Sécurité et fiabilité des batteries

Pascal Gouérec, Ph.D.
Energy Project Leader

Serma Technologies
Savoie Technolac, 50 Avenue Lac Léman, BP 332, F-73370 Le Bourget du Lac, France
T: +33 (0)4 79 60 15 30, M: +33 (0)6 46 60 45 18, e-mail: p.gouerec@serma.com
http://www.serma-technologies.com/

Serma Technologies, Qui sommes-nous ?

SERMA GROUP
Created in 1991 / On Alternext Paris Market
10 000 m^2 laboratories
650 Engineers & Technicians in France and Germany

2012 Turnover : 75 M€
2 M€ investment / year
600+ customers, 6000+ projects per year

Serma Technologies, Energy division is hosted by the Institut National de l'Energie Solaire (**INES**) – *www.ines-solaire.org*

A few keywords:

Electronic, Microelectronics, Energy

Services, expertise, consulting, tests and analyses, audits

Markets: Automotive, Transport, Aeronautic, Telecom, Space/Defense, Component & board manufacturers.

For more information:
www.serma-technologies.com

SERMA TECHNOLOGIES
Microelectronic, Microsystem, Nanostructure and Energy
EXPERTISE CENTER

- Issued from Thomson in 1996.
- Moved to Grenoble MINATEC Campus in January 2007
- New plant in Chambéry in March 2011 (INES location)
- Partnership with CEA

- 21 persons, 5 Ph-D, 5 engineers, 9 technicians, 2 admin
- 3 departments : Physical Expertise, Electrical Expertise, Energy
- ~150 customers, ~1 000 analysis per year
- R&D : MINALOGIC and TENERRDIS Partner, 4 running Projects

SERMA TECHNOLOGIES

CEA-SERMA Partnership

- ➔ CEA and Serma rely on **complementary solutions to build global projects** to their customers (microelectronics and energy)
- ➔ Beyond his own laboratories, **Serma experts use some CEA tools and equipments** for characterization, tests and expertise.
- ➔ **CEA asks Serma for recurrent tasks** or complementary solutions.
- ➔ Very opened contract : fast integration of new tools/new solutions/new services including technical support and know how transfer
- ➔ R&D coming from Serma customers ➔ CEA for partnership or transfer

Sécurité des batteries / Fiabilisation

- Les conséquences de l'instabilité des batteries – Quelques cas…
  - Batteries Lithium
  - Batteries Plomb VRLA
  - Analyses de défaillance par SERMA

- Maitriser les risques associés à l'utilisation des batteries
  - Electronique de Contrôle (PCB/PCM/ BMS – Battery Management System)
  - Sélection des chimies et fournisseurs
  - Plan de Qualification – *Un exemple typique*
  - Normes et certifications internationales

- Conclusions
- Questions

Sécurité des batteries / Fiabilisation

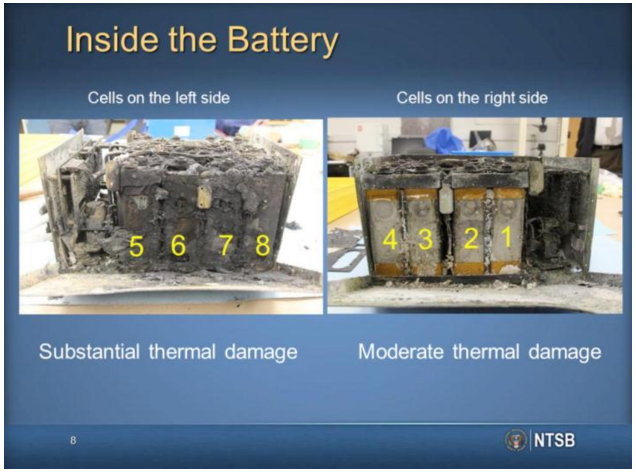
- Les conséquences de l'instabilité des batteries – Quelques cas…
  - Batteries Lithium
  - Batteries Plomb VRLA
  - Analyses de défaillance par SERMA

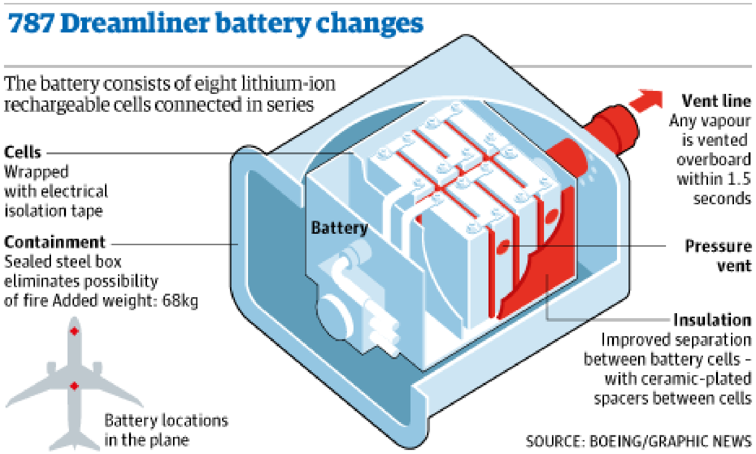
- Maitriser les risques associés à l'utilisation des batteries
  - Electronique de Contrôle (PCB/PCM/ BMS – Battery Management System)
  - Sélection des chimies et fournisseurs
  - Plan de Qualification – *Un exemple typique*
  - Normes et certifications internationales

- Conclusions
- Questions

Boeing 787 Dreamliner

SERMA TECHNOLOGIES





<u>Cost for Boeing</u>: 600 M$ estimated
<u>Expected 'smoke event'</u>: 1 every 10 Millions flight hours
<u>Cause</u>: Internal Short Circuit in one cell

SOLUTION PROPOSÉE

Lithium Ion Batteries Faulted for Jet Crash

Serma Technologies

Apr. 4, 2011 - 2:52 PM PDT Apr. 4, 2011 - 2:52 PM PDT

Summary: A new report on the crash of a UPS jet carrying rechargeable lithium batteries outlines the hazards of transporting these devices.

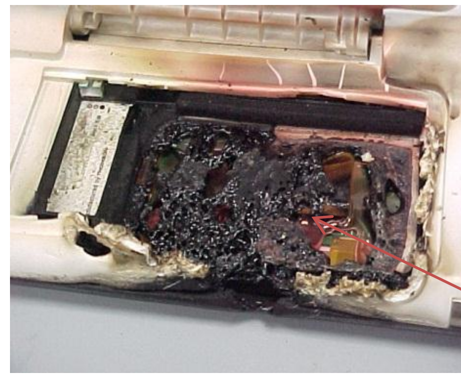
It's the latest fuel for concern about the safety of lithium ion batteries, which store energy not only for gadgets but also plug-in vehicles.

The two crew members killed!

http://gigaom.com/2011/04/04/lithium-ion-batteries-faulted-for-jet-crash/

SERMA TECHNOLOGIES

Tablette électronique

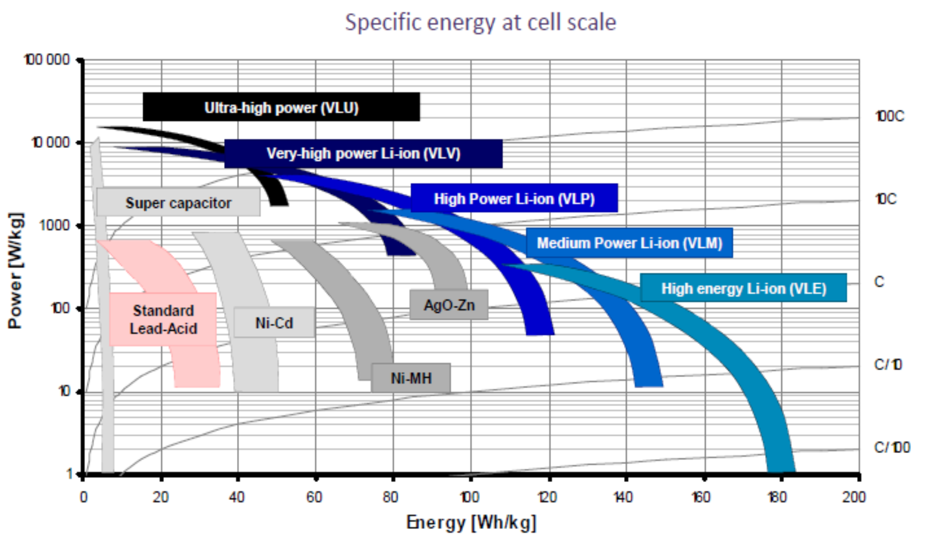


Batterie
Lithium Polymère

- <u>Observations</u>: Gonflement et Emballement thermique de 2 tablettes
- <u>Conséquences</u>: Destruction produit et sécurité de l'utilisateur

