestations d'expertises pour des tiers. La défaillance de ces batteries s'est traduite par un gonflement avec déformation de l'emballage plastique, indiquant qu'une pression interne élevée a été atteinte au sein de ces batteries. Il est vraisemblable qu'un tel comportement de batteries VRLA a été observée en d'autres occasions, sans que ces incidents ne soient enregistrés dans les bases de données d'accidentologie.



Figure 2 : Photographie d'une batterie VRLA déformée par une défaillance thermique¹⁶

Le rapport du NFPA réalisé en 2019, sur la base d'une analyse d'accidentologie et d'essais de court-circuit et de surcharge, indique qu'un nombre d'emballages thermiques plus important est observé pour les batteries VRLA comparativement aux batteries conventionnelles au plomb. Cette plus grande occurrence d'incidence thermique serait liée à un assèchement de la batterie causé par de trop fortes températures d'exposition et/ou une surcharge de la batterie : la perte d'eau n'est pas compensée par un rajout d'eau externe car la maintenance en eau n'est pas aisée ou impossible pour une batterie VRLA.

La charge à tension constante (floating), qui permet de compenser l'autodécharge naturelle d'une batterie par un apport de courant équivalent en fixant la tension de la batterie, est présentée par Catherino *et al.* comme une étape critique dans la génération d'incident thermique pour les batteries VRLA. Le séparateur de la batterie contient l'électrolyte et sert également de lieu de transfert du dioxygène formé par électrolyse de l'eau puis recombinaison au niveau de l'électrode négative.

¹⁴ Queensland Resources Safety & Health – Mines safety alert no 280 - Emergency refuge bay explosion (18 Janvier 2012) (<https://www.rshq.qld.gov.au/safety-notices/mines/emergency-refuge-bay-explosion>)

¹⁵ "Passengers' lucky escape after wheelchair stowed in holiday jet bursts into flames", Daily mail online (23 septembre 2008) (<https://www.dailymail.co.uk/news/article-1060449/Passengers-lucky-escape-wheelchair-stowed-holiday-jet-bursts-flames.html>)

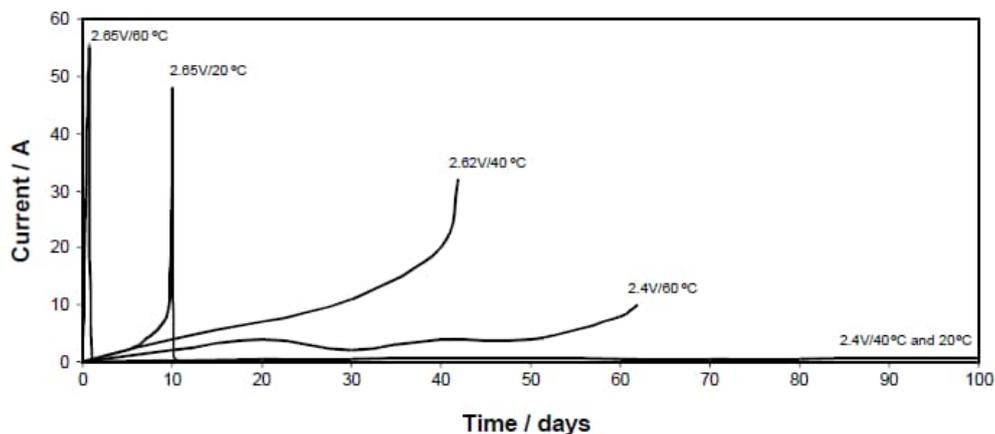
¹⁶ « New insights into thermal runaway of valve regulated lead-acid batteries », C. Michael Hoff *et al.* (2005)

Ces processus de génération de gaz, son transfert jusqu'à l'électrode négative, et sa recombinaison sont donc contrôlés par les caractéristiques du séparateur, qui joue donc un rôle thermodynamique clé. La résistance interne du séparateur et la régénération du dioxygène à l'électrode négative sont les principaux processus exothermiques.¹⁷

L'effet de la valeur de tension fixée pour la charge à tension constante ainsi que l'effet de la température à laquelle est chargée la batterie VRLA ont été étudiés par Culpin en 2003. 3 étapes distinctes ont été identifiées pendant la charge à une tension constante trop élevée durant des essais réalisés sur 6 batteries VRLA (6V, 100 A) :

