

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



www.cea.fr

« Dimensionnement et lois de gestion de différentes technologies de stockage »

Arnaud DELAILLE | CEA

arnaud.delaille@cea.fr

- Introduction
 - L'INES et le CEA, les laboratoires stockages du CEA-LITEN
 - Les objectifs des BMS et des EMS
- Performances instantanées et dimensionnement
 - Benchmark
 - Exemple d'une batterie Redox et d'un élément Li-ion
- Performances en endurance et lois de gestion
 - Benchmark
 - Exemple d'une gestion du SOC / T et de la gamme de SOC
- Conclusions

- **Introduction**
 - L'INES et le CEA, les laboratoires stockages du CEA-LITEN
 - Les objectifs des BMS et des EMS
- Performances instantanées et dimensionnement
 - Benchmark
 - Exemple d'une batterie Redox et d'un élément Li-ion
- Performances en endurance et lois de gestion
 - Benchmark
 - Exemple d'une gestion du SOC / T et de la gamme de SOC
- Conclusions



=



+



+



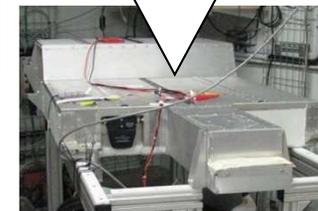
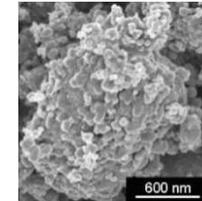
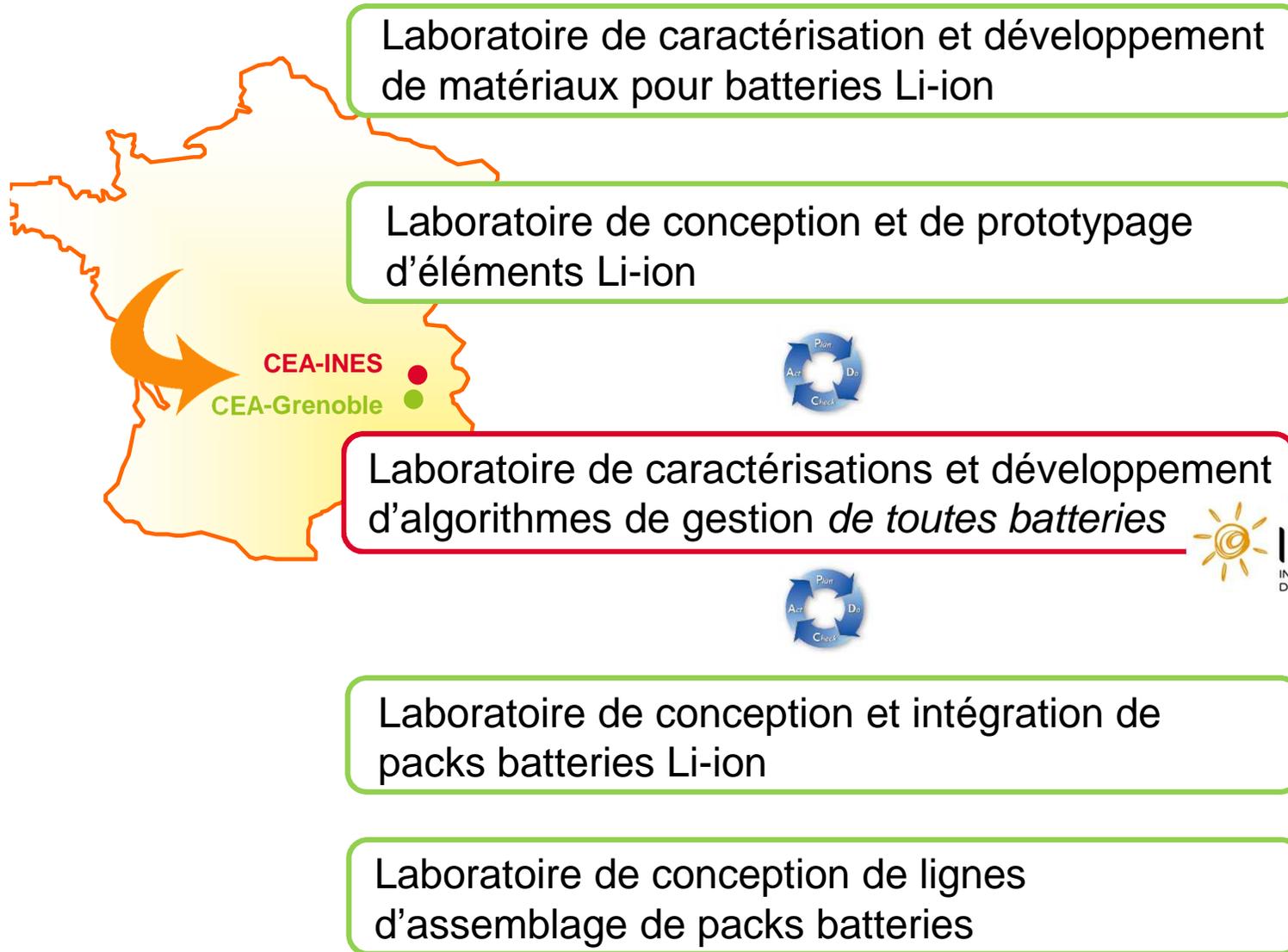
+



- ✓ Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA-LITEN)
- ✓ Centre National de la Recherche Scientifique
- ✓ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- ✓ Université de Savoie



LE CEA-LITEN ET LE STOCKAGE BATTERIES



PARMI LES OBJECTIFS DU LABORATOIRE SUR INES

➤ Quelle technologie / référence de batteries pour telle ou telle application ?

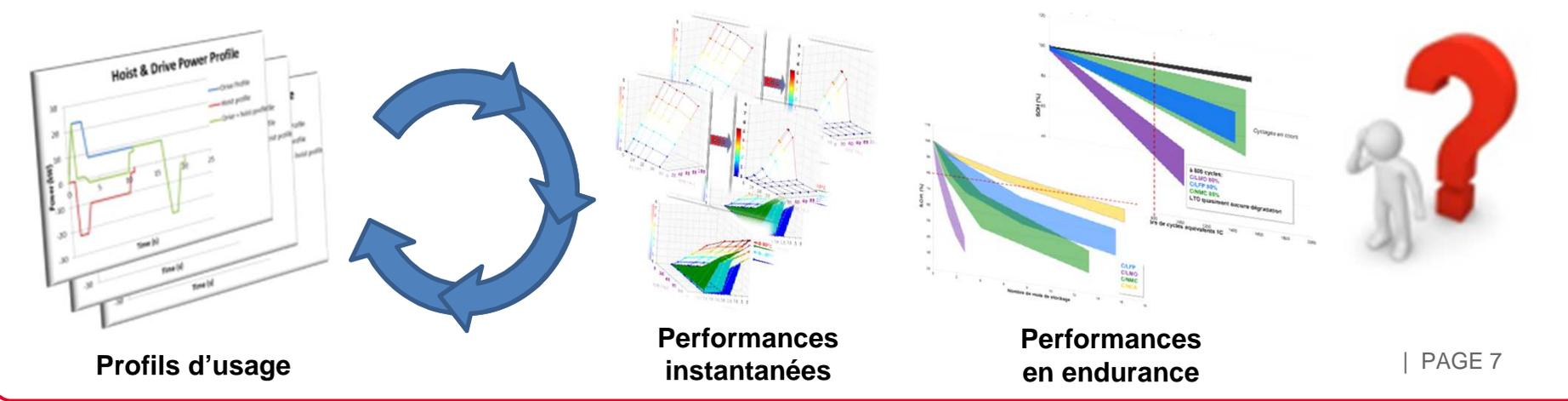


PARMI LES OBJECTIFS DU LABORATOIRE SUR INES

➤ Quelle technologie / référence de batteries pour telle ou telle application ?



➤ Quel dimensionnement / quelle gestion optimale pour la batterie retenue ?



- **Introduction**
 - L'INES et le CEA, les laboratoires stockages du CEA-LITEN
 - Les objectifs des BMS et des EMS
- Performances instantanées et dimensionnement
 - Benchmark
 - Exemple d'une batterie Redox et d'un élément Li-ion
- Performances en endurance et lois de gestion
 - Benchmark
 - Exemple d'une gestion du SOC / T et de la gamme de SOC
- Conclusions

Principaux objectifs d'un BMS

- **Assurer la sécurité** (non négociable !)
- **Garantir les performances initiales**
(autonomies, puissances, rendements, ...)
- **Garantir les performances en endurance**
(cyclage / calendaire, coût d'usage...)
- **Apporter de l'information**
(estimateurs SOX → utilisateurs et/ou EMS...)