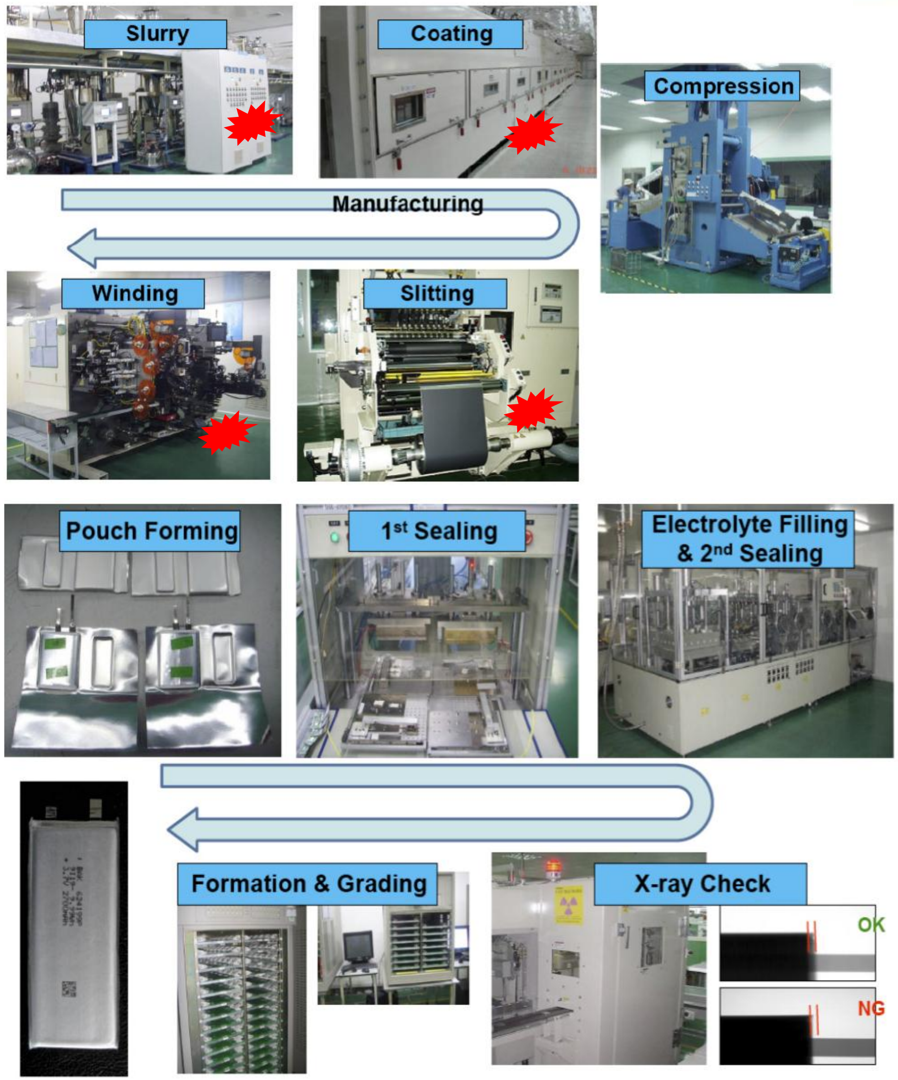
Les spécificités de la chimie Lithium

- Capacité de stockage par unité de volume importante
- Tensions aux bornes: 4,5V
- Potentiellement instable
- Utilisation de solvants organiques



- Forte réactivité du Lithium avec H_2O et humidité
  - ➡ Contraintes environnement et conception (‘*dry room*’)
- Design des cellules en couches minces
  - ➡ Nécessite une bonne maitrise des procédés de fabrication

Batteries Lithium et Emballement thermique

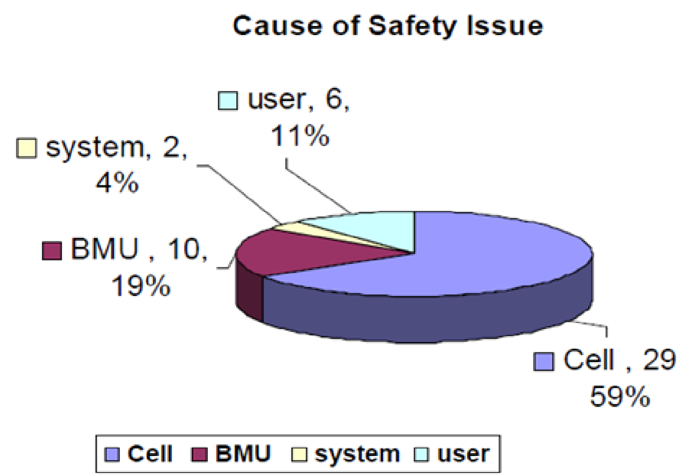


Lithium Polymer Manufacturing process *(source: MicroPower)*

Court-circuits internes souvent mentionnés comme origine de l'emballement thermique.

Toutes les étapes de la fabrication sont toutes potentiellement à risque.

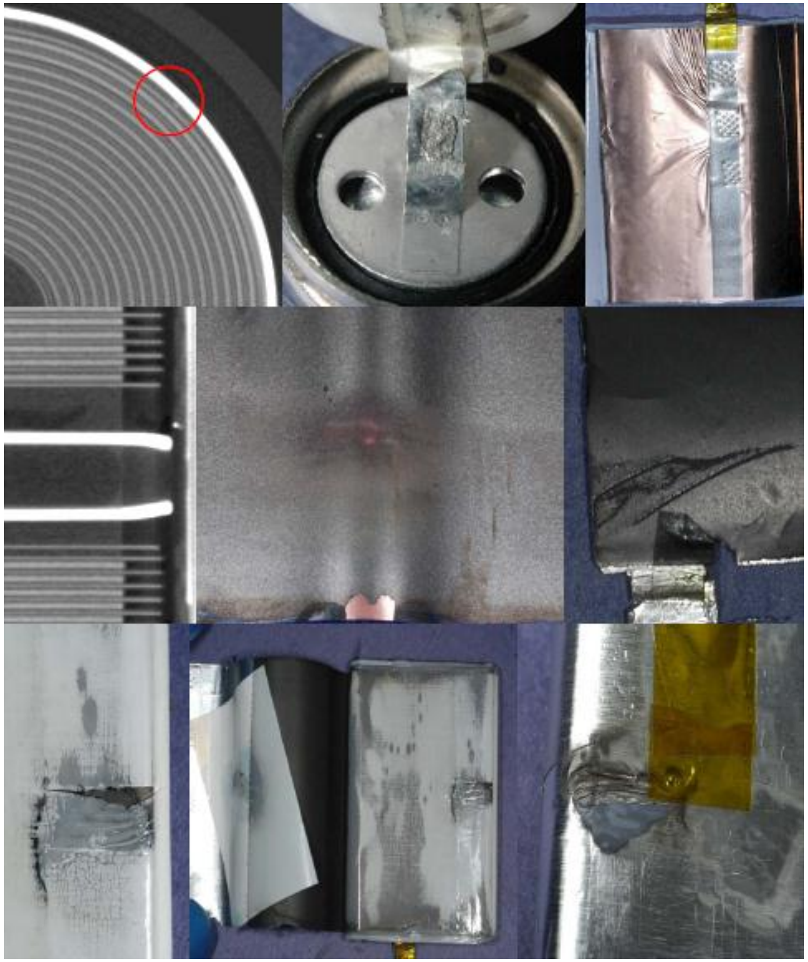
Toutefois, ne pas oublier: ***L'utilisateur, Le système, L'électronique de contrôle***



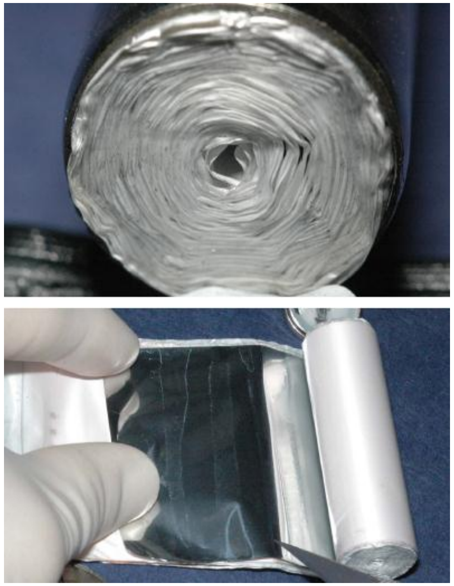
Source, SMP, IBS 2008

SERMA TECHNOLOGIES

La maitrise du procédé de fabrication est critique



Défauts pouvant mener à des court-circuits internes (*source: Fire Research Fondation*)

