



## LES RISQUES LIÉS AUX BATTERIES LI-ION

Journée technique INRS Risques Electriques 2019 | Nicolas Guillet

## Introduction

- Présentation
- Comment fonctionnent les batteries Li-ion ?

## Risques liés aux batteries Li-ion ?

- Risques électriques directs / éléments de protection
- Risques induits par des problèmes électriques

## Risque principal : l'emballement thermique

- Causes et conséquence de l'emballement thermique
- Améliorer la sécurité ?
- Comment réagir face à un incident sur une batterie Li-ion ?



- **Dr Nicolas Guillet (CEA/Liten)**

- *Chimie / électrochimie (Univ. Grenoble, INP Grenoble)*
- *Doctorat de sciences en Génie des Procédés (Ecole Nat. Sup. des Mines de St Etienne, France) 1998 – 2001*
- *Post-Doctorat (INRS – Varennes, Canada) 2002 – 2004*
- *Depuis 2005: Ingénieur de recherche au CEA/Liten; Expert sénior « stockage électrochimique »*

- **Connaissances et expertise**

- *Expertise en électrochimie / électrocatalyse*
- *Piles à combustible (synthèse catalyseurs, fabrication d'électrodes, tests et caractérisation)*
- *Systèmes de génération d'hydrogène (PEM / Alcaline)*
- *Systèmes électrochimiques pour la conversion de l'énergie (batteries)*

↪ **Je ne suis pas du tout un spécialiste du risque électrique**

↪ **Nos ingénieurs sécurités maîtrisent très bien ces risques (ce sont eux nos référents).**

Contact : [nicolas.guillet@cea.fr](mailto:nicolas.guillet@cea.fr)



CEA-Liten, centre de Grenoble, site « INES » au Bourget du Lac (Savoie)

## Systemes autonomes



## Gestion des reseau electriques



## Mobilite electrique



## Le LSEC, c'est :



**21 personnes**  
Electrochimie,  
Modelisation, ingenierie  
electrique...



**Plateforme d'essais**  
350 voies de cyclage,  
un laboratoire de tests  
de securite.



↳ **Selection des systemes de stockage les plus appropries a l'application visee**

↳ **Developpement de strategies de gestion des batteries optimisees**

# COMMENT FONCTIONNENT LES BATTERIES LI-ION ?

## How Lithium-ion Batteries Work

- Utilisation de composés d'insertions

- Structures cristallines dans lesquelles de petits ions ( $\text{Li}^+$ ) peuvent s'insérer.
- Transport des ions d'une électrode à l'autre (réversible)