Nécessité du BMS au travers de l'actualité récente

■ Assurer la sécurité :

exemple du problème rencontré par plusieurs Boeing Dreamliner en 2013



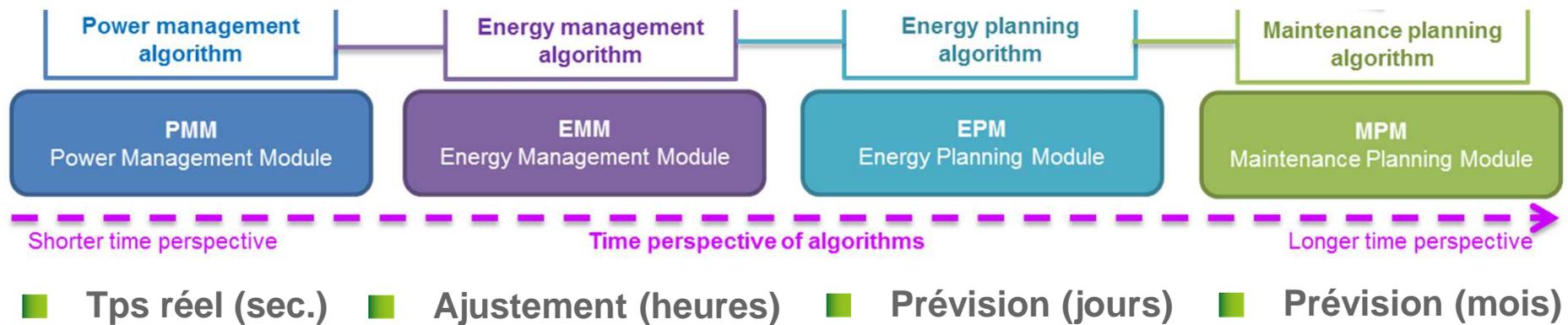
<http://my.pressindex.com/View.aspx>



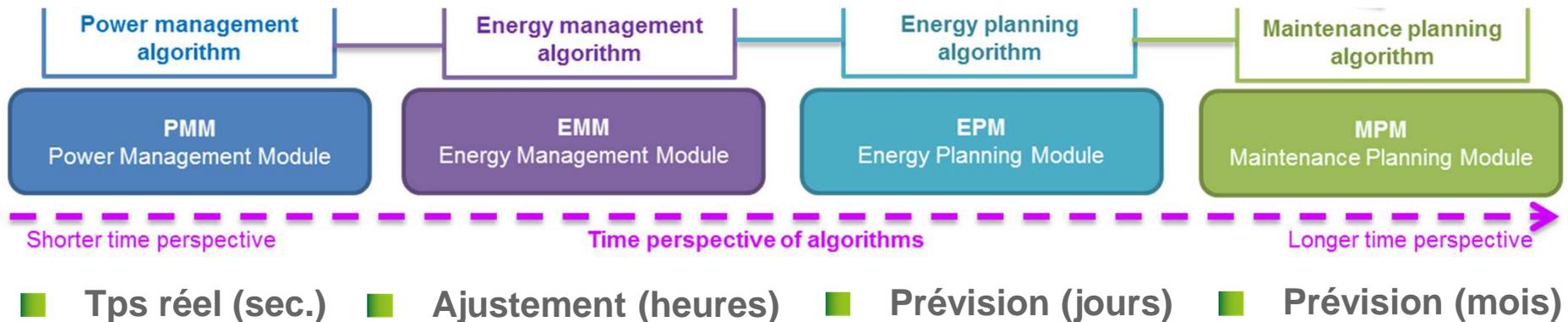
➔ *Effet délétère sur la confiance des marchés !*

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS)

Lois de gestion à différentes échelles de temps



Lois de gestion à différentes échelles de temps



Différents algorithmes de gestion reposant sur :

- des modèles batteries de performances instantanées
- des modèles batteries de performances en endurance
- des modèles des autres composants systèmes
(*production PV, tarif réseau, ...*)

Nécessité de l'EMS au travers de l'actualité récente

■ Garantir les performances en endurance :

exemple du problème rencontré par Nissan en 2013

Un collectif d'utilisateurs a intenté un procès en Californie contre Nissan suite à une perte d'autonomie de l'ordre de 30% après un à deux ans d'utilisation, contre une perte annoncée par Nissan de 20% après cinq ans d'utilisation.

(cas d'un usage à des températures extrêmes de l'Arizona / Californie...)

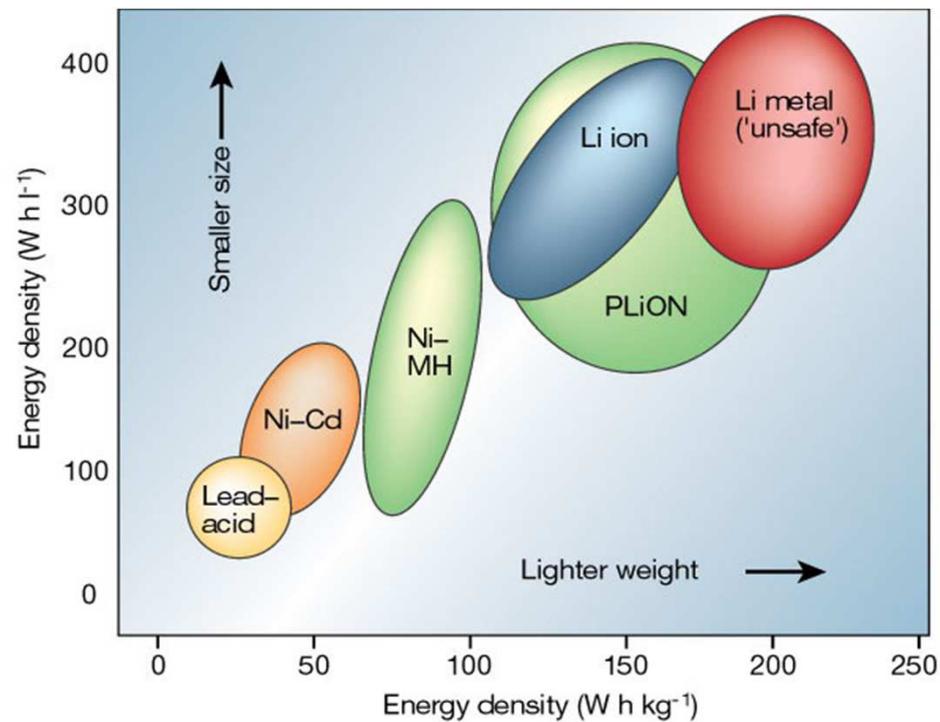
<http://www.voitureelectrique.net/nissan-leaf-action-collective-sur-la-batterie-aux-etats-unis-4316>