- Etape 1 : L'efficacité de recombinaison est faible à cause de la tension trop élevée. La génération de gaz par électrolyse dans la batterie et l'assèchement de la batterie entraîne une augmentation progressive de sa résistance interne. Le courant fourni à la batterie pour maintenir la tension de la batterie augmente donc progressivement. La température augmente lentement. Cette étape peut se prolonger jusqu'à 60 jours d'essai.
- Etape 2 : Un changement dans le mécanisme de transport de l'oxygène à travers le séparateur entraîne une efficacité de recombinaison subitement très élevée. Ce processus exothermique couplé à la forte résistance interne de la batterie entraîne à la fois une forte augmentation du courant et une forte élévation de la température de la batterie. L'augmentation du courant et de la température s'auto-entretiennent jusqu'à emballement thermique de la batterie.
- Etape 3 : ébullition de l'électrolyte et libération des gaz par la soupape. Aucun feu ni explosion n'est observé pendant les essais, mais le taux de dihydrogène émis est suffisant pour former une ATEX selon l'auteur de la publication.

Le principal facteur identifié responsable de l'emballement thermique est la surcharge à une tension constante trop élevée. Une température trop élevée de charge agit comme un accélérateur de l'emballement thermique.¹⁸



¹⁷ Complexity in battery systems: Thermal runaway in VRLA batteries, Henry A. Catherino, Journal of Power Sources 158 (2006) 977-986

¹⁸ « Thermal runaway in valve-regulated lead-acid cells and the effect of separator structure », B. Culpin, Journal of Power Sources 133 (2004) 79-86

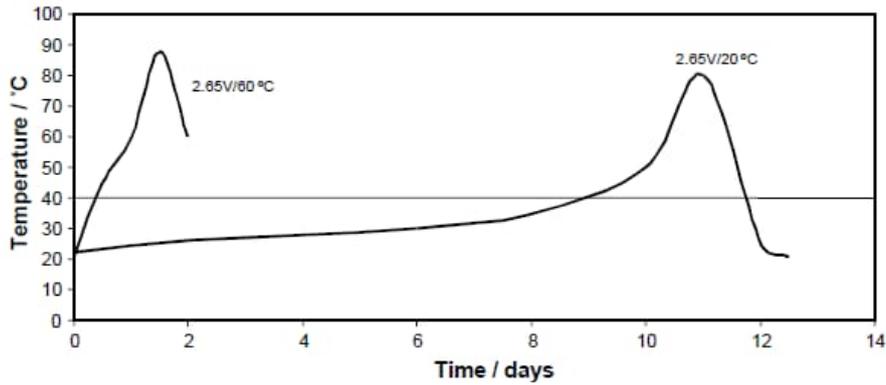


Figure 3 : (graphe supérieur) Profils de courants de batteries VRLA en charge à tension constante pour différentes tensions fixées supérieures à leur tension maximale et différentes températures de charges ; (graphe inférieur) Profils de température pour deux batteries VRLA portées à des tensions plus élevées que leur tension maximale durant les phases de floating

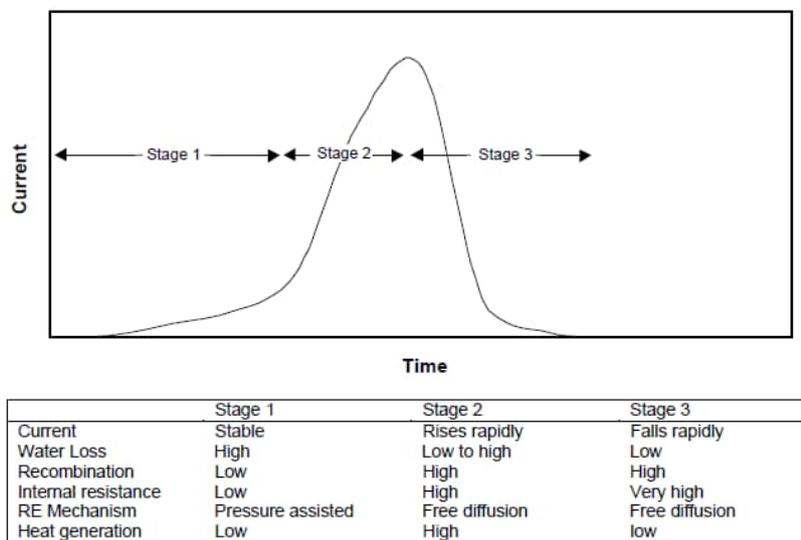


Figure 4 : Décomposition en 3 étapes de l'emballement thermique de batteries VRLA surchargées à tension constante