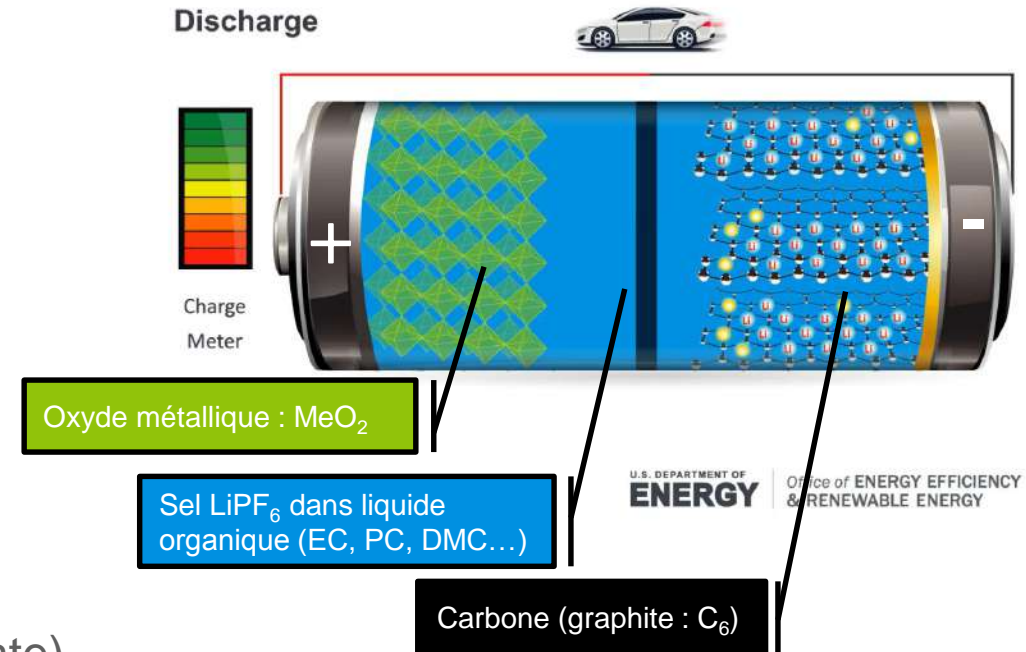


- Electrolyte organique

- Sel de lithium ( $\text{LiPF}_6$ ) dans un solvant organique (carbonate)
  - Electrolyte aqueux : 1,3 – 2 V/cellule maximum
  - Electrolyte organique : 4,2 V/cellule

↪ Energie X 3

↪ Tension de cellule élevée → forte densité d'énergie



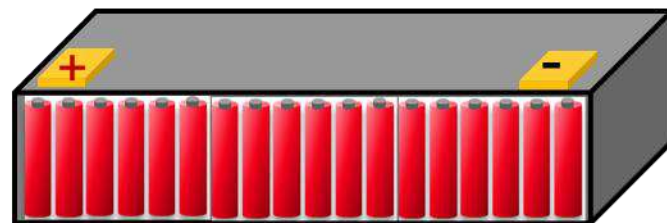
	Li-ion	Pb-acide	Ni-MH
Wh/kg	200 – 270	20 – 50	40 - 80
Wh/L	400 - 600	60 – 100	80 – 150

# MAIS COMMENT EST CONSTITUÉE UNE BATTERIE LI-ION ?

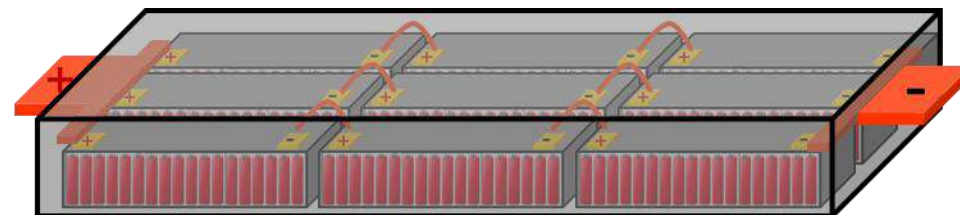
- Assemblage de cellules unitaires :



**Cellule unitaire :**  
3,8 V – 3,15 Ah – 12 Wh – 45 g



**Module de cellules: 6S14P (84 cellules)**  
22,8 V – 44 Ah – 1 kWh ~ 5 kg



**Pack de modules : 3S3P (756 cellules)**  
68,4 V – 132 Ah – 9 kWh ~ 75 kg

- En pratique :



**Téléphone**  
3,8 V, 3200 mAh, 54 g



**Vélo électrique**  
36 V, 13,9 Ah, 2,7 kg



**Zoé** 400 V, 41 kWh, 12 modules, 192 cellules, 290 kg



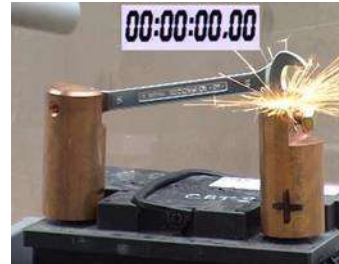
<http://kokam.com/container-2/>

**Container de stockage**  
640 -1100 V, 5,47 MWh dans container 40''

- Risques électriques directs

- Court circuit**

- Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) > 100 A sur 1 seule cellule (à multiplier par le nombre de branches en parallèle)
        - Arc électrique
        - Température élevée
        - Projection de matière en fusion
- Brûlures, incendie

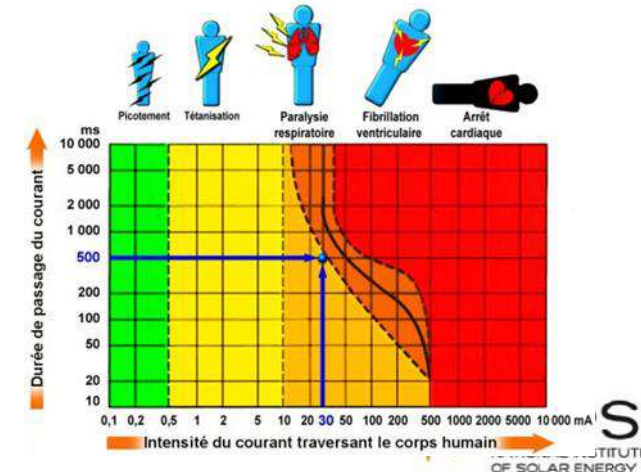


<https://www.youtube.com/watch?v=LwfPaUd274E> (Technocentre Renault, court circuit sur batterie de démarrage automobile, Pb-acide)