➔ *Effet délétère sur la confiance des marchés !*

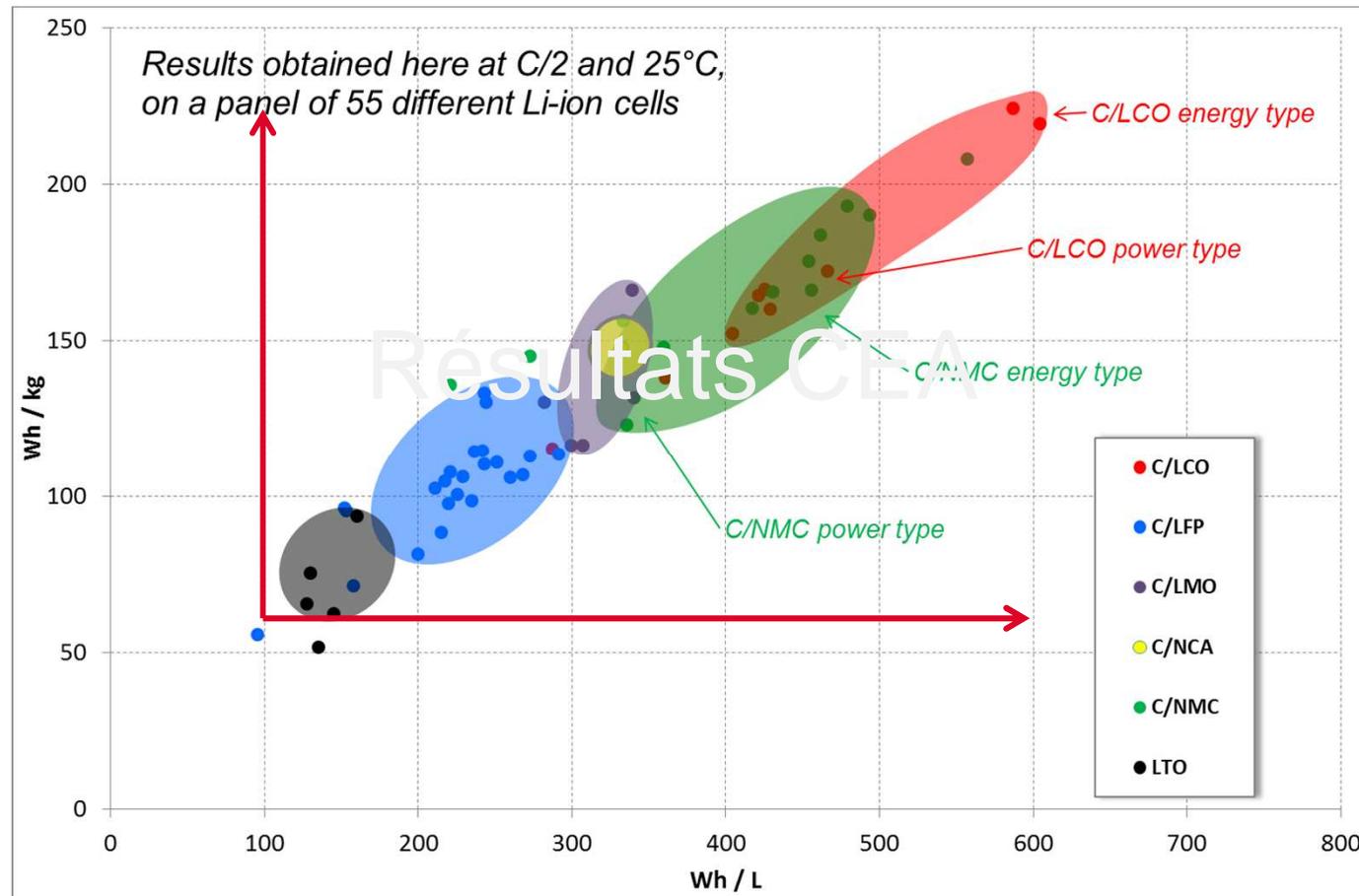
- Introduction
 - L'INES et le CEA, les laboratoires stockages du CEA-LITEN
 - Les objectifs des BMS et des EMS
- **Performances instantanées et dimensionnement**
 - Benchmark
 - Exemples d'une batterie Redox et d'un élément Li-ion
- Performances en endurance et lois de gestion
 - Benchmark
 - Exemple d'une gestion du SOC / T et de la gamme de SOC
- Conclusions

Comparaison inter-technologies



J. M. Tarascon and M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries.," *Nature*, vol. 414, no. 6861, pp. 359–67, Nov. 2001.

Comparaison inter-technologies Li-ion

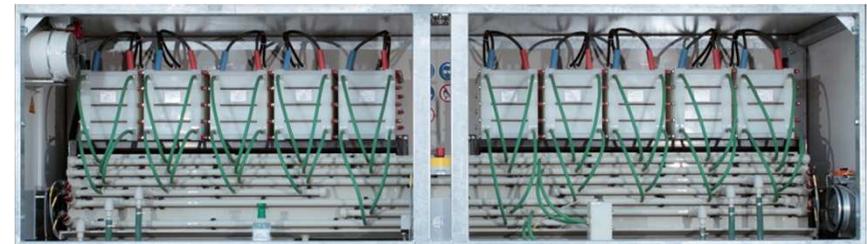
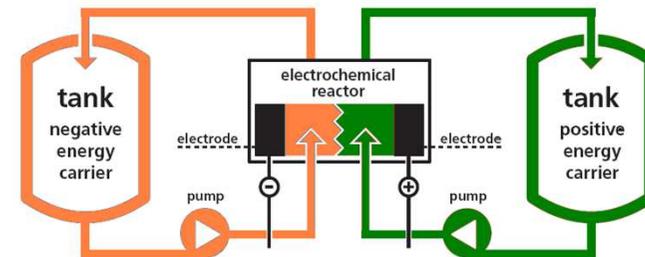


Données mesurées au CEA sur un panel de plus de 50 références Li-ion
À l'échelle cellule, à C/2 et 25° C

EXEMPLE 1 : BATTERIE REDOX VANADIUM

Spécifications du constructeur

	Parameters	Values
Performances	P charge nominale 15-80% SOC	10 kW
	Nominal energy	100 kWh
Voltage output	AC voltage	400 V _{AC}
	DC voltage range	36V _{DC} - 62V _{DC}
Efficiency	Round trip DC efficiency	70-80%
Self discharge	Within cells	0.07 kW
	Within tank	Not significant
Mass and size	Size (mm)	4500*2200*2403
	Empty mass	3500 kg
	Mass with electrolyte	10300 kg



EXEMPLE 1 : BATTERIE REDOX VANADIUM

Spécifications du constructeur

	Parameters	Values
Performances	P charge nominale 15-80% SOC	10 kW
	Nominal energy	100 kWh
Voltage output	AC voltage	400 V _{AC}
	DC voltage range	36V _{DC} - 62V _{DC}
Efficiency	Round trip DC efficiency	70-80%
Self discharge	Within cells	0.07 kW
	Within tank	Not significant
Mass and size	Size (mm)	4500*2200*2403
	Empty mass	3500 kg
	Mass with electrolyte	10300 kg



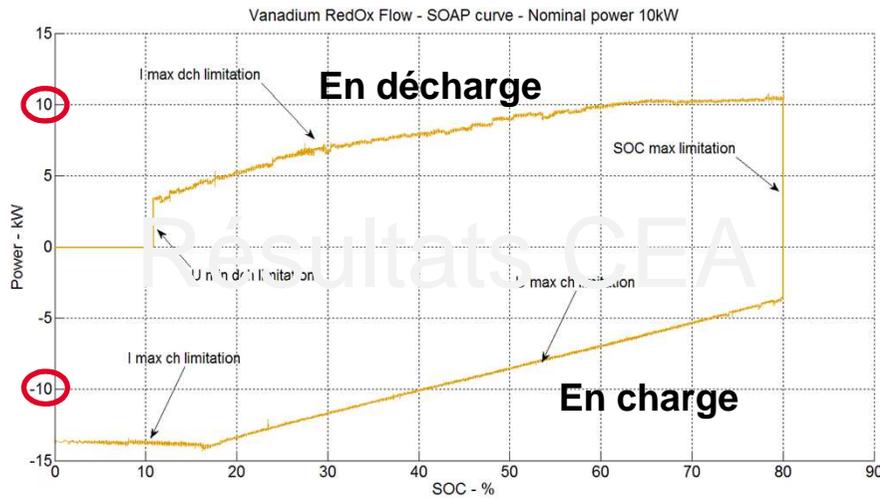
Les spécifications constructeur ne sont pas assez précises pour assurer un dimensionnement optimal...

EXEMPLE 1 : BATTERIE REDOX VANADIUM

Performances mesurées au CEA-INES

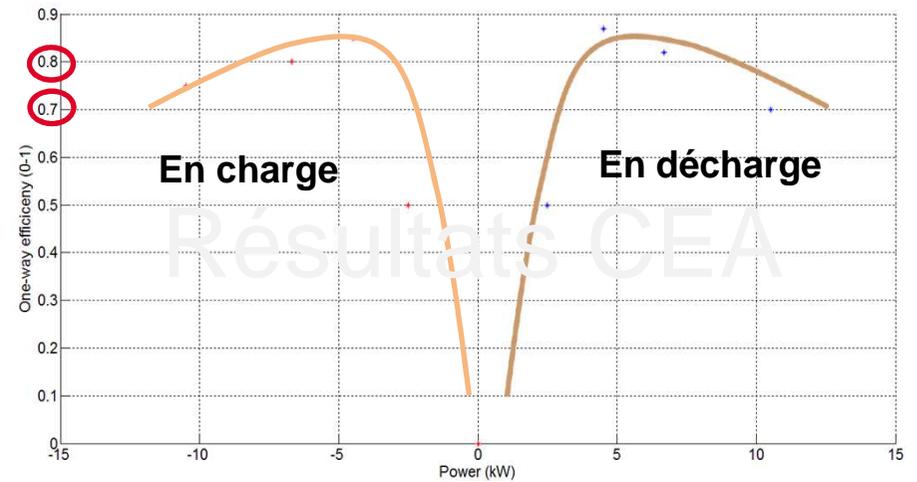


Puissance disponible en charge / décharge



10kW ?