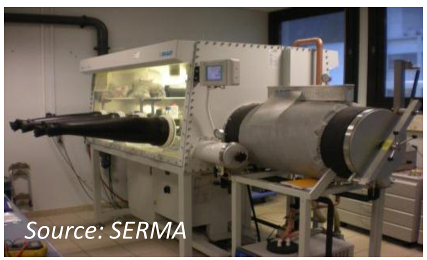


Composants internes – cellule 18650

SERMA TECHNOLOGIES

Analyse de défaillance (F.A.)
Procedure vs. cellules

Electrical equipment
For in-coming characterization



Glove box – Argon saturated
For cell dissambly

Optical characterization techniques

Procédure générique F.A. chez SERMA

Incoming control
- Visual inspection
- X-Ray 3D

→ **Electrical** characterization *(when possible)*

↓

Cell **disassembly** (in glove box)

L1 → **Visual inspection** includes:
-Construction analyses
-Alignment of electrodes
-Physical integrity of separator

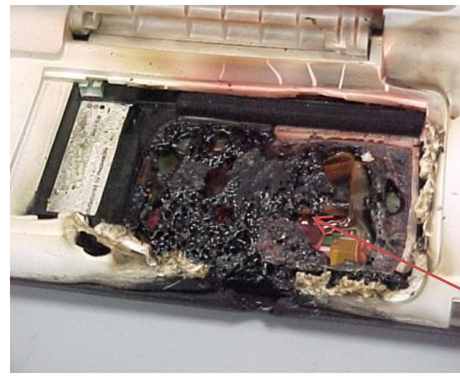
L2 → **Optical** characterization - e.g. MEB-EDX, FIB
Chemical analyses - e.g. ICP

Puis second niveau:
Fiabilité de l'électronique de contrôle

Source: SERMA, Présentation à: AABC Europe 2012 June 18 - 22 Mainz, Germany

SERMA TECHNOLOGIES

Tablette électronique



Batterie
Lithium Polymère

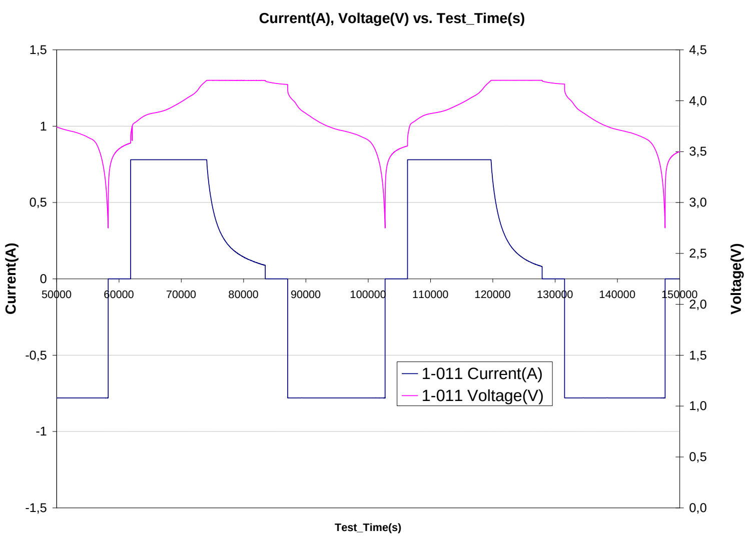
Emballement thermique d'une tablette
- lors de la recharge
- lors d'une phase de veille

Source: SERMA, Présentation à: AABC Europe 2012 June 18 - 22 Mainz, Germany

SERMA TECHNOLOGIES

Tests Électriques d'entrée

Performance tests



In order to consolidate our observations, **construction analyses** and **electrical testing** on brand-new batteries from the same manufacturing lot were carried out.

Cell	Cell Internal Resistance At 1 kHz / mΩ	Pass/ Fail (< 20 mΩ)
Batt 4	55	***FAIL***
Batt 3	30	***FAIL***

Although new, cells are failing the control entry tests as set by the battery supplier
High Cell Internal Resistance and Lower Capacities vs. Specifications observed

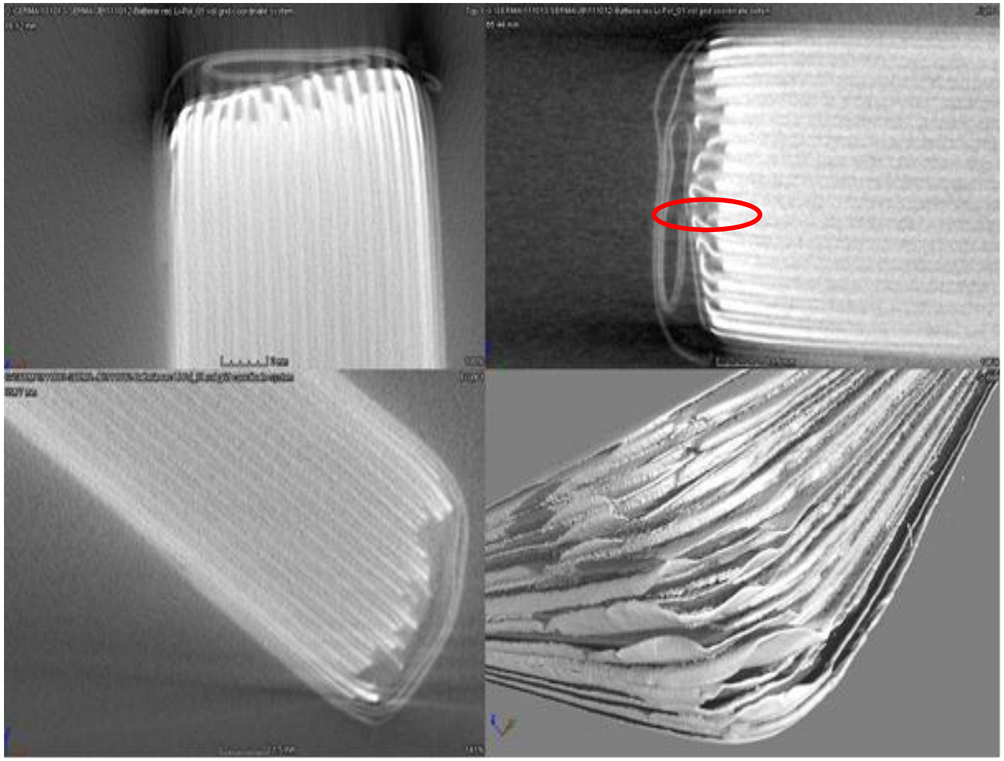
Source: SERMA, Présentation à:

AABC Europe 2012
June 18 - 22
Mainz, Germany

Analyse non Destrutive - X-Ray 3D
Un outil puissant pour la F.A.

SERMA TECHNOLOGIES

Prior to cell disassembly, a X-ray 3D analysis is performed for *in situ* observations of cell integrity.



Example: Laminated LiPo cell (New)

The cell consists in stacked electrodes:
16 negative plates
&
15 positive plates.
In the present case, electrodes are not correctly aligned.

This can potentially be a source for **safety problems** as the cell will age (e.g. micro short circuit might happen).