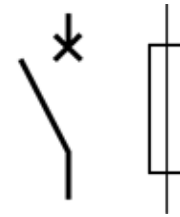
- Electrisation (si  $U > 60 V_{DC}$ )**



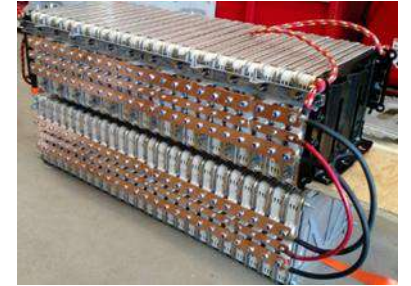
- tension nominale entre 400 et 500  $V_{DC}$  sur les batteries de véhicules électriques. Jusqu'à 1100  $V_{DC}$  sur les systèmes de stockage de haute puissance.
    - Seuil d'électrisation possible dès la TBT (60 V,  $I > 10$  mA !!)



- Risques électriques directs : éléments de protection
  - **Protection contre les surintensités et l'incendie:**
    - Disjoncteur / fusible (HPC ?) sur le circuit électrique
    - Section appropriée des conducteurs (barre omnibus, câblage)
    - Prévoir d'éventuels effort électrodynamiques sur les conducteurs
      - Fixation des conducteurs (vibration, effort électrodynamique)
      - Isolement électrique + protection mécanique



Disjoncteurs et fusibles à placer judicieusement.



Conducteurs (section câblage et barres omnibus) à dimensionner avec soin.



Chaînes porte-câbles.



Protection mécanique (vibrations etc...).



Fusibles et disjoncteurs protègent le câblage...

Ils **ne protègent pas** l'humain !!



- Risques électriques directs : éléments de protection

- **Protection contre les risques d'électrisation :**

- Schéma de liaison à la terre (SLT) pour éviter les contacts indirects

- **Neutre raccordé (TN) :** ex batterie 12 V des voitures

↳ Premier défaut d'isolement = court-circuit

- **Neutre isolé (IT) :** contrôleur permanent d'isolement (CPI)

↳ Premier défaut d'isolement = faible courant de fuite, remontée d'information

↳ second défaut d'isolement = court-circuit

↳ **Mise à la terre obligatoire pour les batteries  $U_{nominal} > 120 V_{DC}$**

- Contacteurs unipolaires / omnipolaires ?

- Protection du pôle + seulement ou des deux pôles ?
- Comment bien gérer la mise à la terre ?

- Pour  $U < 60 V_{DC}$  : **TBTS<sub>écurité</sub>** (aucune polarité reliée à la masse) OU **TBTP<sub>protection</sub>** (une polarité reliée à la masse) ?

↳ **Architecture électrique complexe qui nécessite de vraies compétences !**

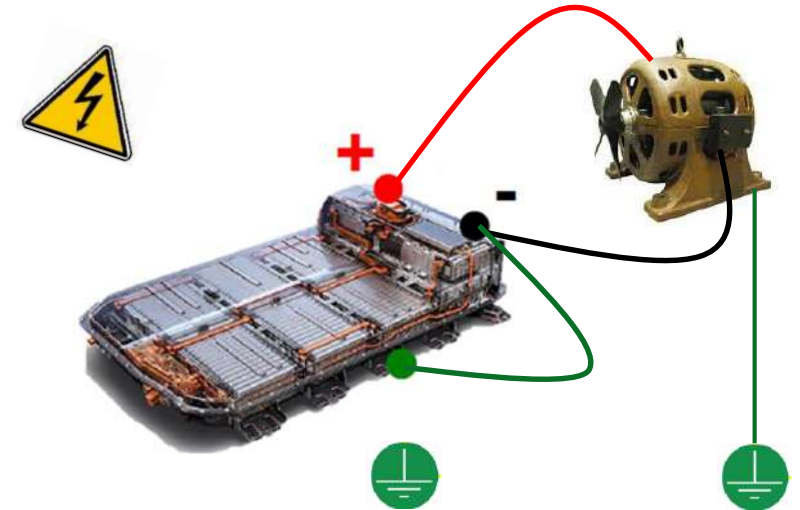
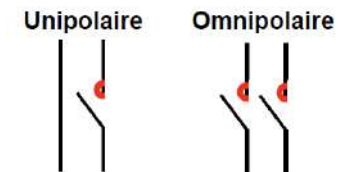