Rendement en charge / décharge



Rendement de 70-80% ?

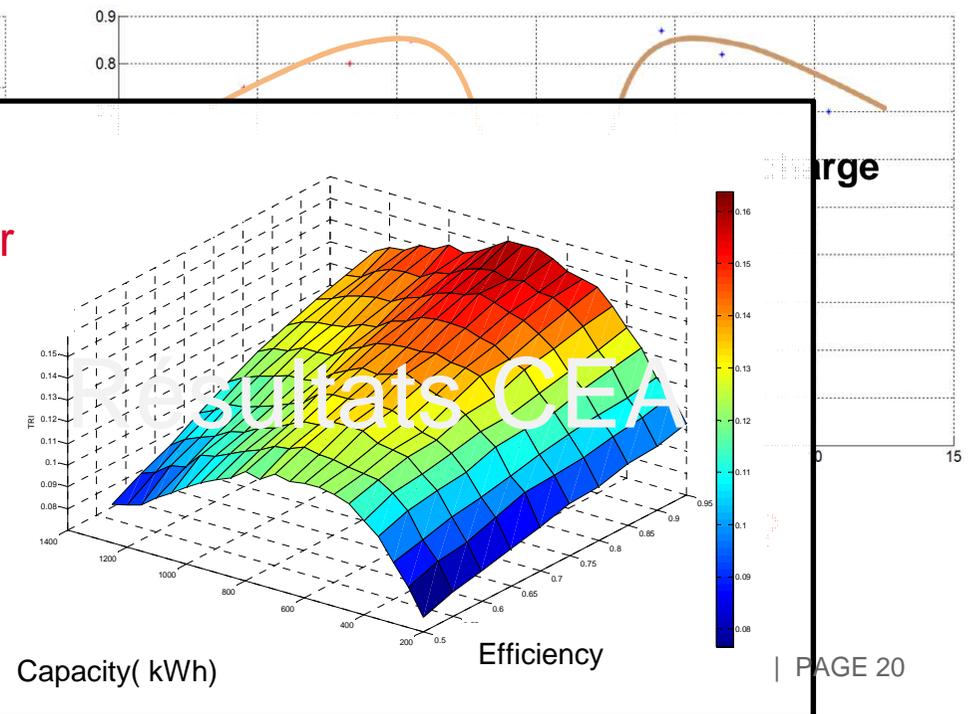
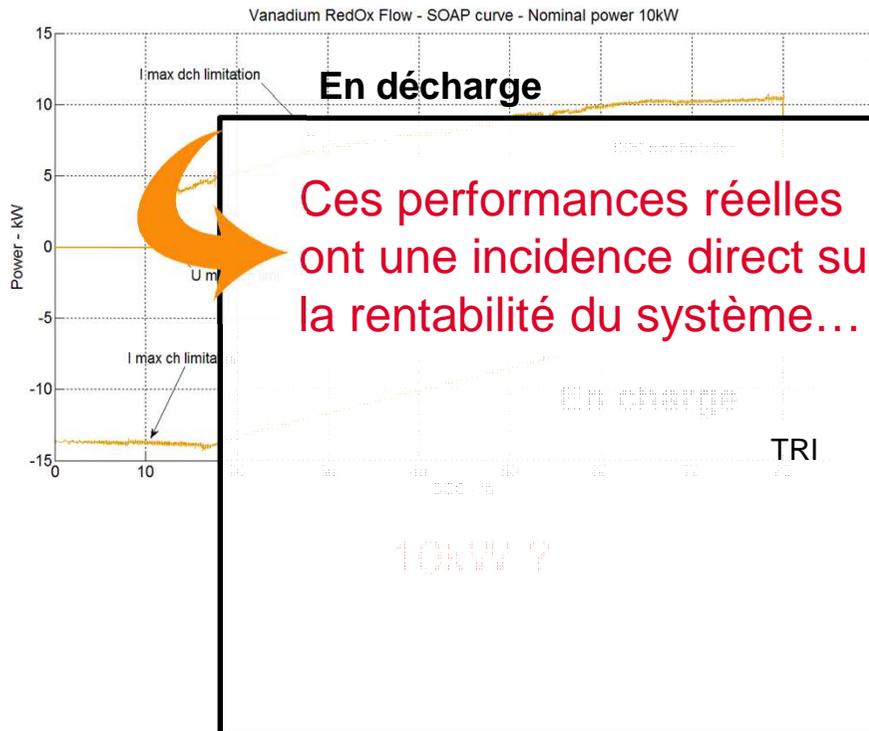
EXEMPLE 1 : BATTERIE REDOX VANADIUM

Performances mesurées au CEA-INES



Puissance disponible en charge / décharge

Rendement en charge / décharge



EXEMPLE 2 : ELEMENT LI-ION

Spécifications du constructeur

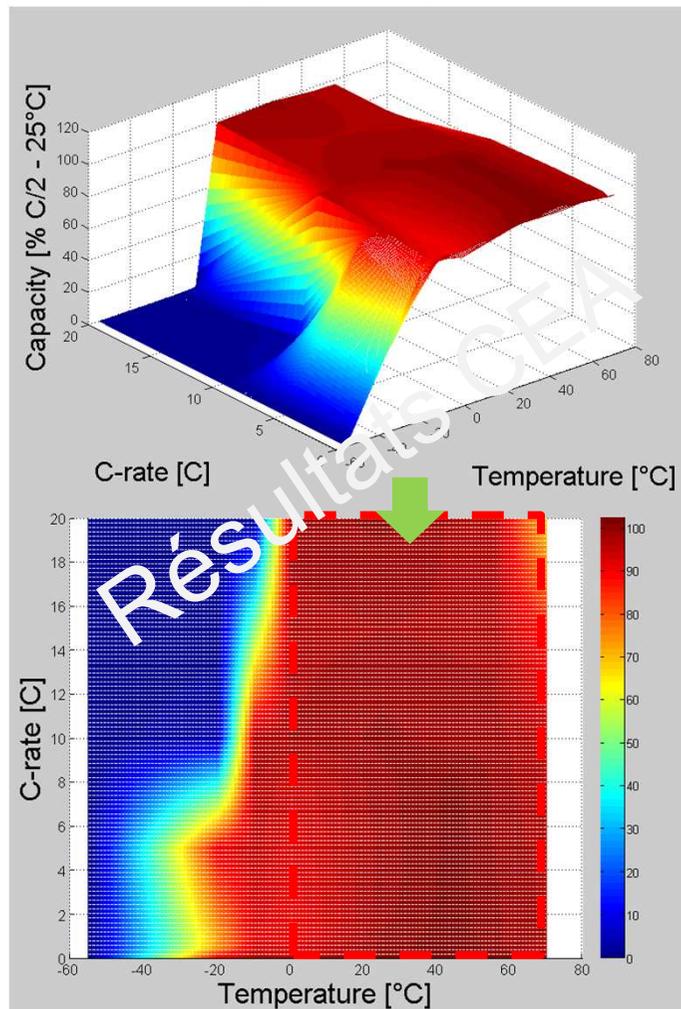
ANR26650~~M1~~^{M7}-B Cell Specifications

Cell Dimensions (mm)	∅26 x 65
Cell Weight (g)	76
Cell Capacity (nominal/minimum, Ah)	2.5/2.4
Voltage (nominal, V)	3.3
Internal Impedance (1kHz AC typical, mΩ)	6
HPPC 10 Sec Discharge Pulse Power 50% SOC	200 W
Recommended Standard Charge Method	1C to 3.6V CCCV, 45 min
Recommended Fast Charge Method to 80% SOC	4C to 3.6V CC, 12 min
Maximum Continuous Discharge (A)	70
Maximum Pulse Discharge (10 seconds, A)	120
Cycle Life at 10C Discharge, 100% DOD	>1,000 cycles
Operating Temperature	-30°C to 55°C
Storage Temperature	-40°C to 60°C