Elsewhere, imperfections of the electrode coating was also reported

Source: SERMA, Présentation à: AABC Europe 2012 June 18 - 22 Mainz, Germany

SERMA TECHNOLOGIES

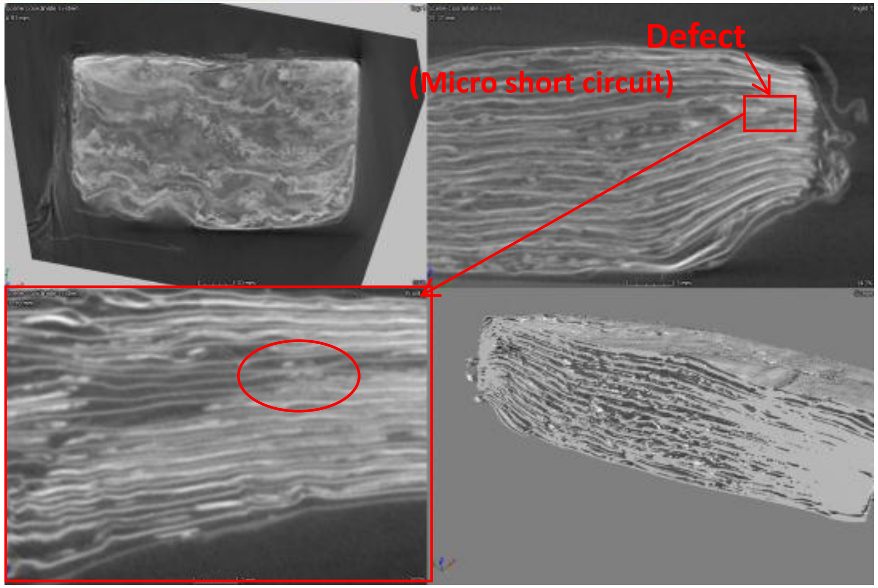
A Case Study

LiPo battery fused on charging dock

Battery after thermal runaway
As received

Step 1

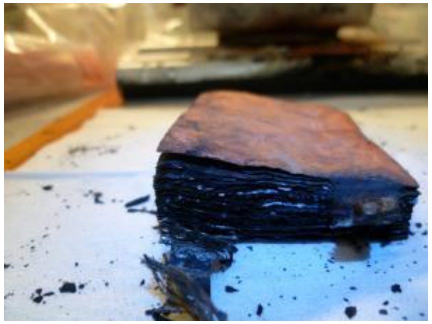
X- Ray 3D investigation

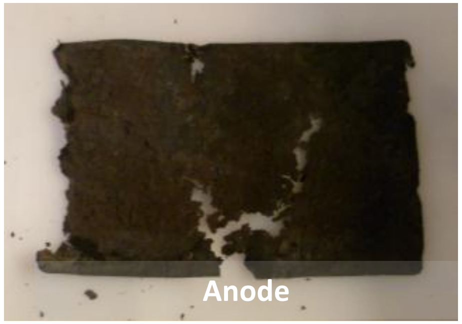


Micro short circuits localized

Step 2

Visual inspection





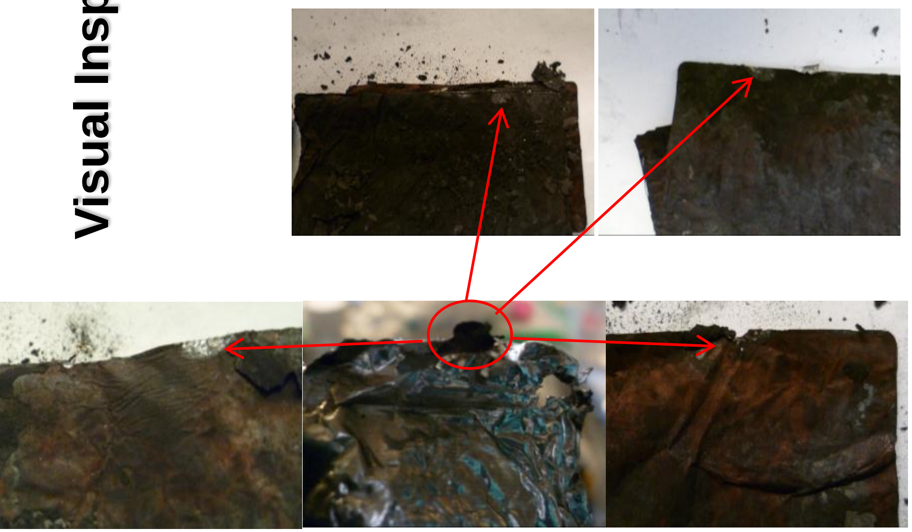
Locally Aluminum current collector has melted during the thermal runaway

Source: SERMA, Présentation à: AABC Europe 2012 June 18 - 22 Mainz, Germany

Identification of Defects After Thermal Runaway

Visual Inspection

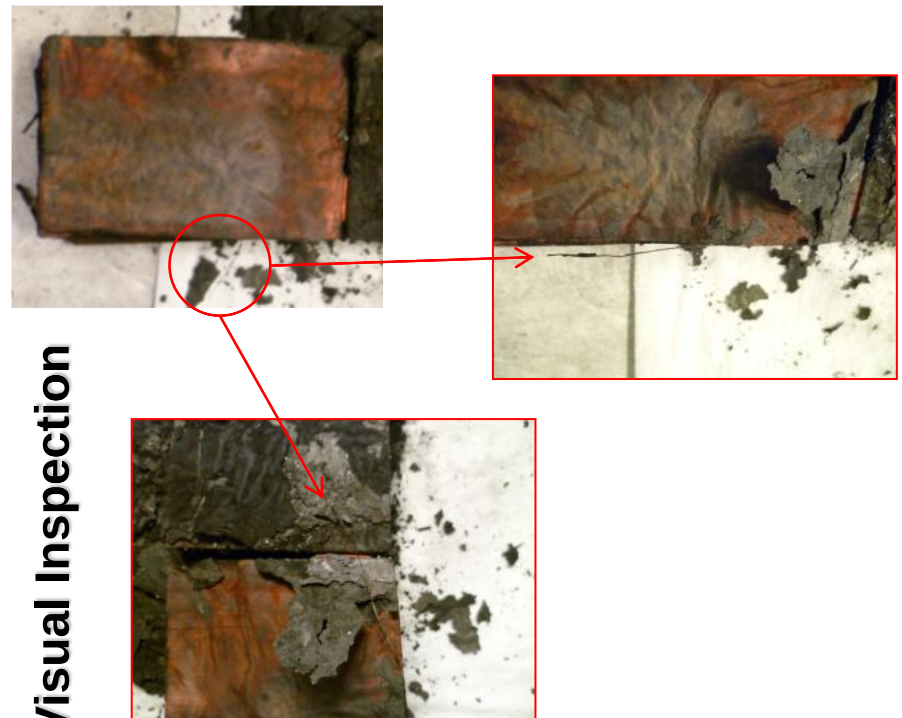
Aluminum CC plates sealed with the laminated package



Sealing process is out of control

Existence of sharp Cu 'needles' on edges of the metallic plates

Visual Inspection



Slitting process is out of control

Identification of Defects After Thermal Runaway

Punctures and scratches in the Cupper CC plates

Visual Inspection

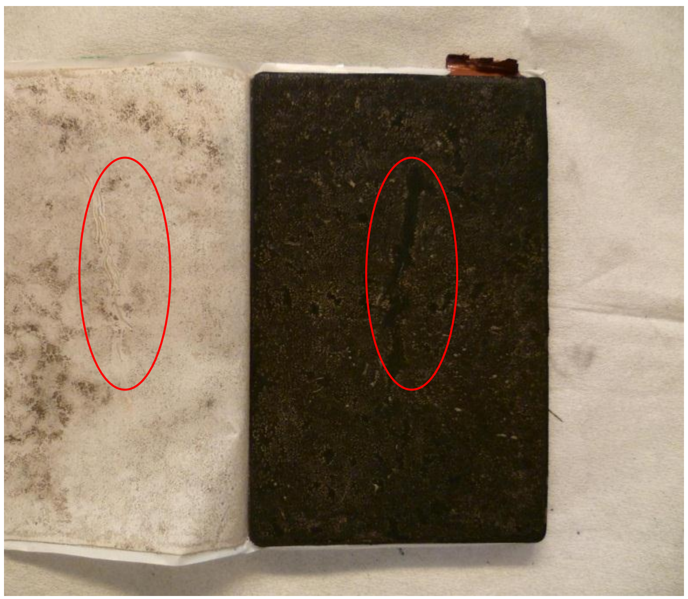
Improper material handling during process and/or Material sourcing

SERMA TECHNOLOGIES

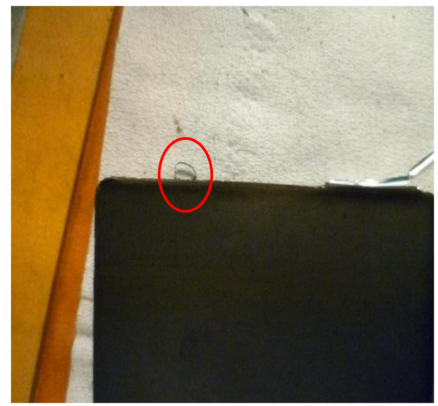
Construction Analyses
Using operating LiPo batteries

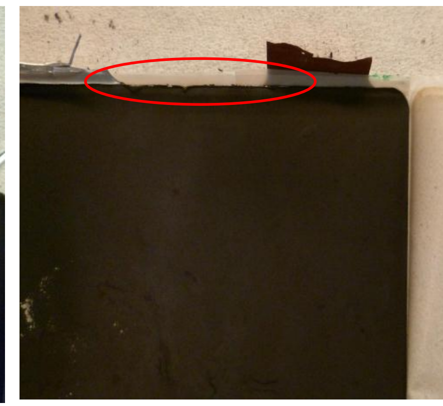
In addition to the X-Ray 3D observations, the cell was dismantled. 2 types of defects or imperfections were observed.

Visual Inspection



Cracks in anode layer
due to a folded separator.





Metallic burrs on Cathode Aluminum CC

Although performing correctly (but below electrical specs.), those cells show mechanical imperfections that might lead to safety problems.

Source: SERMA, Présentation à: AABC Europe 2012 June 18 - 22 Mainz, Germany

Résultats de l'investigation

- Défauts de fabrication et d'assemblage clairement identifiés
- Responsabilité du fabricant de batterie potentiellement engagée.