Schéma neutre raccordé



- Risques induits par des problèmes électriques

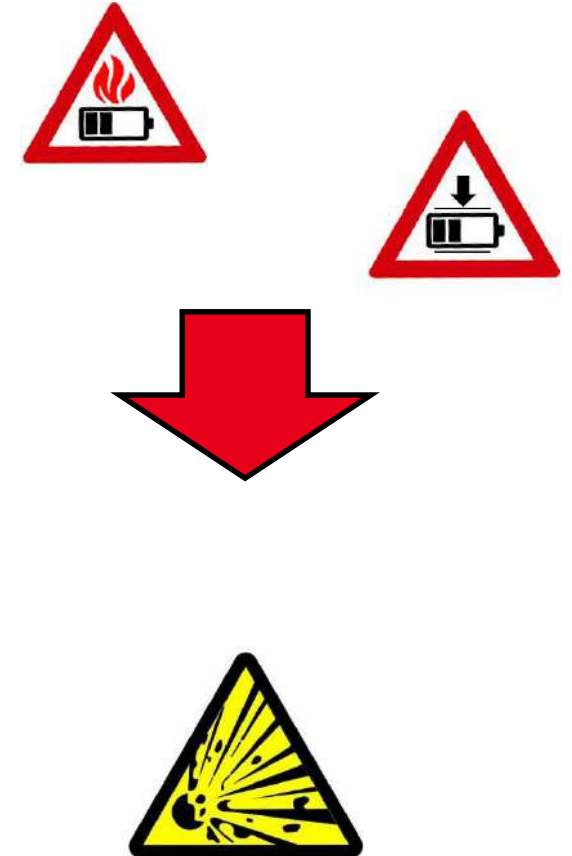
- **Court circuit**

- **Risque d'échauffement** des cellules de batteries
  - Direct par effet Joule par passage du courant à travers les cellules ( $RI^2$ )
  - Indirect par transmission de chaleur (conduction, convection, rayonnement)
- **Risque de déformation/choc mécanique**
  - Forces électrodynamiques (câblage, barres omnibus etc...)

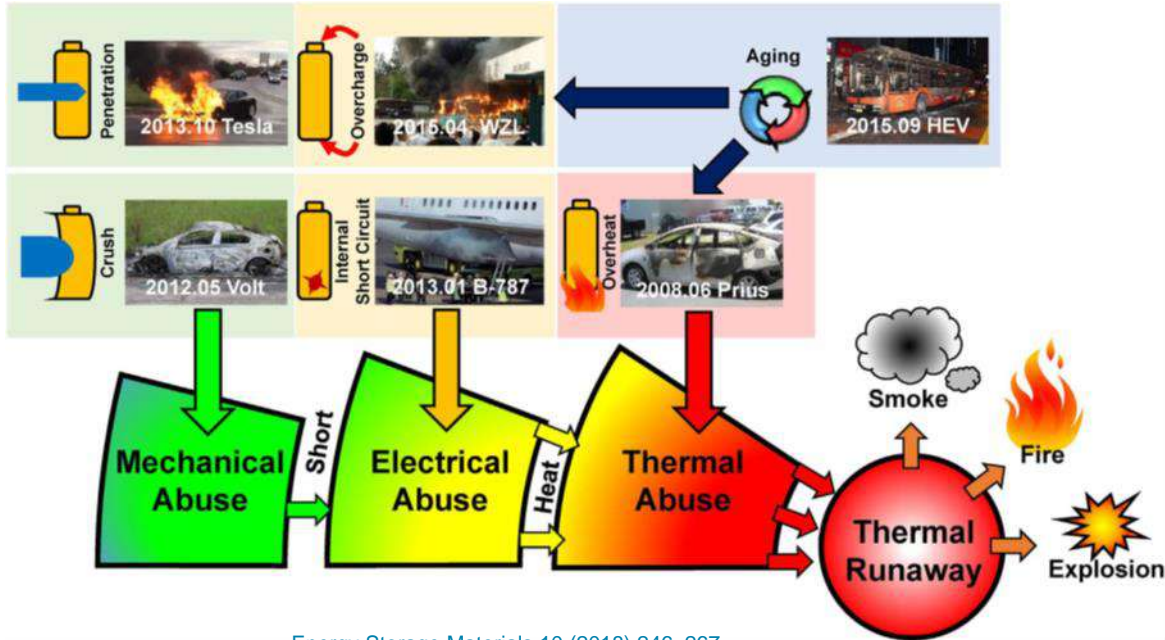
- **Autres conséquences possible de problèmes électriques**