L'état de vieillissement de la batterie VRLA peut également jouer un rôle significatif dans l'apparition et la gravité de l'emballement thermique, mais la littérature n'aboutit pas à une conclusion tranchée. Hoff *et al.* ont testé en 2005 différentes batteries VRLA de plusieurs fabricants et dans des états de vieillissement variés. Les batteries les plus vieilles présenteraient des courants plus élevés lors des surcharges à tension constante (phase de floating), et donc conduiraient à une puissance d'emballement thermique plus importante.¹⁹ Cette observation n'est pas retrouvée dans les travaux de Culpin, qui constate au contraire des courants flottants moins élevés pour des batteries vieilles comparativement à des batteries neuves : la potentielle puissance d'emballement thermique serait donc limitée.²⁰

¹⁹ « New insights into thermal runaway of valve regulated lead-acid batteries », C. Michael Hoff et al. (2005)

²⁰ « Thermal runaway in valve-regulated lead-acid cells and the effect of separator structure », B. Culpin, Journal of Power Sources 133 (2004) 79-86

6 Réglementation et recommandations pour l'utilisation sûre des batteries au plomb à recombinaison

La charge des batteries VRLA, tout comme celle des autres batteries au plomb, est régie par la rubrique ICPE 2925-1, lorsque la puissance maximale de courant continu utilisable pour la charge cumulée de l'ensemble des infrastructures des ateliers est supérieure à 50 kW. L'activité est alors soumise à déclaration et relève de l'arrêté du 29/05/00 qui énonce plusieurs préconisations.²¹

L'arrêté en question doit être lu et appliqué dans son intégralité.²² Il impose notamment :

- La tenue d'un dossier d'installation classée ;
- Des règles d'implantation et d'accessibilité pour les secours ;
- Des règles de ventilation pour éviter tout risque de formation d'atmosphère explosive ou nocive en imposant un débit d'extraction (Q) donné par la formule (dans le cas des batteries VRLA) :
$$Q = 0,0025 \times n \times I$$
avec Q = débit minimal de ventilation, en m³/h ; n = nombre total d'éléments de batteries en charge simultanément ; I = courant d'électrolyse, en A.

A noter que ce débit d'extraction est 20 fois inférieur à celui préconisé pour les batteries ouvertes.

- La création d'aires de rétention ;
- La proximité d'appareils incendie et moyen d'alertes ;
- Le recensement, sous la responsabilité de l'exploitant et avec l'aide éventuelle d'organismes spécialisés, des parties de l'installation présentant un risque spécifique pouvant avoir des conséquences directes ou indirectes sur l'environnement, la sécurité publique ou le maintien en sécurité de l'installation électrique. Les parties d'installation présentant un risque spécifique tel qu'identifié ci-dessus, sont équipées de détecteurs de dihydrogène.
- L'interruption de la charge en cas de concentration limite en dihydrogène :
 - Pour les parties de l'installation équipées de détecteur de dihydrogène, le seuil de la concentration limite en dihydrogène admise dans le local sera pris à 25 % de la L.I.E. (limite inférieure d'explosivité), soit 1 % de dihydrogène dans l'air. Le dépassement de ce seuil devra interrompre automatiquement l'opération de charge et déclencher une alarme.
 - Pour les parties de l'installation non équipées de détecteur de dihydrogène, l'interruption des systèmes d'extraction d'air (hors interruption prévue en fonctionnement normal de l'installation) devra interrompre automatiquement, également, l'opération de charge et déclencher une alarme.