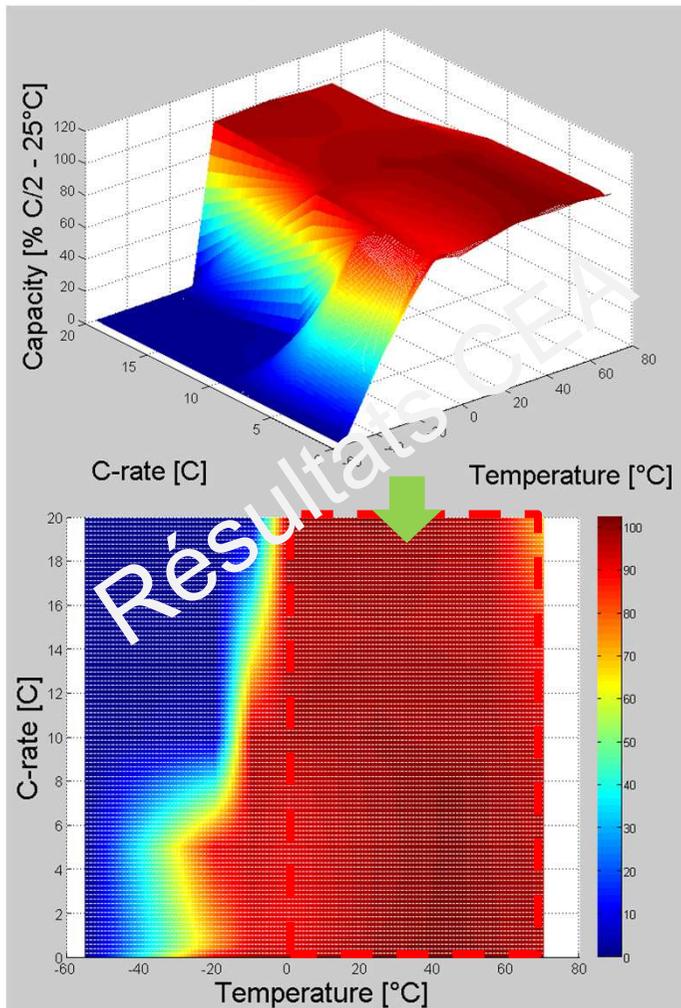
Performances mesurées au CEA-INES

Capacité disponible

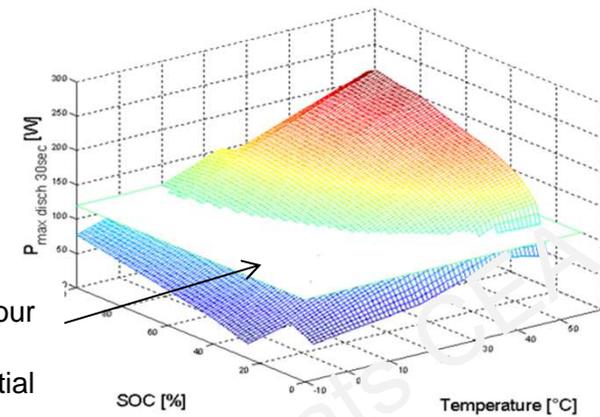


Performances mesurées au CEA-INES

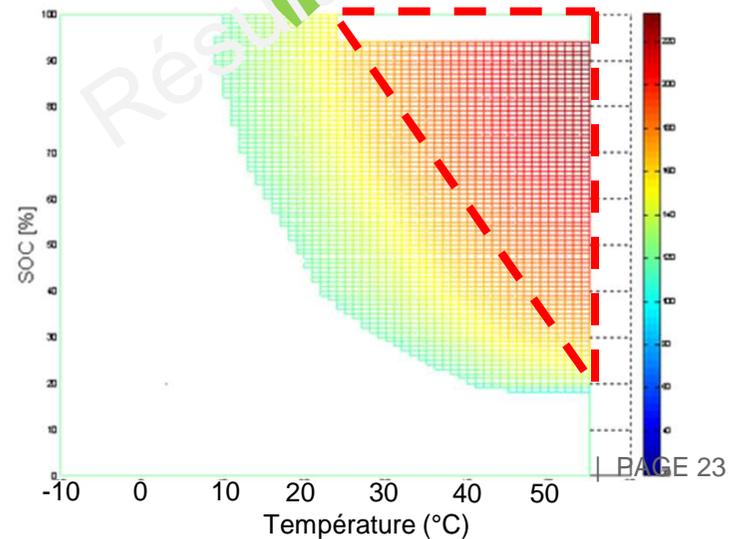
Capacité disponible



Puissance disponible



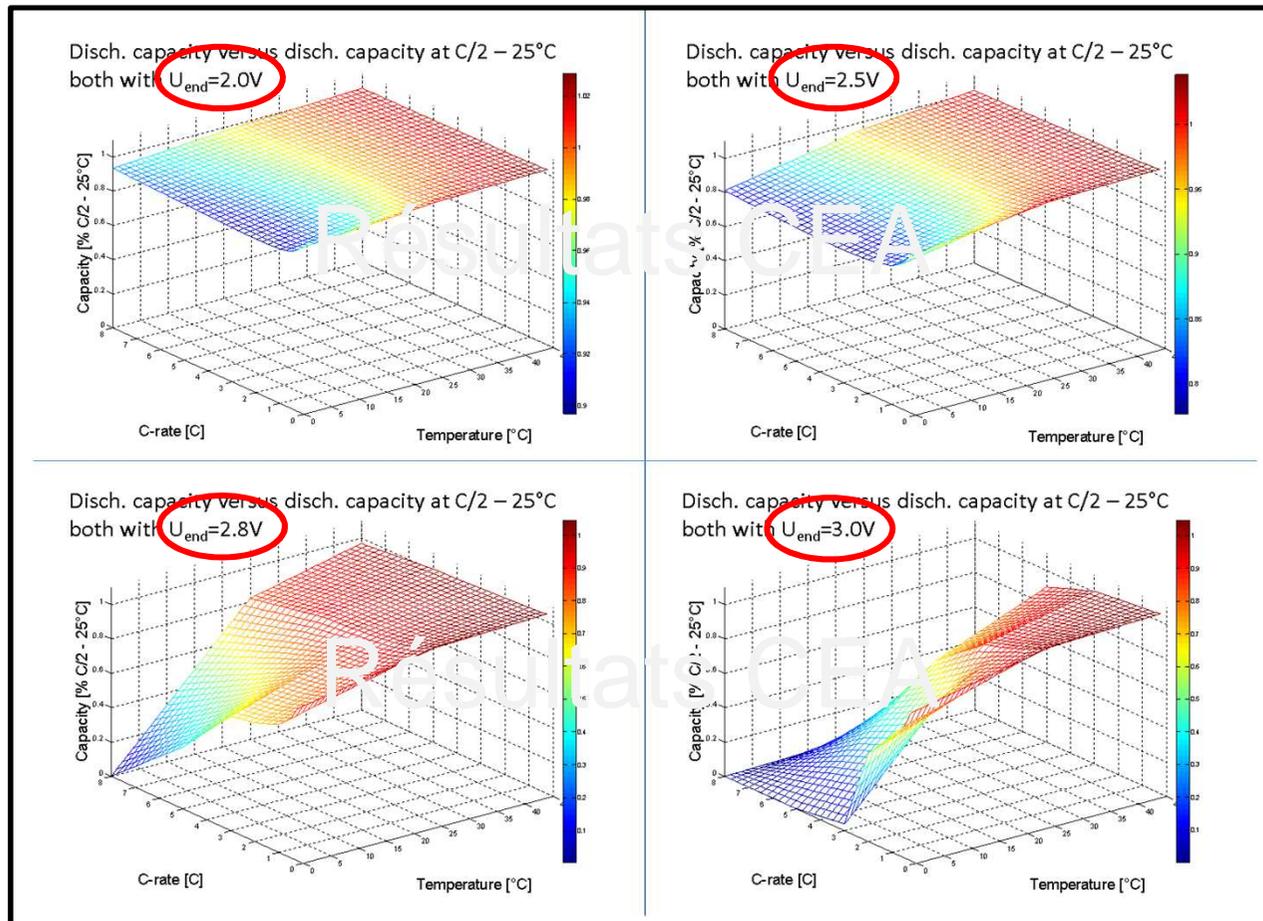
Puissance requise pour l'application selon le dimensionnement initial



EXEMPLE 2 : ELEMENT LI-ION

Performances mesurées au CEA-INES

Impact de la tension basse de coupure sur la capacité disponible



Aide au dimensionnement / choix des critères de gestion

- Introduction
 - L'INES et le CEA, les laboratoires stockages du CEA-LITEN
 - Les objectifs des BMS et des EMS
- Performances instantanées et dimensionnement
 - Benchmark
 - Exemple d'une batterie Redox et d'un élément Li-ion
- **Performances en endurance et lois de gestion**
 - Benchmark
 - Exemple d'une gestion du SOC / T et de la gamme de SOC
- Conclusions

