



RTE  
7 Mai 2015

# Architecture optimale des systèmes de stockage d'énergie complexes

Orateurs

*Ali Sari, Christophe Savard, Pascal Venet*



# Thématique interdisciplinaire

## ↪ Objectifs scientifiques de la priorité M3 « Systèmes et Energie Sûrs » en lien avec la thématique

- Améliorer la Sûreté de Fonctionnement
- Assurer la continuité du fonctionnement (composants, systèmes)
- Contraintes fortes sur la démarche de conception sûre et de surveillance

## ↪ Notre potentiel

- Une force du laboratoire = double compétence
  - de la physique à la commande
  - génie électrique / automatique

# Systemes de Stockage d'Énergie Electrique (SSEE)

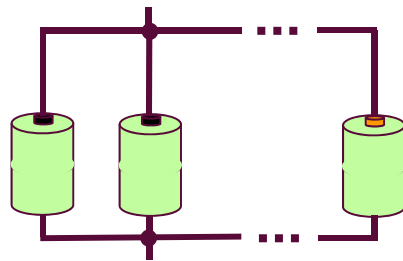
## Assemblage des cellules



### Série



### Parallèle



### Augmenter la tension

#### Tension max. unitaire :

des cellules Li-ion : 3.3 à 4.2V

des cellules NiMH : ~1.2V

des supercondensateur : ~2.8V

#### Tension du pack >> tension cellule

### Augmenter la capacité

#### Diminuer le courant / cellule

Réduire les pertes ohmiques

Baisser la température

# Exemples concrets d'assemblage de cellules

## ↳ Voiture électrique Tesla Model S (285 kW ou 350 kW)

- 7 104 cellules lithium-ion incluses dans 16 modules en série
- Chaque module = 6 groupes en série de 74 cellules en parallèle



## ↳ Stockage stationnaire des réseaux d'énergie

- Système de stockage de 1 MWh / 500 kW = 16,5 tonnes



# Equilibrage des SSEE

## ↳ **Dispersion des caractéristiques entre chaque cellules dues :**

- aux tolérances sur les paramètres compte tenu du procédé de fabrication
- à la différence de température à laquelle peuvent être soumis des composants d'un même module
- à la non similitude du vieillissement entre les composants d'un même module



Nécessité d'un système  
d'équilibrage

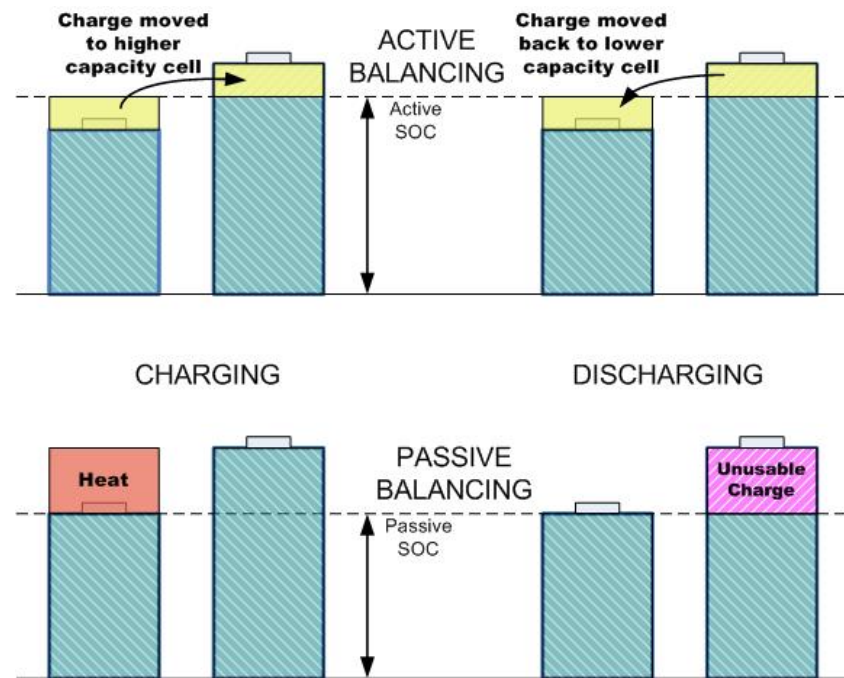
↳ *L'utilisation de supercondensateurs ou de cellules de batterie en dehors de leurs caractéristiques nominales peut entraîner l'inflammation ou l'explosion des composants*



# Equilibrage des SSEE

## ↳ Objectif du dispositif d'équilibrage

- Maintenir chaque cellule au même niveau de charge dans un assemblage afin d'empêcher qu'une ou plusieurs cellules se trouvent en déséquilibre de charge.