Dans le cas spécifique des batteries VRLA, les préconisations de ventilation se justifient pour le fonctionnement normal de la batterie VRLA par une recombinaison des gaz qui n'est pas effective à 100 %, et pour le fonctionnement dégradé de la batterie VRLA par un risque de surcharge à tension constante pouvant générer un emballement thermique de la batterie et l'émission de dihydrogène.

²¹ ICPE 2925 – Ateliers de charge d'accumulateurs électriques (<https://aida.ineris.fr/reglementation/2925-ateliers-charge-daccumulateurs-electriques>)

²² Arrêté du 29/05/00 (<https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-290500-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees>)

Par retour d'expérience de l'explosion de batterie VRLA en charge recensée en Australie dans une mine de l'Etat du Queensland en 2012, des recommandations préventives de sécurité ont été proposées par le *Resources Safety & Health Queensland* (RSHQ), qui peuvent être appliquées à d'autres batteries VRLA en charge.²³

- Inspecter toutes les batteries et les systèmes de charge, afin de s'assurer qu'ils sont bien compatibles, correctement installés, et que les recommandations des fabricants sont conformément respectées ;
- S'assurer que les batteries et leur environnement font l'objet d'une inspection et d'une maintenance régulières par un personnel qualifié, et que soient respectées *a minima* les recommandations des fabricants ;
- Vérifier très régulièrement que les batteries ne montrent pas de signes de gonflement ou d'autres défauts, parmi lesquels des brèches dans l'enveloppe des batteries ou des détériorations des terminaux des batteries ;
- Positionner les batteries dans un espace où les gaz inflammables ne sont pas susceptibles de s'accumuler ;
- Surveiller l'impédance interne des batteries, jusqu'à l'échelle cellule, afin de déterminer si celle-ci reste dans les limites acceptables spécifiées par les fabricants. Un défaut sur l'impédance interne doit être signalé par une alarme.

À cela peuvent s'ajouter d'autres recommandations inspirées de la littérature et de l'expérience acquise par l'INERIS :

- Ventiler correctement l'espace dans lesquels les batteries sont utilisées, respectant les exigences fixées dans l'arrêté du 29/05/00 relatif à la rubrique ICPE 2925-1 et respectant les exigences des normes de sécurité de référence de l'application considérée (stationnaire, portable, automobile...);
- Utiliser un système de gestion de la charge et de contrôle de tension / courant / température (de type *Battery Management System*, BMS) pouvant prévenir et diminuer les émissions de gaz inflammables, et alerter en cas de dysfonctionnement détecté ;
- Mettre en place des fusibles correctement dimensionnés ;
- Utiliser des détecteurs de dihydrogène et de sulfure d'hydrogène (H₂S) avec alarme déportée à l'extérieur des locaux dans lesquels les batteries sont utilisées ;
- S'assurer de la bonne tenue mécanique et en température des bacs batteries (contrôle qualité...);
- Tester divers scénarios abusifs simulant des agressions possibles que peut subir la batterie (court-circuit externe, surcharge, surchauffe, chute...). L'objectif est de caractériser le comportement des accumulateurs ou du système batterie en conditions dégradées, afin d'aider à mettre en place les barrières de prévention et de protection appropriées ;
- Former le personnel aux risques liés aux batteries et au port des équipements de protection individuelle (EPI) adéquats ;
- Définir un responsable sécurité, définir des procédures et des périodicités de maintenance préventives.

²³ Queensland Resources Safety & Health – Mines safety alert no 280 - Emergency refuge bay explosion (18 Janvier 2012) (<https://www.rshq.qld.gov.au/safety-notices/mines/emergency-refuge-bay-explosion>)

En cas de constat d'une batterie endommagée par inspection visuelle (gonflée, fendue...), il est recommandé de porter les EPI comprenant :

- Des lunettes de sécurité avec écrans latéraux, ou bien écran facial complet ;
- Des gants résistants à l'acide (néoprène ou butyle) ;
- Des vêtements de travail résistants à l'acide ;
- Des chaussures de sécurité résistantes à l'acide.

Une mesure à distance de la température à la surface de la batterie, à l'aide d'un thermomètre infrarouge, est recommandée. D'autres indicateurs à distance de la température interne, de la tension et du courant de batterie sont également d'une aide précieuse pour le diagnostic de la batterie. Si cela est possible, l'alimentation électrique de la batterie doit être interrompue à distance.