Vieillessement des accumulateurs Li-ion

En cyclage

(= mode conduite d'un véhicule)



En calendaire

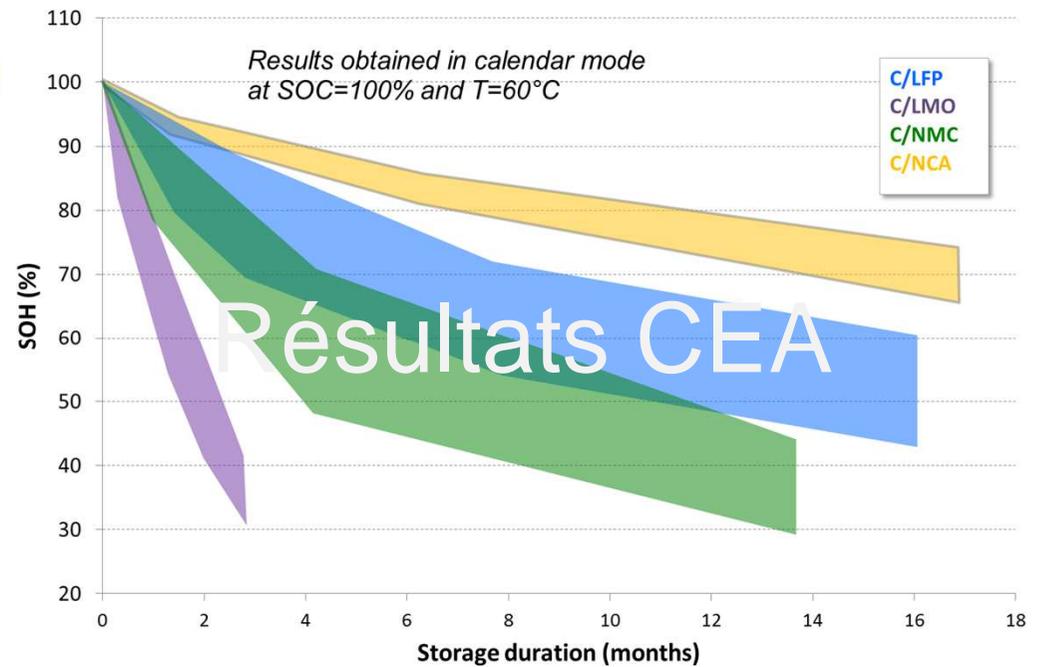
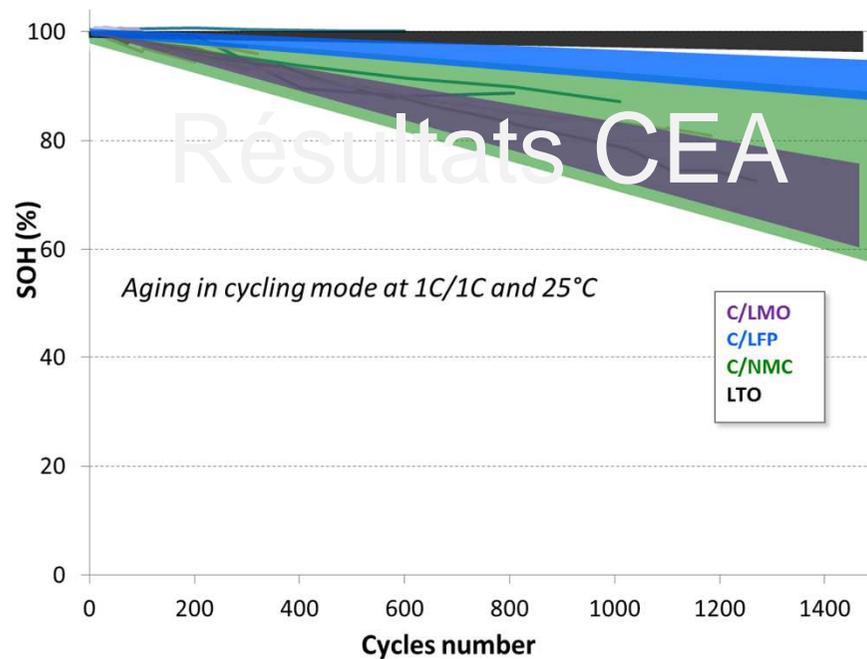
(= mode parking d'un véhicule)



Vieillessement des accumulateurs Li-ion

En cyclage

En calendaire



Données mesurées au CEA

Vieillessement calendaire

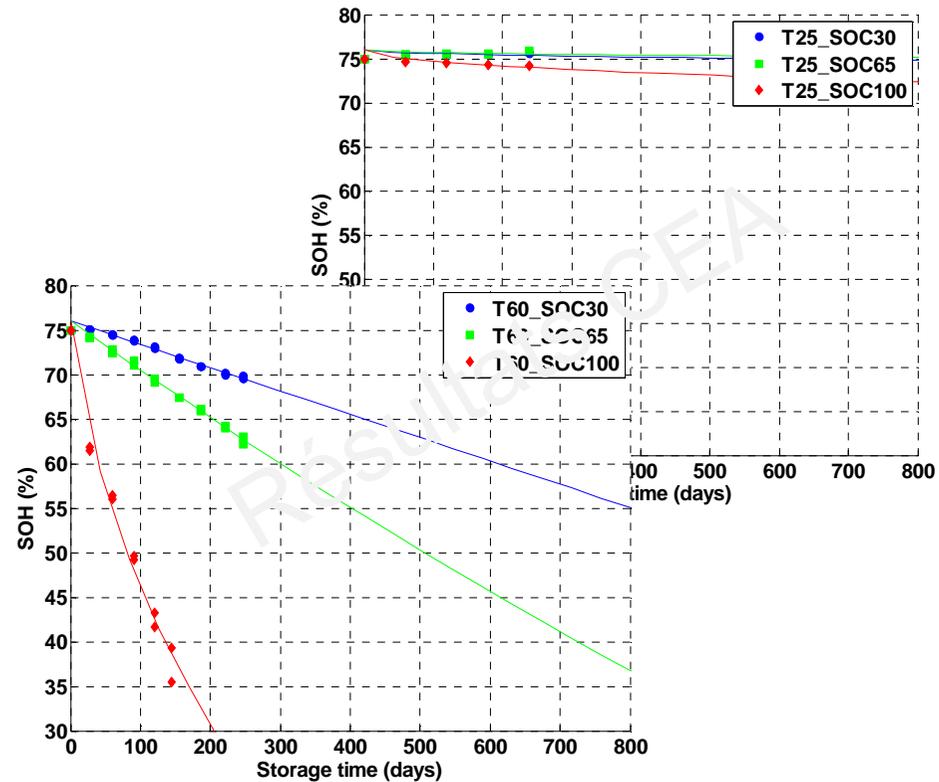
Développement de modèles semi-empiriques

$$\frac{\partial Q_{loss}}{\partial t} = k_{cal}(T, SOC) \cdot f_{cal}(Q_{loss})$$

avec :

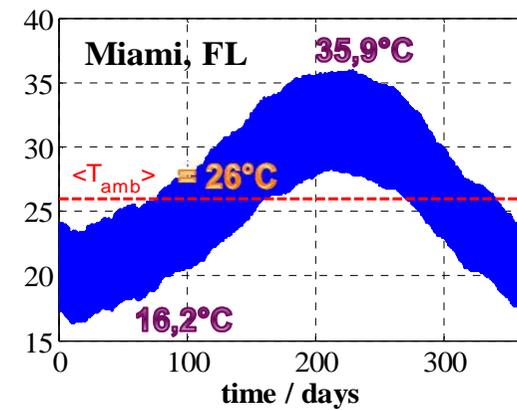
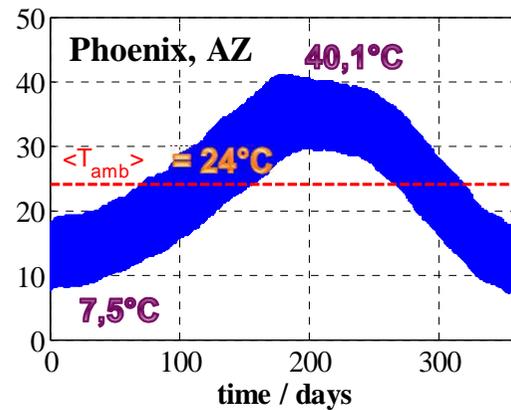
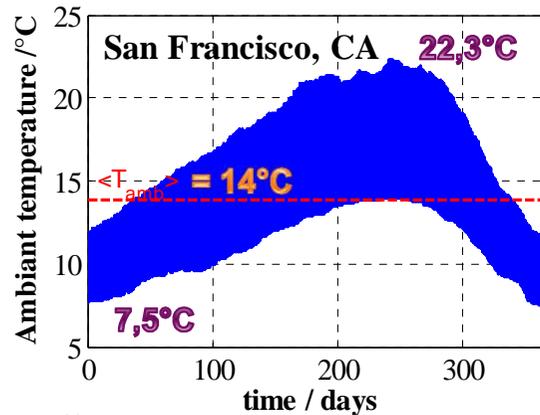
$$f_{cal}(Q_{loss}) = \frac{1}{1 + A * (Q_{loss} - Q_0)}$$