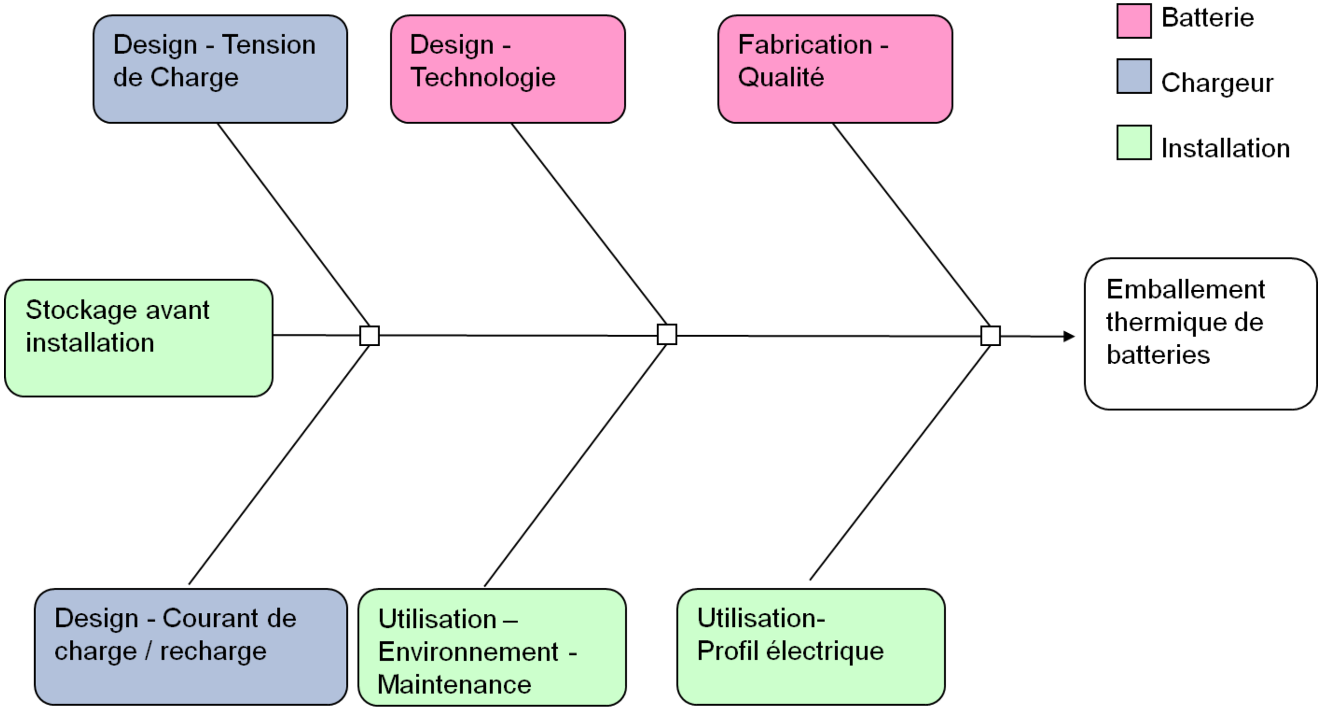
- Recommandations:
  - Rappel des produits
  - Sélection nouveau fournisseur avec plan de qualification préalable

Etude de cas:
Batteries Plomb Acide VRLA pour Onduleur

Etat de batteries Plomb Acide après emballement thermique

- <u>Observations</u>: Gonflement d'éléments Plomb dans Onduleurs
- <u>Conséquences</u>: Risques fonctionnels et sécuritaire, Maintenance plus fréquente.

Analyse Fishbone –
Conditions menant à Emballement thermique



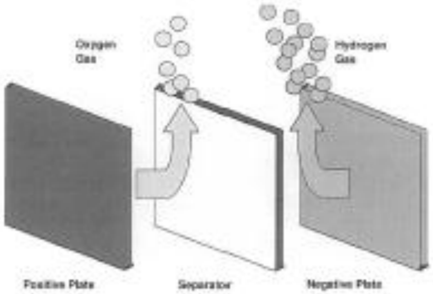


Figure 1 – Vented Cell Gas Evolution

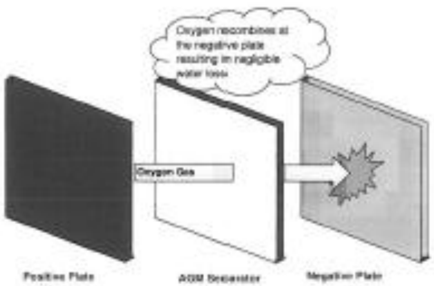


Figure 2 – VRLA Cell Oxygen Diffusion

Détection et prévention d'un emballement thermique / batt. Plomb

SERMA TECHNOLOGIES

Chargeur – Tension de floating trop élevée

Chargeur – Courant de récharge trop important

Temp. de l'environnement trop important

Défaut d'isolation

Cellules en court-circuit

Chargeur – Courant/tension ondulé trop important

Potential Cause	Prevention	Detection	Immediate Action
High Float Charging Voltage	Set to manufacturer recommendation for temperature of operation. Temperature compensated charging voltage	Charger high - voltage alarm Battery high – temperature alarm	Interrupt charger output to battery
High Recharge Current Availability	Reduce charger output capability or increase battery Ah capacity	Alarm on 10°C temperature difference between battery and environment	Interrupt charger output to batter
High Temperature Operating Environment	Install in cool area Install with 0.5" spacing Install in ventilated space (natural or mechanical) Reflective paint and situate enclosure to avoid radiant heat sources Install active or passive cooling system	Battery high temperature alarm Enclosure high temperature alarm	Interrupt charger output to battery
Ground Faults	Observe battery containers for damage during installation	Ground Fault Detector/Monitor Float current monitor	Interrupt charger output to battery
Shorted Cells	Maintain "fresh" inventory Recharge within 24 hours of discharge Charge @ recommended voltage Perform recommended PM Perform periodic capacity test	OCV greater than 2.08 v/c Manual or automatic monitoring Less than 80% rated Ah capacity	Apply freshening charge Set charger output voltage to recommended value for operating temperature Replace battery
Charger excessive AC ripple voltage/current	Increase charger output filtering	Manually or automatically monitor Battery temperature 10°C above ambient	Replace charger output filters Interrupt charger output to battery

Source: PowerSonic

Intervention sur site
Relevés
tension / résistance interne / température

AES 1				
	V output charger:		53.9	V
	Temperature Ambiant		33	°C
	I floating		20	mA
	Date installation batterie		févr-11	
	Date code		101029L	
		Voltage / V	**Rint / mΩ**	**Comments**
	Batt 1	13.54	15.8	
	Batt 2	13.51	15.8	
	Batt 3	13.45	15.13	
	Batt 4	13.41	20.00	*Léger gonflement*

AES 2				
	V output charger:		54.5	V
	Temperature Ambiant		33-36	°C
	I floating		0-50	mA
	Date installation batterie		mars-12	
	Date code		120113L	
		Voltage / V	**Rint / mΩ**	**Comments**
	Batt 1	13.68	16.07	V hors specs
	Batt 2	13.64	15.80	V hors specs
	Batt 3	13.64	19,72	V hors specs , *gonflem.*
	Batt 4	13.52	18,31	

Observations lors de l'intervention:

- Températures importantes dans le local technique
- Absence ou mauvaise compensation thermique du chargeur

Résultats de l'investigation

- Observations lors de l'intervention:
  - Températures importantes dans le local technique
  - Absence ou compensation thermique partielle du chargeur

  +

  - Mauvaise gestion des stocks batteries chez le client

    (FIFO absent, pas de suivi tension et recharge ponctuelle, pas de contrôle et suivi de la température)

- Recommandations:
  – Meilleure gestion des stocks en amont (FIFO, Suivi Vocv et Temp. stockage …)
  – Procédure d'installation et de maintenance à adapter (Vmin, $Rint_{max.}$)
  – Extraction chaleur à améliorer / climatisation
  – Chargeur: compensation thermique sur une plage plus importante de température, choix des éléments, notamment transistor de puissance.