Deux cas sont alors possibles :

1. La température de la batterie est anormalement élevée, de l'ordre de 70°C, ce qui témoigne d'une surchauffe en cours de la batterie. L'exploitant ne doit pas intervenir avant un retour de la température de surface de la batterie à une température proche de l'ambiante. Cette température est un ordre de grandeur, le choix de cette température est basé sur les données provenant de la littérature. Dans ce cas de figure : sécuriser la zone entourant la batterie en surchauffe et prévenir rapidement l'équipe d'intervention adéquate.
2. La température de la batterie est sensiblement égale à la température ambiante. L'exploitant peut manipuler la batterie en respectant les règles de sécurité définies par les procédures. Il faut notamment veiller à :
 - retirer bijoux, bagues, montres et tout autre objet métallique avant la manipulation des batteries ;
 - ne jamais laisser un objet métallique entrer en contact simultanément avec la borne positive et la borne négative de la batterie ;
 - utiliser des outils isolés pour limiter le risque de court-circuit ;
 - maintenir la batterie à l'écart d'étincelles et de toute source d'inflammation.

La batterie doit être placée dans un bac de rétention en plastique pour se prémunir des éventuelles fuites, et doit être déconnectée (retrait des câbles). Il est recommandé de protéger les bornes positive et négative de la batterie avec un isolant pour éviter les courts-circuits. Si l'exploitant constate la présence de traces de fuites d'électrolyte dans la cabine consécutives à de légers écoulements, il est conseillé d'absorber ces fuites avec du sable sec, de la terre ou de la vermiculite ou avec des lingettes ou du papier absorbant compatibles.

Il est conseillé de transporter la batterie dans son bac de rétention et de la maintenir afin d'éviter un éventuel basculement puis de stocker la batterie endommagée dans son bac de rétention dans une zone dédiée ventilée.