$$k_{cal}(T, SOC) = A(SOC) \cdot \exp\left(-\frac{E_a(SOC)}{RT}\right)$$



Etude de l'influence de T et SOC de stockage sur la durée de vie

Cas d'étude de simulation : température ambiante de 3 villes américaines



- Profils annuels de température
- Données issues de la base de l'American National Climatic Data Center
- Chaque point est une moyenne sur 30 ans (1981-2010)
- 1 point / heure

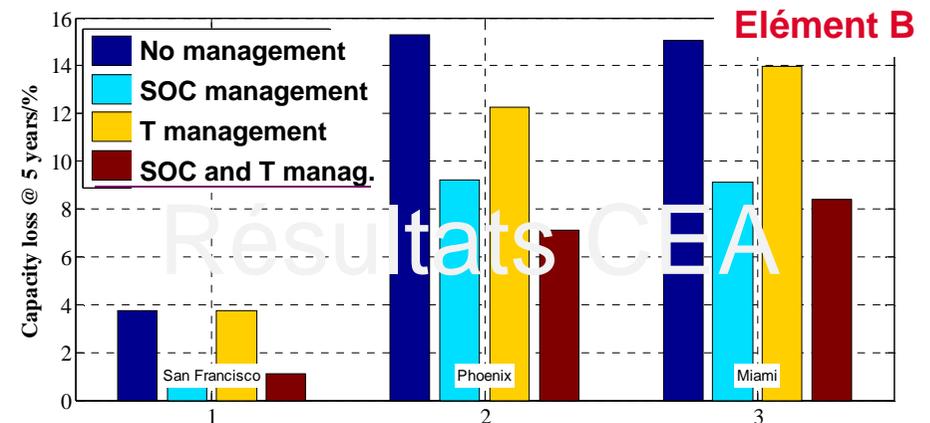
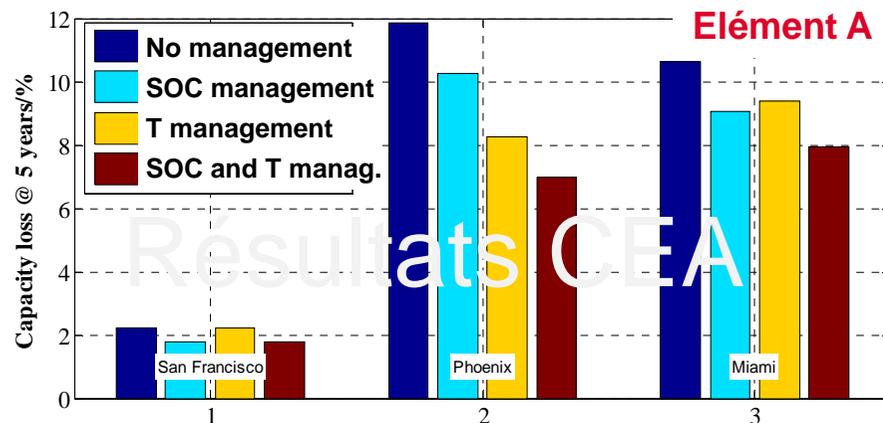
Etude de l'influence de T et SOC de stockage sur la durée de vie

Cas d'étude de simulation : gestion thermique et/ou du SOC haut

	« Thermal management »	« SOC management »
Strategy #1	No (T=Tamb)	No (SOC=100%)
Strategy #2	No (T=Tamb)	Yes (SOC=80%)
Strategy #3	Yes (T≤30°C)	No (SOC=100%)
Strategy #4	Yes (T≤30°C)	Yes (SOC=80%)

Etude de l'influence de T et SOC de stockage sur la durée de vie

Résultats de simulation : pertes irréversibles après 5 ans de stockage

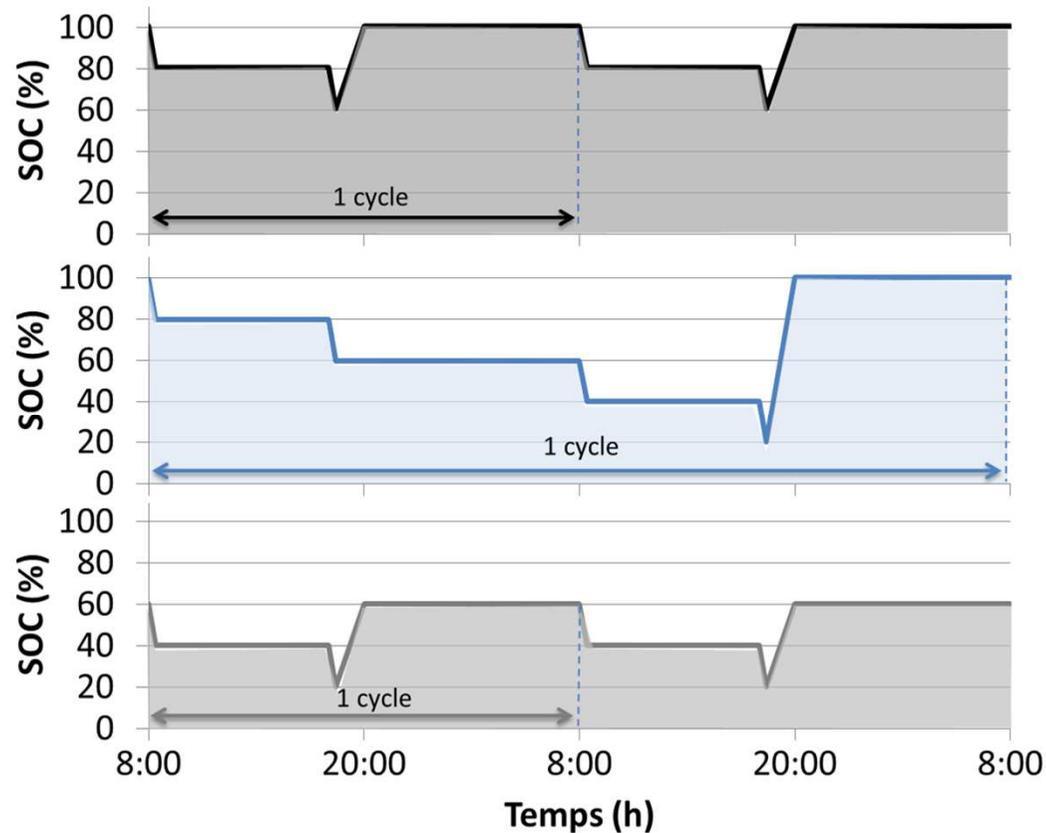


- Le vieillissement calendaire est naturellement très dépendant de la température (et donc ici de la localisation)
 - Meilleur bénéfice de la gestion thermique sur la gestion du SOC sur l'élément A
 - Inverse sur l'élément B
- les lois de gestion doivent être spécifiques aux éléments...