- **Surcharge / surdécharge** accidentelle au sein du/des modules
- **Court-circuit interne dans les cellules** (arc électrique ou déformation)
- ...

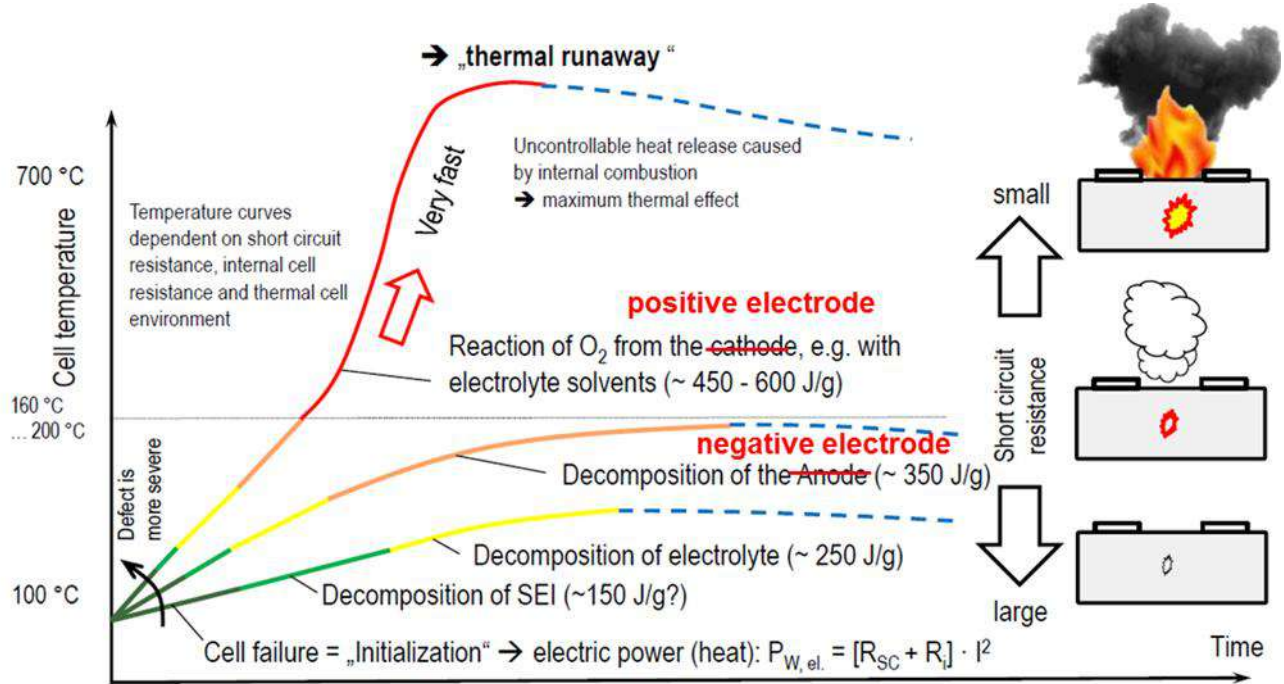
↳ **Déstabilisation des matériaux constituant la batterie, pouvant conduire à un emballement thermique !**



## • Que se passe-t-il dans la cellule ?



Energy Storage Materials 10 (2018) 246–267



S. SCHARNER, QUANTITATIVE SAFETY CHARACTERIZATION OF LI-ION CELLS., in: JRC Explor. Res. Work., 2018.  
<https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/quantitative-safety-characterization-of-li-ion-cells.pdf>.