Source : Jack Marcinkowski



# Equilibrage des SSEE

## ↳ Equilibrage dissipatif

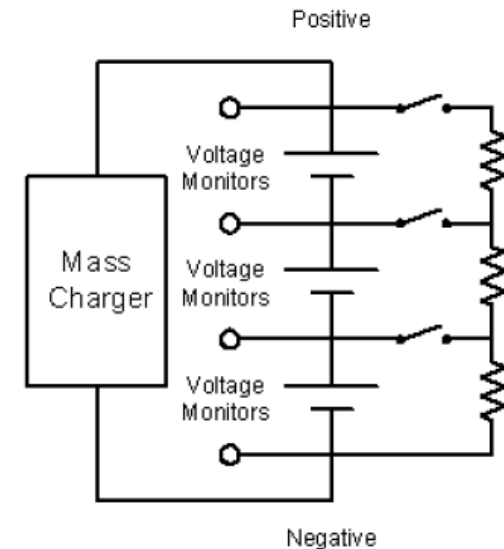
- Dissipe l'énergie de la cellule la plus chargée dans un élément résistif

## ↳ Avantages

- Simplicité de mise en place
- Equilibrage rapide (selon le choix des résistances)
- Possibilité d'équilibrer plusieurs cellules simultanément
- Coût réduit

## ↳ Inconvénients

- Méthode dissipative (perte d'énergie)
- Evacuation de la chaleur

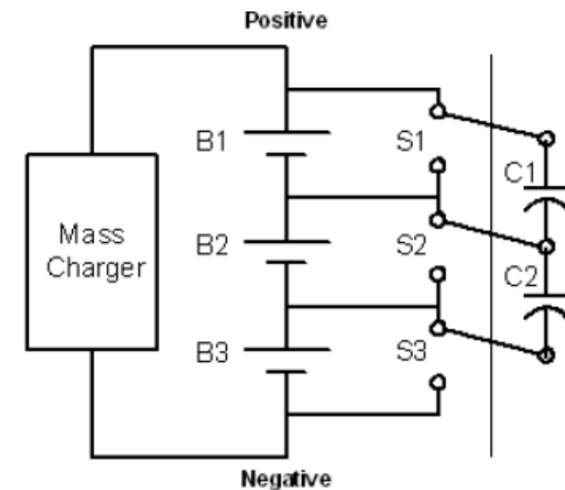
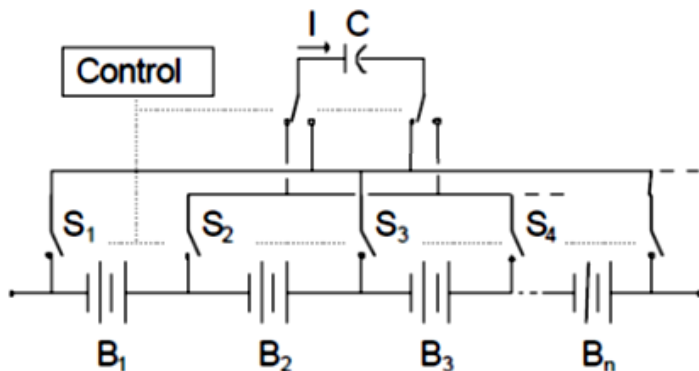


## ↳ Equilibrage redistributif par stockage capacitif

- Transfert l'énergie de la cellule la plus chargée vers la cellule la moins chargée.