EXEMPLE 2 : IMPACT DE LA GAMME DE SOC D'USAGE

Etude de l'influence de la gamme de SOC sur la durée de vie

On considère 3 utilisateurs de VE faisant le même trajet quotidien domicile-travail, 30km aller - 30km retour, avec 3 modes d'utilisation différents



Utilisateur #1 :

1 aller/retour – 1 recharge,
entre 100% et 60% de SOC



Utilisateur #2 :

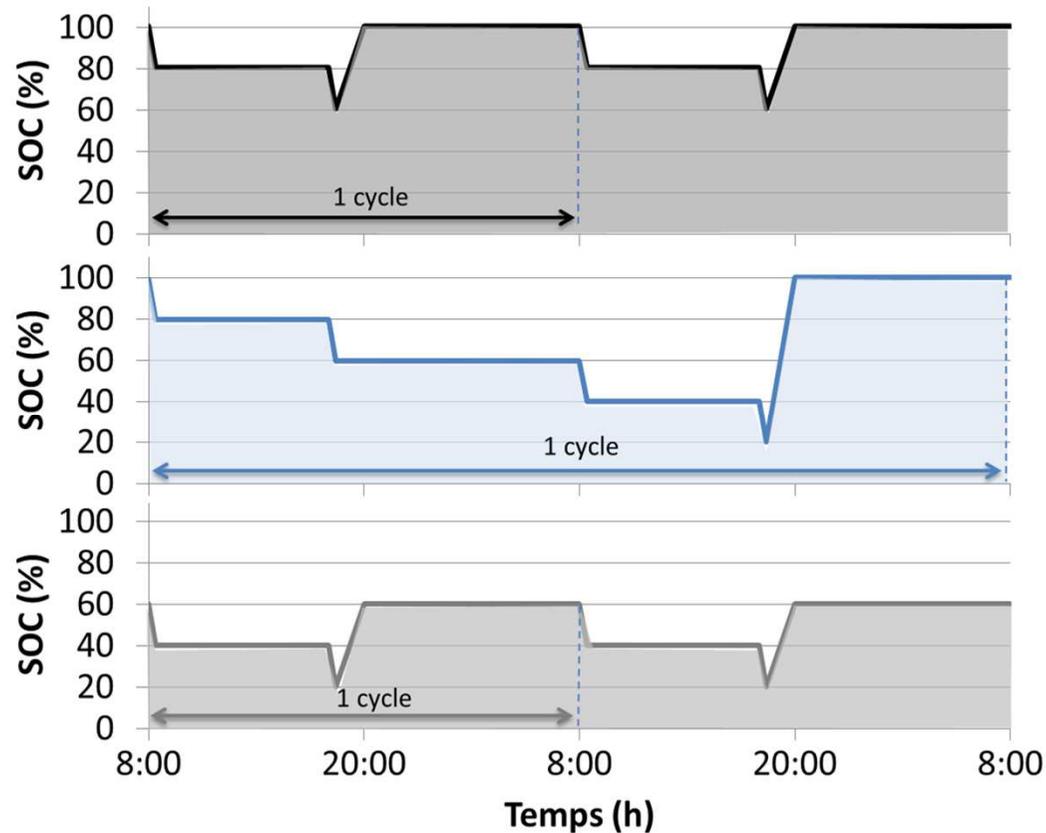
2 allers/retours – 1 recharge,
entre 100% et 20% de SOC



Utilisateur #3 :

1 aller/retour – 1 recharge,
entre 60% et 20% de SOC

Etude de l'influence de la gamme de SOC sur la durée de vie



Etude expérimentale

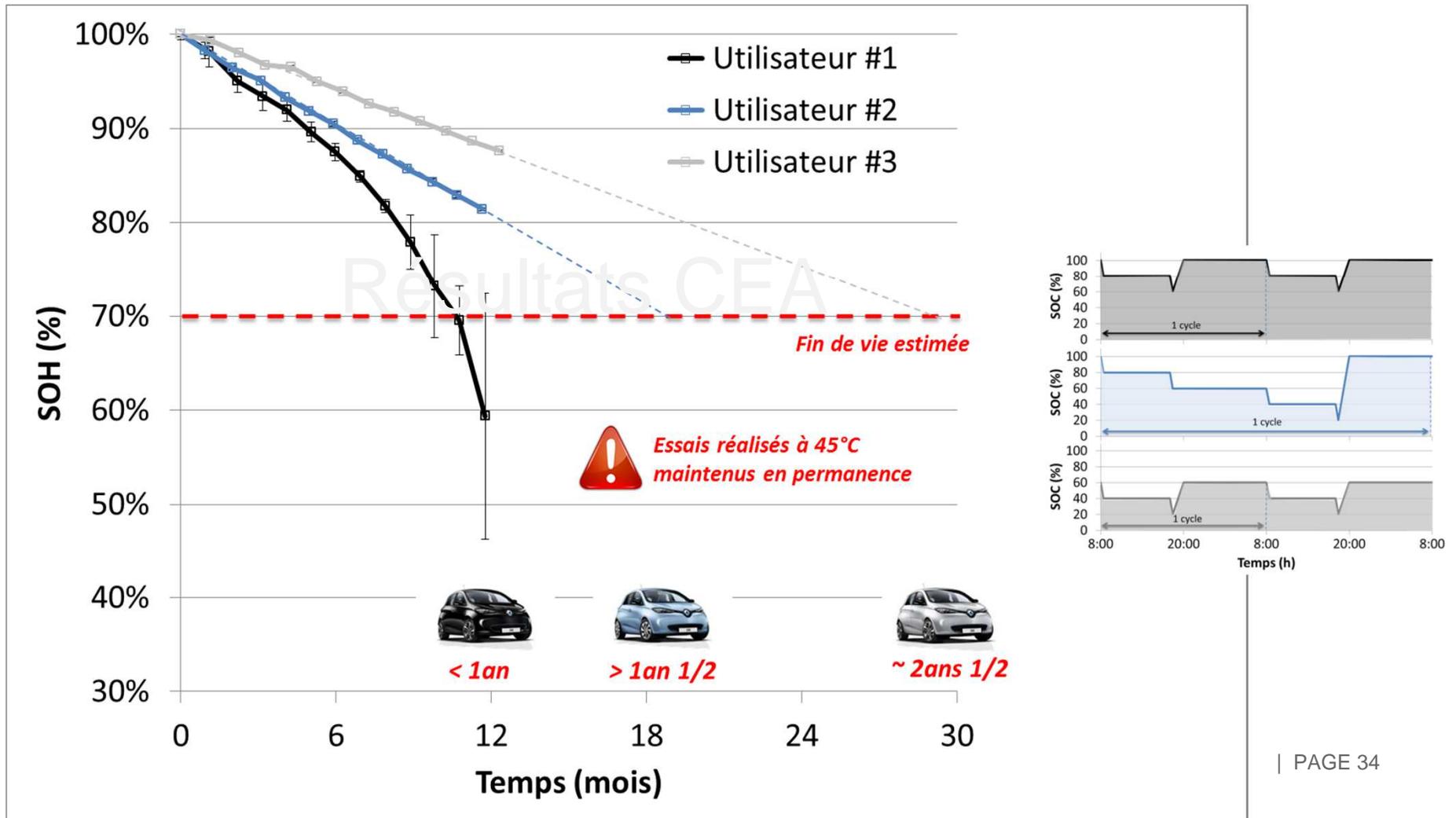
→ Ces 3 profils ont été appliqués sur des éléments Li-ion, à raison de 2 éléments par profil, à 45°C



EXEMPLE 2 : IMPACT DE LA GAMME DE SOC D'USAGE

Etude de l'influence de la gamme de SOC sur la durée de vie

Résultats expérimentaux



- Introduction
 - L'INES et le CEA, les laboratoires stockages du CEA-LITEN
 - Les objectifs des BMS et des EMS
- Performances instantanées et dimensionnement
 - Benchmark
 - Exemple d'une batterie Redox et d'un élément Li-ion
- Performances en endurance et lois de gestion
 - Benchmark
 - Exemple d'une gestion du SOC / T et de la gamme de SOC
- **Conclusions**

- Une diversité d'offres batteries de plus en plus vaste qui accompagne de nouveaux marchés en plein essor
 - besoin d'outils d'aide à la sélection de la « bonne » batterie pour chaque application

- Une diversité d'offres batteries de plus en plus vaste qui accompagne de nouveaux marchés en plein essor
 - besoin d'outils d'aide à la sélection de la « bonne » batterie pour chaque application
- Des systèmes de stockage dont la rentabilité est à démontrer pour ces nouveaux marchés
 - besoin d'outils d'aide au dimensionnement et à la gestion optimale, très prometteurs pour assurer cette rentabilité

- Une diversité d'offres batteries de plus en plus vaste qui accompagne de nouveaux marchés en plein essor
 - besoin d'outils d'aide à la sélection de la « bonne » batterie pour chaque application
- Des systèmes de stockage dont la rentabilité est à démontrer pour ces nouveaux marchés
 - besoin d'outils d'aide au dimensionnement et à la gestion optimale, très prometteurs pour assurer cette rentabilité
- Pour ces deux points, les spécifications des constructeurs ne suffisent pas
 - besoin de caractériser et de modéliser les performances instantanées et en endurance des batteries

Merci de votre attention !



arnaud.delaille@cea.fr