➤ Succession de décompositions plus ou moins énergétiques des différents éléments de la batterie :

- 1 – SEI
- 2 – électrolyte
- 3 – électrode négative
- 4 – électrode positive (dégagement O<sub>2</sub>)

➤ La réaction peut devenir incontrôlable ! (pas toujours)

- Conséquences d'un problème électrique (surcharge suivie d'un emballement thermique)

Trotinette électrique en charge (29/07/2018)

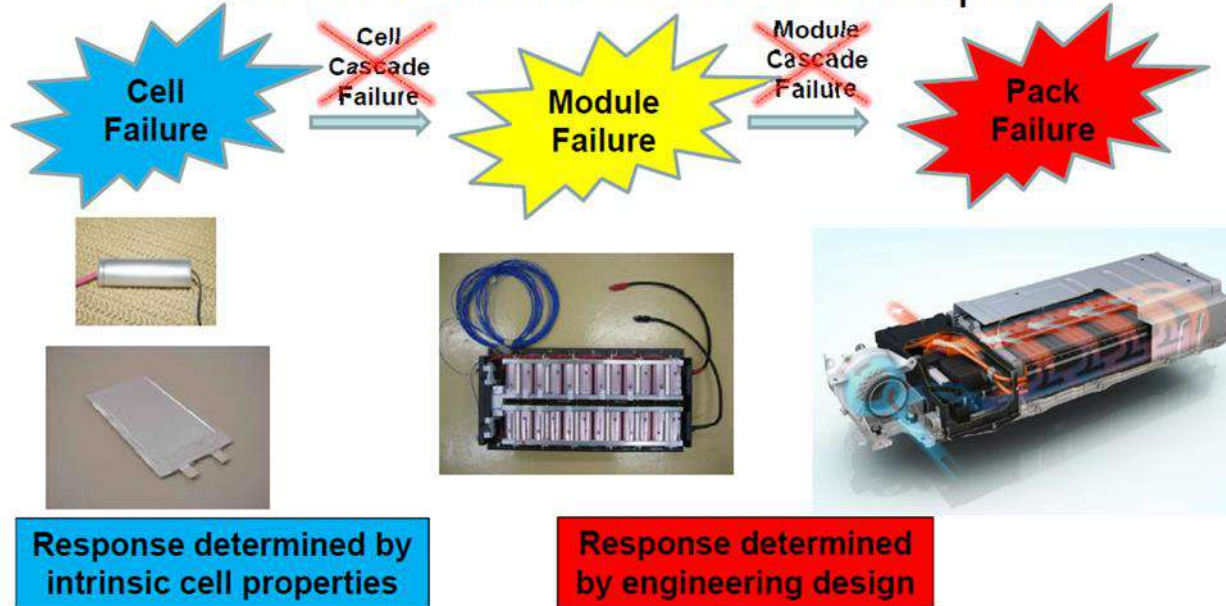


<https://www.youtube.com/watch?v=wUi6OlhKKmY>

- 1- Surcharge → échauffement
- 2- Emballement thermique
- 3- Dégagement fumées toxiques
- 4- Explosion

## Failure Propagation

Will single cell failure lead to damage and destruction of the module/pack?



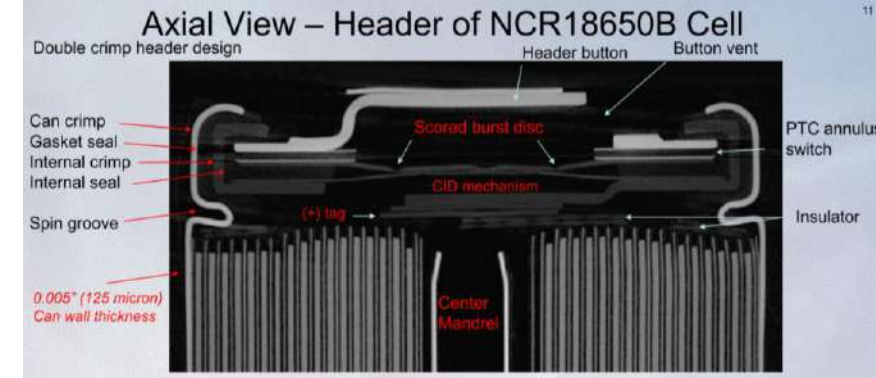
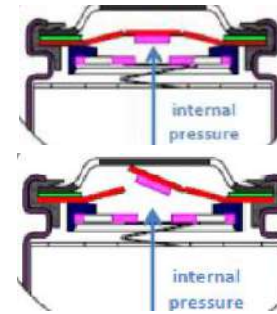
D.H. Doughty, The Landscape of Thermal Runaway Propagation Testing, in: JRC Explor. Res. Work., Petten, Netherlands, 2018: pp. 1–30.  
<https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/landscape-thermal-runaway-propagation-testing.pdf>