## ↳ Avantages

- Bon rendement
- Pas de surcoût majeur



## ↳ Inconvénients

- Nombre de condensateurs ou complexité du contrôle
- Courant de commutation pouvant être élevé



## ↳ Equilibrage redistributif par stockage inductif

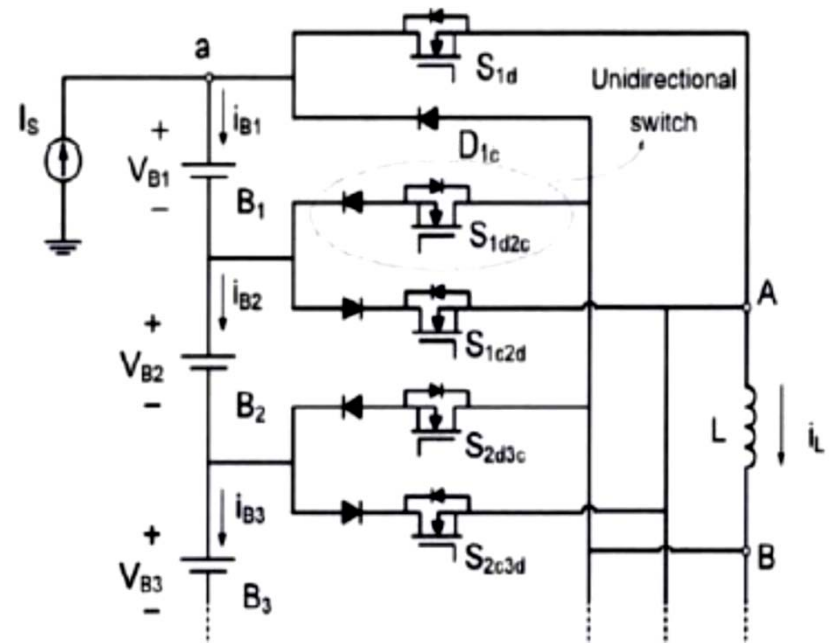
- Transfert l'énergie de la cellule la plus chargée vers la cellule la moins chargée.

### ↳ Avantages

- Rapidité
- Peu de pertes par effet Joule

### ↳ Inconvénients

- Intelligence de contrôle
- Surcoût



## ↪ Equilibrage par une source extérieure

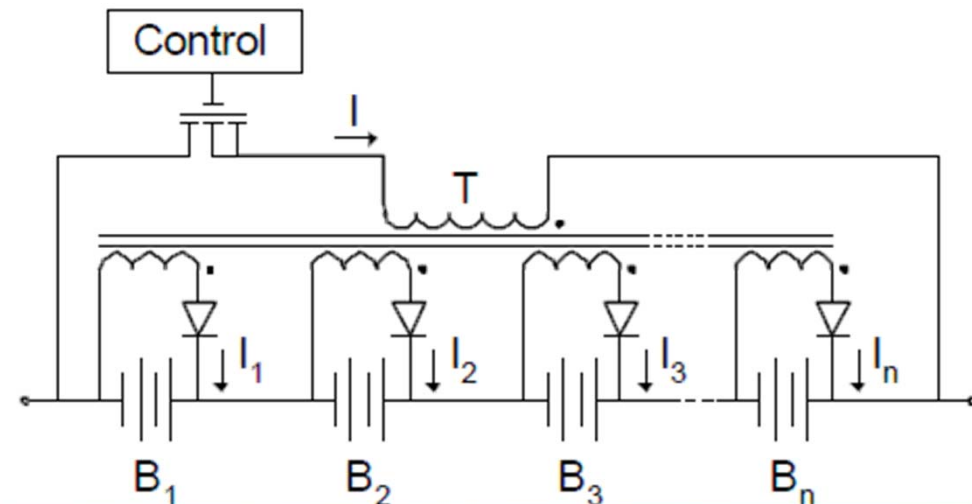
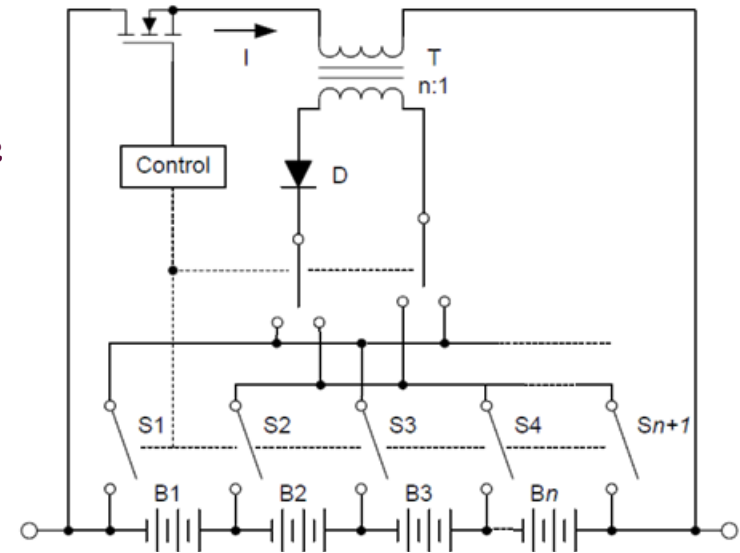
- Transfert d'énergie entre le pack et une cellule