Sécurité des batteries / Fiabilisation

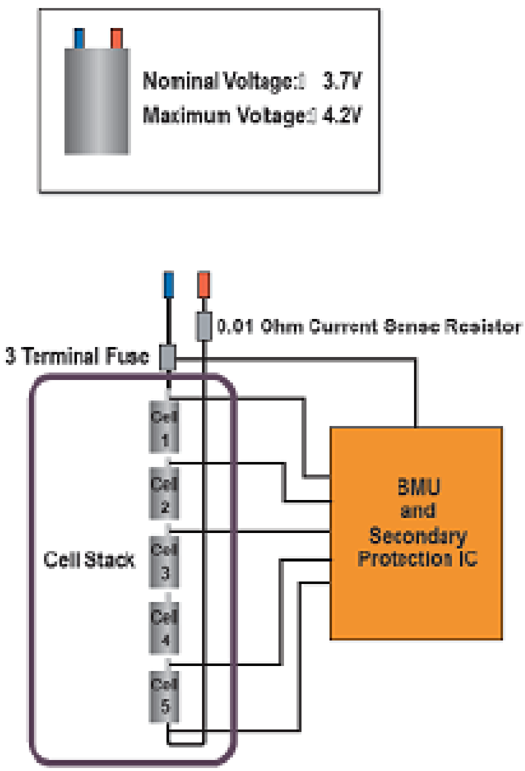
SERMA TECHNOLOGIES

- Les conséquences de l'instabilité des batteries – Quelques cas…
  - Batteries Lithium
  - Batteries Plomb VRLA
  - Analyses de défaillance

- Maitriser les risques associés à l'utilisation des batteries
  - Electronique de Contrôle (PCB/PCM/ BMS – Battery Management System)
  - Sélection des chimies et fournisseurs
  - Plan de Qualification – *Un exemple typique*
  - Normes et certifications internationales

- Conclusions
- Questions

Les différents niveaux de protection
Electronique de contrôle et Design cellules/packs



Functions of the Battery Management Unit:

Primary Control Circuit:

1. Voltage Charging Control
2. Voltage Discharging Control
3. Current Charging Control
4. Temperature Charging Control
5. Monitor Secondary Protection Error Signals
6. Stack Charge Current Imbalance
7. Cell Voltage Imbalance
8. Charge Control Failure
9. Discharge Control Failure
10. Control to Permanently Disable the Battery Pack

Secondary Protection:

1. Safety devices integrated into the cells
2. Cell Over Voltage monitoring IC
3. Over-current monitoring

Fig. 3: Typical protection provided by a multi-cell battery pack.

3 niveaux de protection

- Cellules (isolation, soupapes …)
  - *Prévention surcharge*
  - *Réaction vs. temp. et pression*
- PCM / PCB
  - *Prévention surcharge/sous-dech*
  - *Prévention forts courants*
  - *Prévention temp. hautes (PTC)*
- BMS (Battery Management System)
  - *Intelligence de la batterie (SOH, SOC)*
  - *Contrôle tension / courant / temp.*
  - *Equilibrage cellules*
  - *Profils charge / décharge*

Sécurité
– Design des cellules

PTC – Positive Temp. Coeff.
≡ Thermistor ≡ polyswitch

– Réarmable/réversible

Isole la batterie en cas d'augmentation modérée de température.
Aussi présent sur PCM

CID – Charge Interupt Device

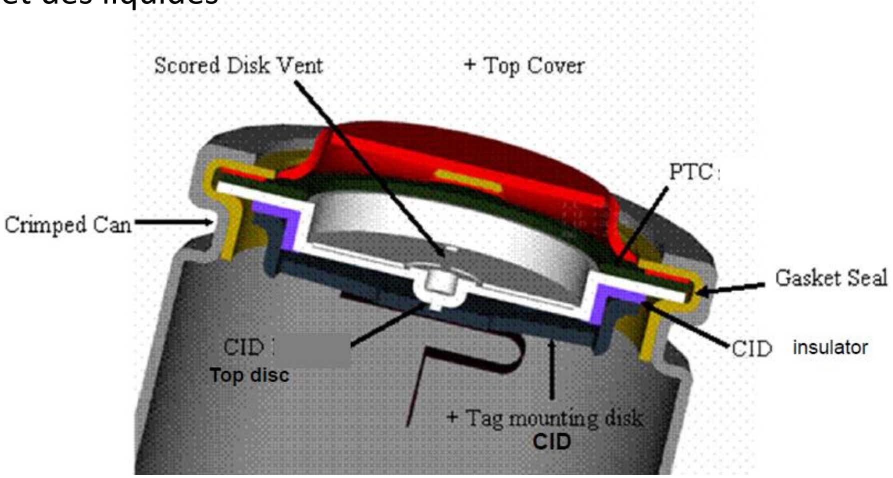
- Irreversible / mécanique

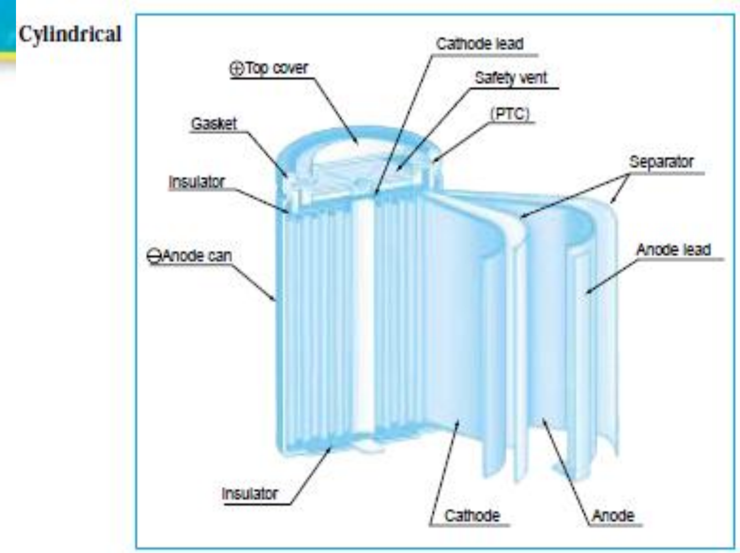
Isole la batterie en cas d'augmentation importante de la pression interne.

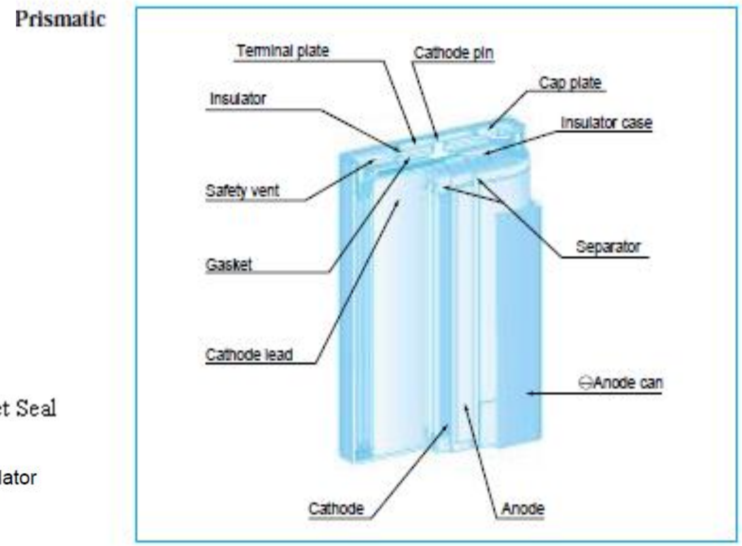
Safety vents

- Irreversible / mécanique

Stade ultime lors d'un emballement thermique avec comme conséquence l'expulsion des gaz et des liquides







Source: Sony

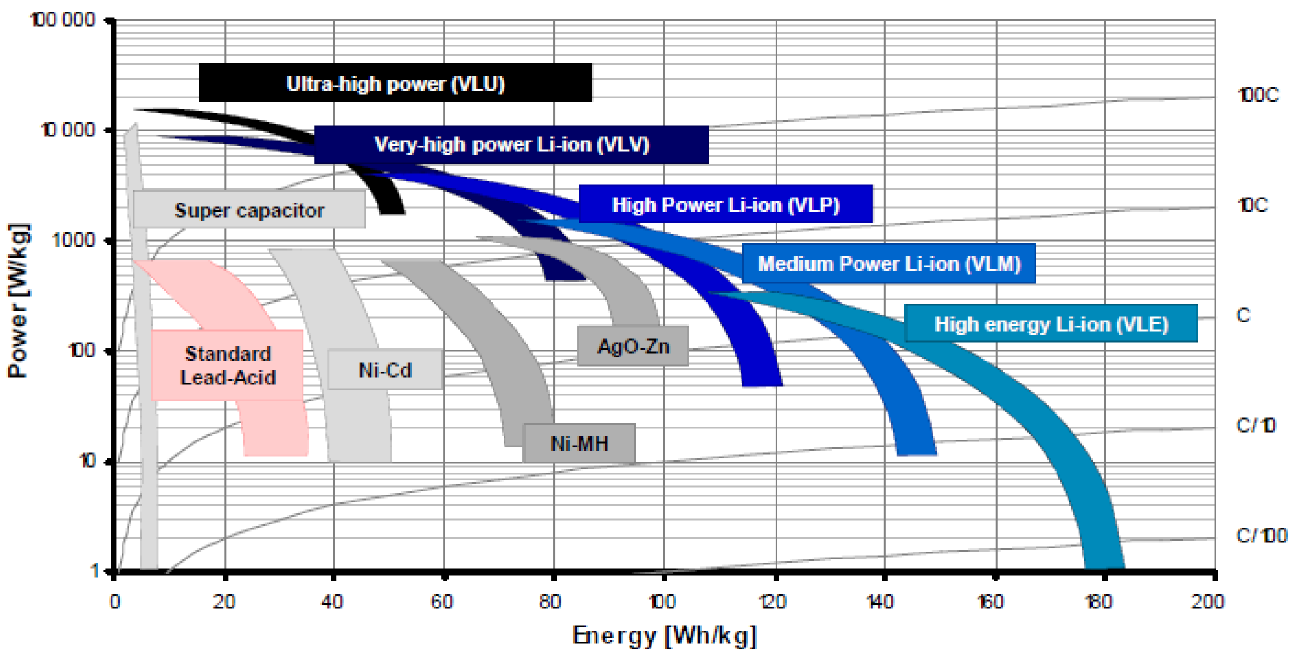
Comment minimiser les risques?
Selection de la batterie

Une batterie (ou une pile), Pour quelle application?