👉 Éviter la propagation des défaut en cascade

## • Éléments de sécurité intrinsèques aux éléments de batteries ?

Response determined by  
intrinsic cell properties

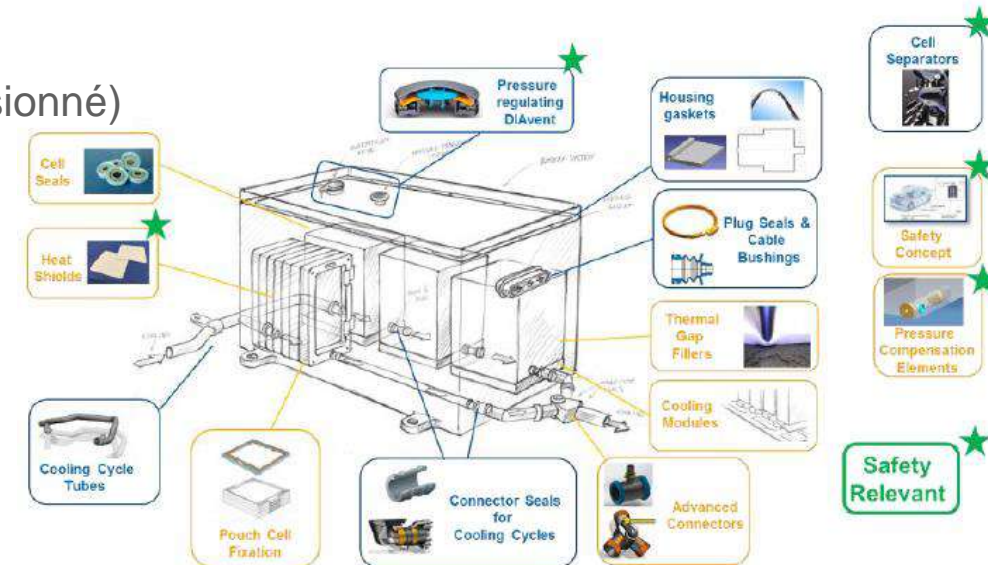
- Surpression
  - **CID** (*current Interrupt Device*) – ouverture à 7 bars
  - **Event de sécurité** - ouverture à 20 bars
- Température élevée
  - **PTC** (*Positive Temperature Coefficient*) fusible réarmable



## • Éléments de sécurité liés à la conception des assemblages ?

Response determined  
by engineering design

- **Conception** optimisée (éviter la propagation de l'emballement)
- **Gestion de la température** (système de refroidissement surdimensionné)
- **BMS** (Battery Management System)



# COMMENT RÉAGIR FACE À UN INCIDENT SUR UNE BATTERIE LI-ION

- **Signes évidents de détérioration d'une cellule ou d'un module**

- **Gonflement** évident d'un élément
- **Odeur suspecte** (fuite d'électrolyte, évaporation des solvants inflammables)

↳ **Arrêt immédiat de toute tentative de charge de la batterie**

↳ **Placer l'élément en sécurité avant élimination / intervention de personnes spécialisées**



Batterie de téléphone gonflée

- **Fumées, flammes, projections de matière...**

- **Ne pas intervenir** sur une batterie en feu, déclencher **l'évacuation des locaux**
- Même après l'extinction, l'emballement thermique peut reprendre quelques minutes ou quelques heures plus tard (intégrité de l'architecture électrique perdue !). (<https://jalopnik.com/watch-volunteer-firefighters-in-austria-extinguish-a-fi-1819665352>).



↳ **Seule la neutralisation effectuée sous contrôle permet de supprimer le risque.**

- Les agents extincteurs utilisés par les pompiers permettent de **gagner du temps** et de limiter les dégâts mais **ne permettent pas de supprimer les risques** (électriques en particulier).