## ↪ Avantages

- Rapidité
- Bon rendement
- Auto-équilibrage si noyau commun

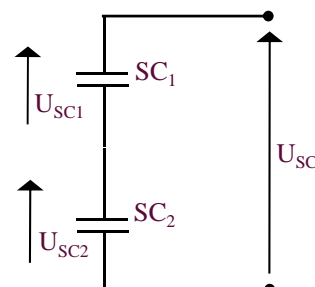
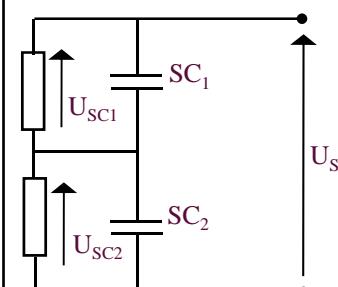
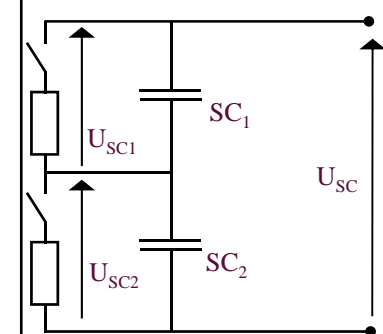
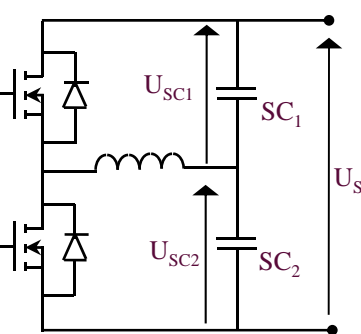
## ↪ Inconvénients

- Intelligence de contrôle
- Surcoût important
- Encombrement



# Equilibrage des SSEE

## Exemple pour l'équilibrage de supercondensateurs

Type de Système d'équilibrage	Sans système d'équilibrage	Circuit dissipatif avec $R=50 \Omega$	Circuit dissipatif actif $R=1 \Omega$	Convertisseur Buck-Boost
Capacité de $SC1=C$ Capacité de $SC2=0,8.C$				
Durée de vie du module	1,4 années	3,5 années	6,0 années	6,0 années
$\eta$ module %	100	77	91	93



# Systeme de gestion des accumulateurs



pour une batterie (Li ion)



pour des supercondensateurs

Les grandeurs surveillées sont :

- l'état de charge (donc l'autonomie ou l'usage possible)
- la tension (qui doit respecter  $U_{limite}$ )
- le courant (qui doit rester inférieur à  $I_{max}$ )
- la température (qui doit rester inférieure à  $T_{max}$ )

Surveillance active =  
Mise en place d'un BMS (Battery Management System)



# SSEE = système complexe

## ↳ SSEE = système complexe

- Un grand nombre de cellules interconnectées pour répondre au cahier des charges (énergie, puissance, ...)
- Présence d'interrupteurs pour l'équilibrage des cellules
- Reconfigurabilité possible
- Redondance possible

*Exploitation de la redondance pour utilisation d'un équilibrage redistributif*

## ↳ Fonctions nécessaires

- Maîtrise de la disponibilité (état de charge, énergie, puissance)
- Équilibrage
- Gestion de la configuration
- Sous-charge d'élément affaibli
- Isolation d'élément défaillant

# Architecture optimale des systèmes de stockage d'énergie complexes

## ↳ Verrous

- Méthodes et outils pour trouver la meilleure structure (cellules + interrupteurs) en fonction de critères préétablis
  - Détermination d'une structure maximisante
  - Détermination du nombre de degré de liberté
  - Simplification / optimisation de la structure