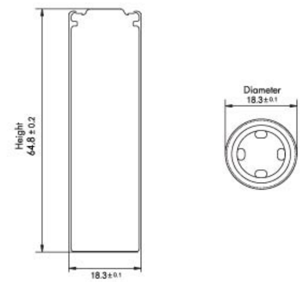
Quel est mon Cahier des Charges?

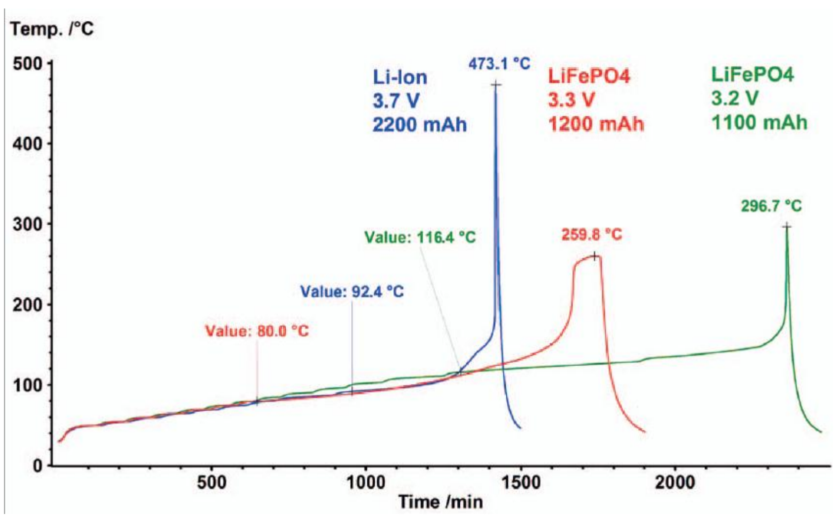
- Autonomie
- Température de fonctionnement
- Durée de vie
- Encombrement / facteur de forme
- Coût
- …

Specific energy at cell scale

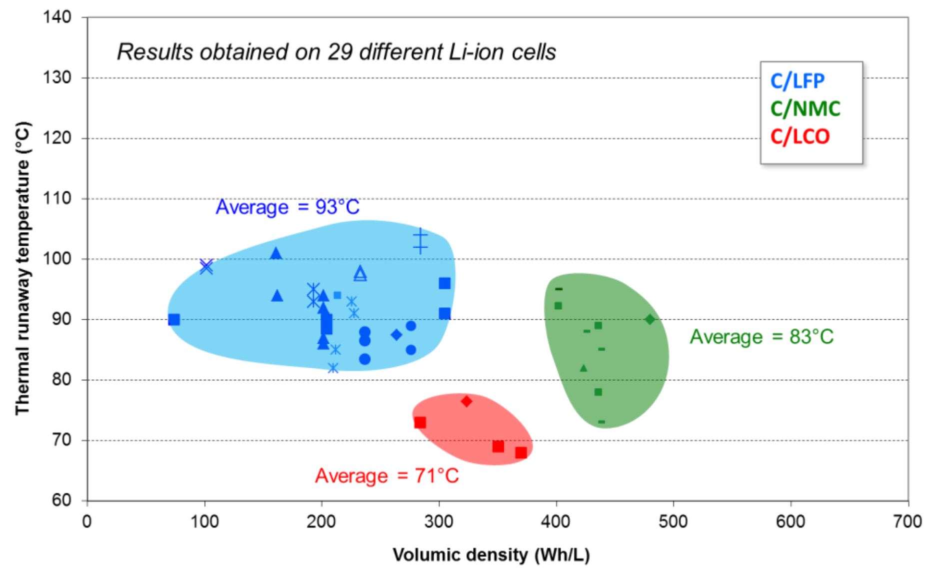


Cellules de même format – Mais des comportements différents!





Thermal Signature of a Thermal Runaway Test in ARC with three 18650 cells
(*source: Netzch*)



Results Obtained from 3 Li-ion Chemistries
(*source: CEA-INES*)

Gamme de température de fonctionnement
= *f* (chimie utilisée)

Cellules Li-Ion de même format – Mais des comportements différents!

SERMA TECHNOLOGIES

Nom abrégé	Matériau d'anode	Matériau de cathode	Electrolyte	Conteneur	Commentaires
Li-ion	carbone (graphite) ou autre dans le futur	composé d'insertion lamellaire	organic liquid mix + salt	cylindrique ou prismatique	meilleure durée de vie meilleure énergie
		composé d'insertion (spinelle Mn)			durée de vie limitée
		composé d'insertion (olivine phosphate)			cell balancing difficiles en grosses batteries
Li-ion gel		les mêmes que les autres Li-ion	solvants organiques liquides + gel polymère +sel	souvent pouch cells ("coffee bag")	risque de gonflement
Li polymère	metallic Li	composé d'insertion basse tension	polymère sec + sel (opération à 80°C)	prismatique	risque de dendrites de lithium (courts-circuits)

Différents matériaux d'électrode positive

	$LiCoO_2$	NCA	NMC	$LiMn_2O_4$	$LiFePO_4$
Tension nomin:	3,6 V	3,7 V	3,7 V	3,8 V	3,2 V
Energy	Good	Good	Good	Poor	Average
Power	Good	Good	Average/Good	Good	Good
Low T discharge	Good	Good	Good	Good	Average
Calendar life	Average	Very Good	Good	Poor	Poor above 40°C
Cycle life	Average	Good	Good	Average	Good
Safety	To ensure at battery level	To ensure at battery level	To ensure at battery level	Average	Good
Cost	High	High	High	Average	Average
Maturity	High	High	Medium	High	Average

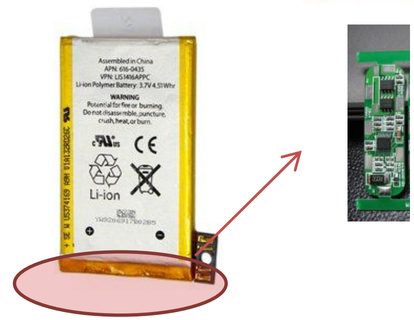
Performances (Energy, Power, Low T discharge)

Durée de vie (Calendar life, Cycle life)

Source: SAFT

Comment minimiser les risques?
Plan de Qualification

SERMA TECHNOLOGIES



Batterie wo. Control Electronics (PCM)

TESTS FONCTIONNELS

Contrôle d'entrée
Total : **65** cells

Performances
(C-Rate, Temp.)
9 cell

Stockage température
20/25, 40/45, 60°C
3 cell / temp., soit 9

ENDURANCE

Selon data sheet
À 40 ou 45°C

- 300 cycles, 3 cells
- 150 cycles, 7 cells

Selon CdC CLIENT
À 40 ou 45°C

- 150 cycles, 8 cells
- 300 cycles, 3 cells

SAFETY

Tests abusifs sur cellules neuves
5 cell / test, soit 35

Tests abusifs sur cellules cyclées
3 cell / test, soit 15

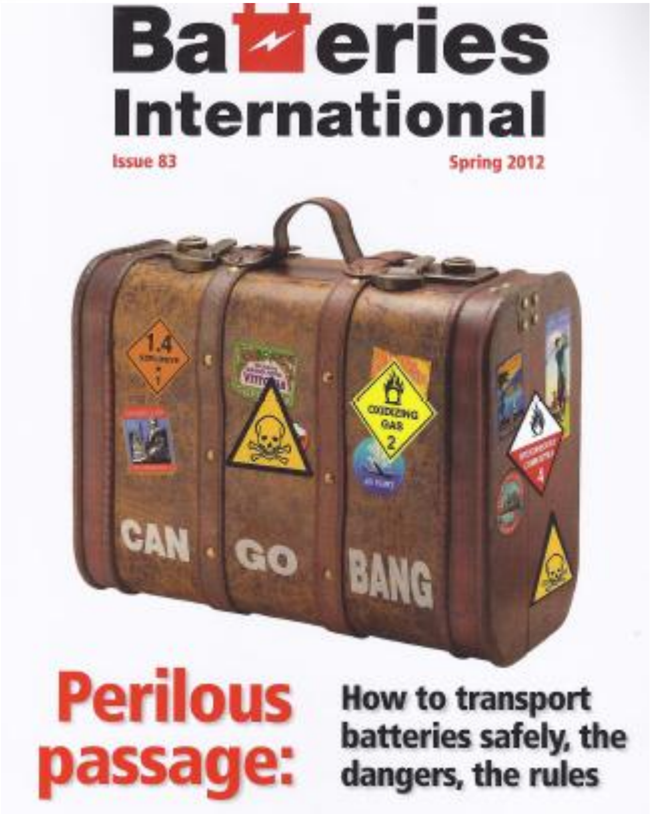
Analyse de Construction
/ Analyse de Risques