Incendie container batterie  
Drogenbos (B)

<http://www.ufdrogenbos.be/incidents-industriels-en-serie/>  
<https://www.youtube.com/watch?v=IEIPzj37dw>

↳ **Une batterie qui présente (ou qui a présenté) un emballement thermique doit être évacuée et placée dans un périmètre de sécurité sous surveillance constante** (voir les vidéos bonus !).

- Les batteries Li-ion présentent une très forte densité d'énergie
  - ↳ Les systèmes de stockage peuvent présenter des risques électriques directs
  - ↳ Les batteries Li-ion présentent en plus des risques d'emballage thermique
- Plusieurs éléments de sécurité doivent impérativement être installés
- Une batterie Li-ion endommagée présente des risques importants (chimiques et électriques)
- Faire très attention à la qualité des batteries utilisées !!

SHORT-CIRCUIT AND  
OVER-CURRENT PROTECTIVE.



Batterie Li-ion rechargeable de 18650 3.7V  
12000mAh pour la lampe-torche de torche de  
LED

de Dailyinshop

Soyez la première personne à écrire un commentaire sur cet article

Prix : EUR 19,12 LIVRAISON GRATUITE.

Tous les prix incluent la TVA.

Message promotionnel EUR 3,00 offerts dès EUR 1... 1 promotion

1 neuf à partir de EUR 19,12

- Batterie rechargeable avec circuit de protection re / discharge.
- Faible consommation d'énergie, court-circuit et protection contre les surintensités.
- Sûr et respectueux de l'environnement.
- Parfait pour la lampe de poche ou les gadgets électroniques.
- Conserver dans un endroit sec et frais.

Nos prix incluent l'éco-participation sur tous les produits concernés. Vous voulez recycler votre appareil électrique ou électronique gratuitement ? En savoir plus ici.

GP BATTERIES

ci-contre: batteries vendues pour stocker 3 fois la capacité maximale théorique du Li-ion !!

*“Just as soon as a man gets working on the secondary battery it brings out his latent capacity for lying.”*

*Thomas Edison, The Electrician [London], Feb. 17, 1883*

Aurez-vous confiance dans les éléments de sécurité qu'elles contiennent ?

[https://www.amazon.fr/Batterie-Li-ion-rechargeable-12000mAh-lampe-torche/dp/B07DN5SSZN/ref=sr\\_1\\_12?s=electronics&ie=UTF8&qid=1547243499&sr=1-12&keywords=18650+12000mah](https://www.amazon.fr/Batterie-Li-ion-rechargeable-12000mAh-lampe-torche/dp/B07DN5SSZN/ref=sr_1_12?s=electronics&ie=UTF8&qid=1547243499&sr=1-12&keywords=18650+12000mah)



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

**THANKS FOR YOUR ATTENTION**

---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Alternative Energies and Atomic Energy Commission  
17 av des martyrs 38000 GRENOBLE France  
<http://liten.cea.fr>

Établissement public à caractère industriel et commercial  
Public establishment with commercial and industrial character  
RCS Paris B 775 685 019

INES Site  
Institut National de l'Energie Solaire  
National Solar Energy Institute  
50 avenue du lac Léman  
73375 Le Bourget-du-Lac France  
+33 4 79 79 20 00

- **Conséquences d'un emballage thermique ?**

Robot « Robosimian » de la Nasa qui prend feu spontanément (batterie de 2 kWh, 90 V)

The research was carried out at the  
Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology,  
under a contract with the National Aeronautics and Space Administration.

Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology  
© 2016 California Institute of Technology. Government sponsorship acknowledged.

<https://www.rulez-t.info/video/39532-vzryv-robota-robosimian-v-laboratorii-reaktivnogo-dvizheniya-nasa.html>

→ **Fumées toxiques**

→ **Ré-inflammation**

- **Conséquences d'un emballement thermique ?**

Fabricant de portail électriques en Allemagne : attention aux règles de stockage des batteries !



<https://www.youtube.com/watch?v=vQ1cabt3jXc>

→ Fumées toxiques

→ Explosion soudaine

32 tons of cylindrical Li-ion batteries were reportedly involved

600 kWh of Li-ion batteries (MAQ) in an incidental use area ~ 7 tons

<https://www.iccsafe.org/wp-content/uploads/Energy-Storage-Systems-Fire-Safety-Concepts-in-the-2018-IFC-and-IRC.pdf>