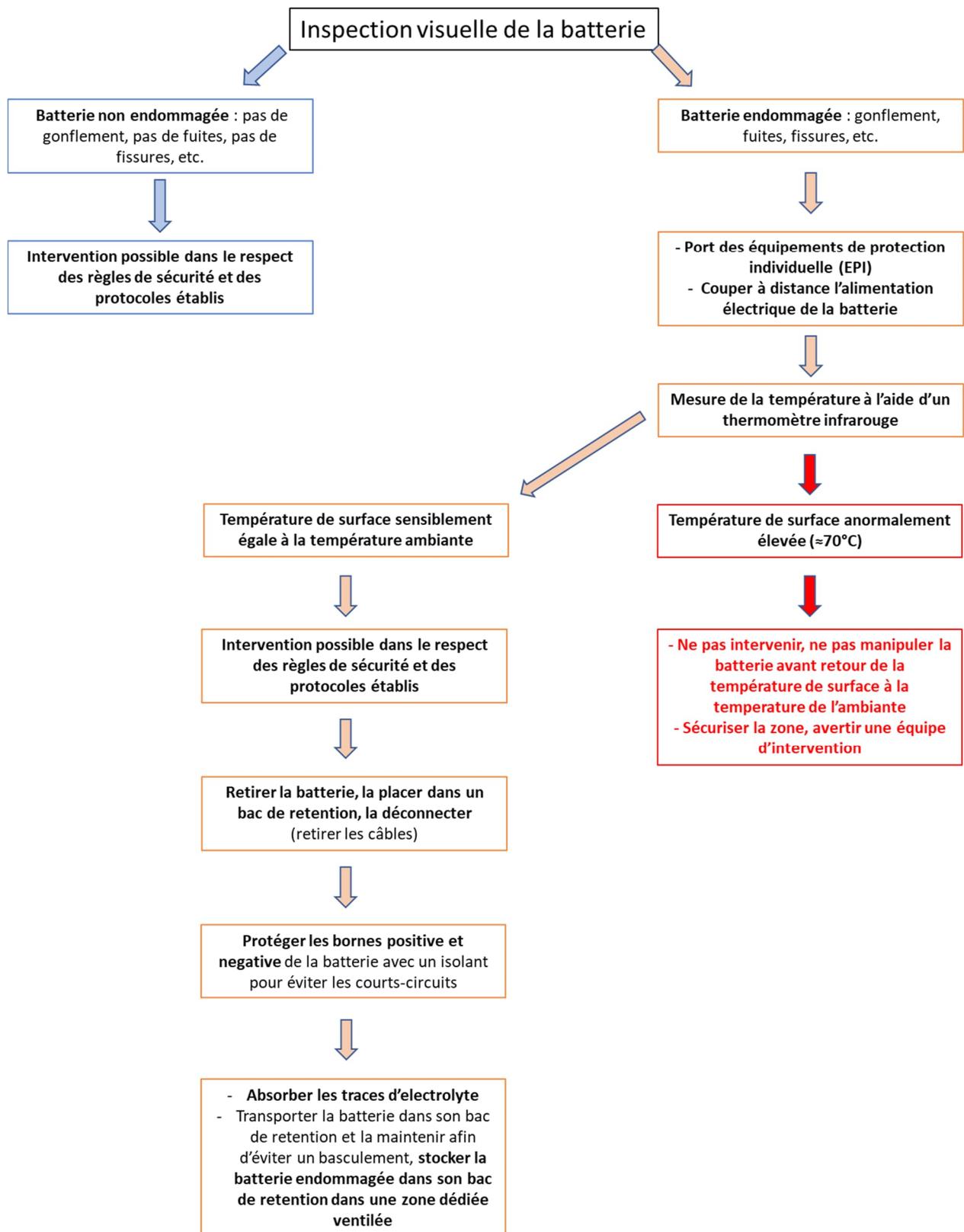


Figure 5 : Synoptique de la manipulation des batteries VRLA endommagées

7 Conclusions et perspectives

Les batteries VRLA sont des batteries acide-plomb à régulation par soupape. En fonctionnement normal, les batteries acide-plomb produisent du dioxygène (O_2) et du dihydrogène (H_2) par électrolyse de l'eau lors de la charge. Pour les batteries de type VRLA, la majorité du dioxygène généré à des taux de charge normaux est recombinaison au sein de la batterie. L'émission des gaz générés par le fonctionnement normal des batteries VRLA est donc réduite par rapport aux batteries acide-plomb conventionnelles de type « ouvertes ».

Tout comme les batteries conventionnelles au plomb, les batteries VRLA présentent des risques similaires de défaut en fonctionnement, issus de causes internes et externes à la batterie, notamment leur surchauffe, des défauts d'isolement électrique vis-à-vis de la terre, des surcourants au niveau des bornes, leur court-circuit externe. Les conséquences de ces défaillances peuvent être importantes : incendie de la batterie, du système dans lequel elle est intégrée, du bâtiment complet, explosion de la batterie ou de l'atmosphère explosive formée par l'émission de gaz par la batterie.

Des risques de sécurité sont aussi spécifiquement associés aux batteries VRLA, tout particulièrement leur surchauffe lors d'une charge à tension constante trop élevée, qui peut aboutir à un emballement thermique de la batterie, et à l'émission de dihydrogène inflammable par la soupape susceptible de former une atmosphère explosive.

Des mesures préventives de sécurité sont définies, notamment vis-à-vis de la ventilation appliquée à l'emplacement d'une batterie VRLA. La charge des batteries VRLA, tout comme celle des autres batteries au plomb, est notamment régie par la rubrique ICPE 2925-1, lorsque la puissance maximale de courant continu utilisable pour la charge cumulée de l'ensemble des infrastructures des ateliers est supérieure à 50 kW. Dans le cas spécifique des batteries VRLA, les préconisations de ventilation se justifient pour le fonctionnement normal de la batterie VRLA par une recombinaison des gaz qui n'est pas effective à 100 %. Le fait que les émissions soient moindres par rapport aux batteries ouvertes est déjà pris en compte dans la réglementation puisque les valeurs de débit d'extraction préconisés sont divisées par 20. En fonctionnement dégradé, la batterie VRLA présente un risque de surcharge à tension constante pouvant générer un emballement thermique de la batterie et l'émission de dihydrogène.