Control Electronics (PCM)

Tests fonctionnels électriques
- Overdischarge Vmin,
- Overcharge Vmax,
- Over current Imax
- Response time / delays
- Temperature cut-off
- …

Analyse de Construction
/ Analyse de Risques

Normes et Certifications



Batteries Alcalines (p.ex. NiMH, NiCd)
IEC 61960
- Essais électriques

Batteries Plomb
EN 50342+A1 (anc. IEC 60095-1)
- Essais électriques
- Essais mécaniques (vibration, étanchéité)

Batteries Lithium
Classe 9 – Marchandises dangereuses
(UL 1642, UL 2054, UN 38.3, IEC 62133, IEC 62281, IEEE 1725, …)
(Normes IATA, DOT, ICAO, IMDG pour le transport)
- Essais électriques
- Essais mécaniques et thermiques
- Règles de conditionnement

Piles Lithium
IEC 60086-4, IEC 62281
- Essais électriques
- Essais mécaniques et thermiques

Normes et Certifications – Tests abusifs

Table 3. UN transportation tests

UN 38.3.4.1	Test T.1 – Altitude Simulation	Cells and batteries stored at a pressure of 11.6 kPa or less for at least six hours at ambient temperature
UN 38.3.4.2	Test T.2 – Thermal Cycling	Rapid thermal cycling between high- (75°C / 167°F) and low- (-40°C / -40°F) storage temperatures
UN 38.3.4.3	Test T.3 – Vibration	Vibration exposure: sinusoidal waveform with a logarithmic sweep from 7 Hz (1 g peak acceleration) to 200 Hz (8 g peak acceleration) and back to 7 Hz; 12 cycles, 3 perpendicular mounting positions
UN 38.3.4.4	Test T.4 – Shock	Shock exposure: half-sine shock, 150 g peak acceleration, 6 msec pulse duration, three shocks in positive and negative directions for each of three perpendicular mounting positions (total of 18 shocks)
UN 38.3.4.5	Test T.5 – External Short Circuit	Short circuit of less than 0.1 ohm at 55°C (131°F), 1 hour duration
UN 38.3.4.6	Test T.6 – Impact	15.8 mm diameter bar placed across cell center, and a 9.1 kg mass is dropped onto the bar from 61 cm height
UN 38.3.4.7	Test T.7 – Overcharge	Over current (2X manufacturer's recommended maximum) and over voltage (for 18 V packs or less, charge to the lesser of 22 V or 2X recommended charge voltage. For > 18 V packs, charge to 1.2X recommended charge voltage) charge (applied to battery packs only)
UN 38.3.4.8	Test T.8 – Forced Discharge	Over-discharge cells a single time

Tests abusifs UN 38.3

Les tests sont de nature:

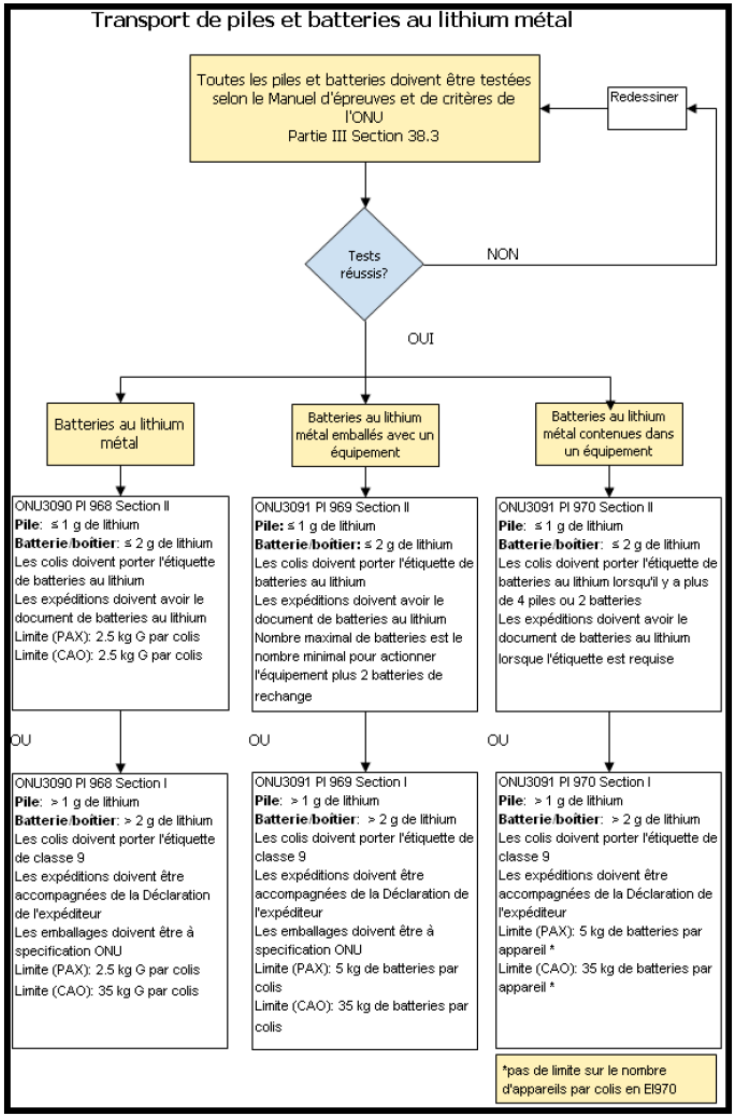
- Electriques
- Mécaniques
- Environnementaux

Degassing and Fire with 18650 Cells after Abuse Tests
(source: es116_cunningham_2012)

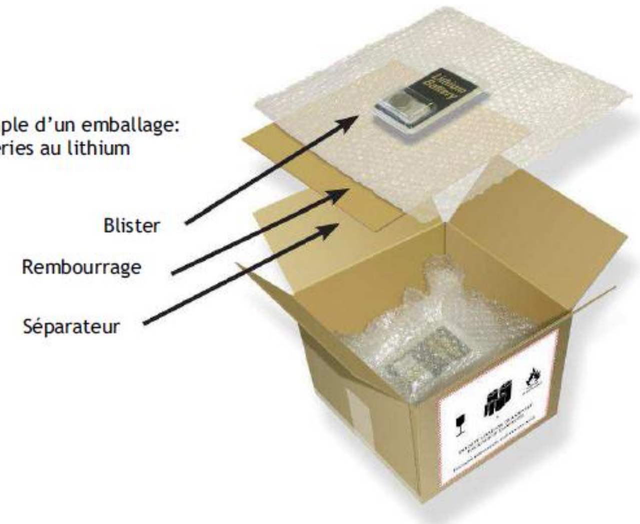
Normes IATA (transport aérien) des batteries / piles Lithium

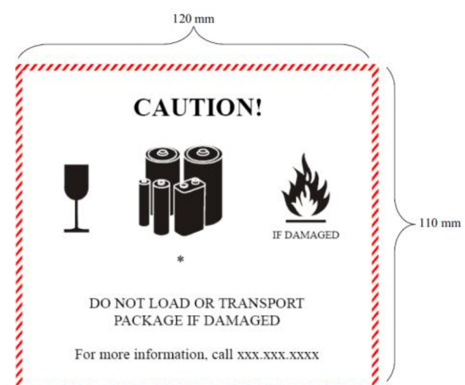
SERMA TECHNOLOGIES

IATA



Exemple d'un emballage:
Batteries au lithium





* Emplacement de "Lithium ion battery" et/ou "Lithium metal battery", selon le cas

En résumé

- Sécurité des produits alimentés par batteries à considérer, lorsque:
  - En opération
  - En stockage
  - Durant le transport

- Sécurité des batteries (notamment lithium) assurée à différents niveaux:
  - Design / intrinsèque à la cellule
  - Electronique de contrôle (PCM/PCB) et gestion (BMS)
  - Certifications

- Innovation constante *(nouvelles chimies, Cell. 5.0 V)* car besoins en croissance
  - Harmonisation de la réglementation (utilisation, transport …)
  - Nouveaux challenges/contraintes – Procédés de fabrication cellules et électronique

Safety first! – On y travaille…

Merci pour votre attention

Serma Technologies
Savoie Technolac, 50 Avenue Lac Léman, BP 332, F-73370 Le Bourget du Lac, France
T: +33 (0)4 79 79 20 21, M: +33 (0)6 46 60 45 18, e-mail: p.gouerec@serma.com
http://www.serma-technologies.com/