

Elaboration et intégration de micro-supercondensateurs pour le stockage de l'énergie embarqué

David PECH¹, Hugo DUROU¹, Peihua HUANG^{1,2}, Magali BRUNET¹, Pierre-Louis TABERNA²,
Patrice SIMON², Norbert FABRE¹, Fabien MESNILGRENTE¹, Véronique CONEDERA¹

¹**LAAS-CNRS**

Université de Toulouse



²**CIRIMAT**

Université de Toulouse



GDR Micro et Nano Systèmes – *Environnement Intelligent*

(18-20 novembre 2009)

Plan

- **Introduction – Contexte**
- **Définition d'un supercondensateur**
- **Exemple de réalisation d'un micro-supercondensateur par la technologie jet d'encre**
- **Potentialités des micro-supercondensateurs**
- **Conclusion et Perspectives**

Applications autonomes

- Cartes à puces sécurisées



- Vêtements intelligents (*GPS, téléphone intégré, capteurs T, éclairage...*)

- Dispositifs biomédicaux (*dispositifs implantables, stimulateurs cardiaques, pompes à insuline...*)

- **Active RFID**

- lecture longue distance
- modifications des informations
- capteurs

Suivi des produits (ex: pneu électronique..)

- Réseaux de capteurs sans fil

Déploiement de micro-capteurs en vue de collecter des données environnementales de manière autonome

Surveillance militaire, gestion du trafic / fret, bâtiments intelligents, applications environnementales, contrôle dans environnements hostiles / inaccessibles...

Réseaux de capteurs sans fil autonomes



Verrous technologiques actuels

Energie / Puissance

Durée de vie limitée

Gamme de T

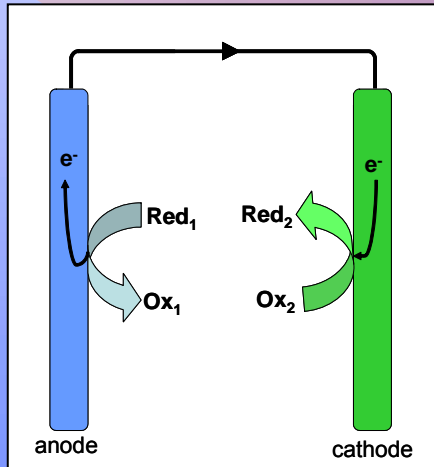
Projet AutoSens (C. Rossi)

- Mesures en vol
- Récupération énergie décollage/atterrissage
- Température: -50°C / $+100^{\circ}\text{C}$
- Durée de vie: 40 ans, 5000 h/an
- Taille du module : 10 cm x 10 cm, e < 5 mm

**Potentialité des micro-supercondensateurs
pour l'autonomie des systèmes répartis ?**

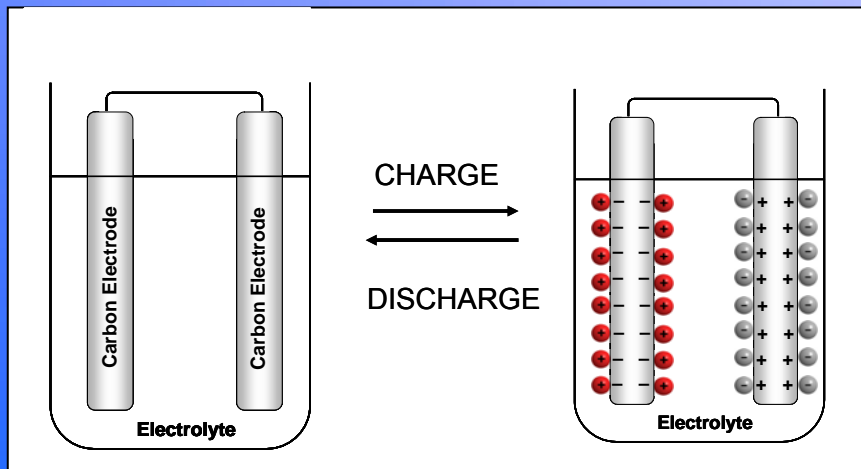
Qu'est ce qu'un supercondensateur ?

Batterie : Stockage chimique



Volume de l'électrode impliqué dans réactions électrochimiques

Supercondensateur : Stockage capacitif



Stockage de charge électrostatique impliquant l'électrosorption réversible d'ions à l'interface électrode / électrolyte

$$E = \frac{1}{2} C U^2$$

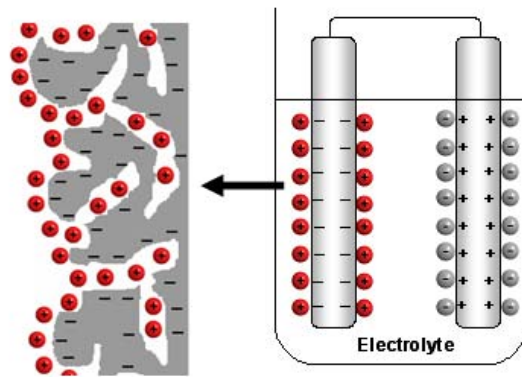
Qu'est ce qu'un supercondensateur ?

Batteries

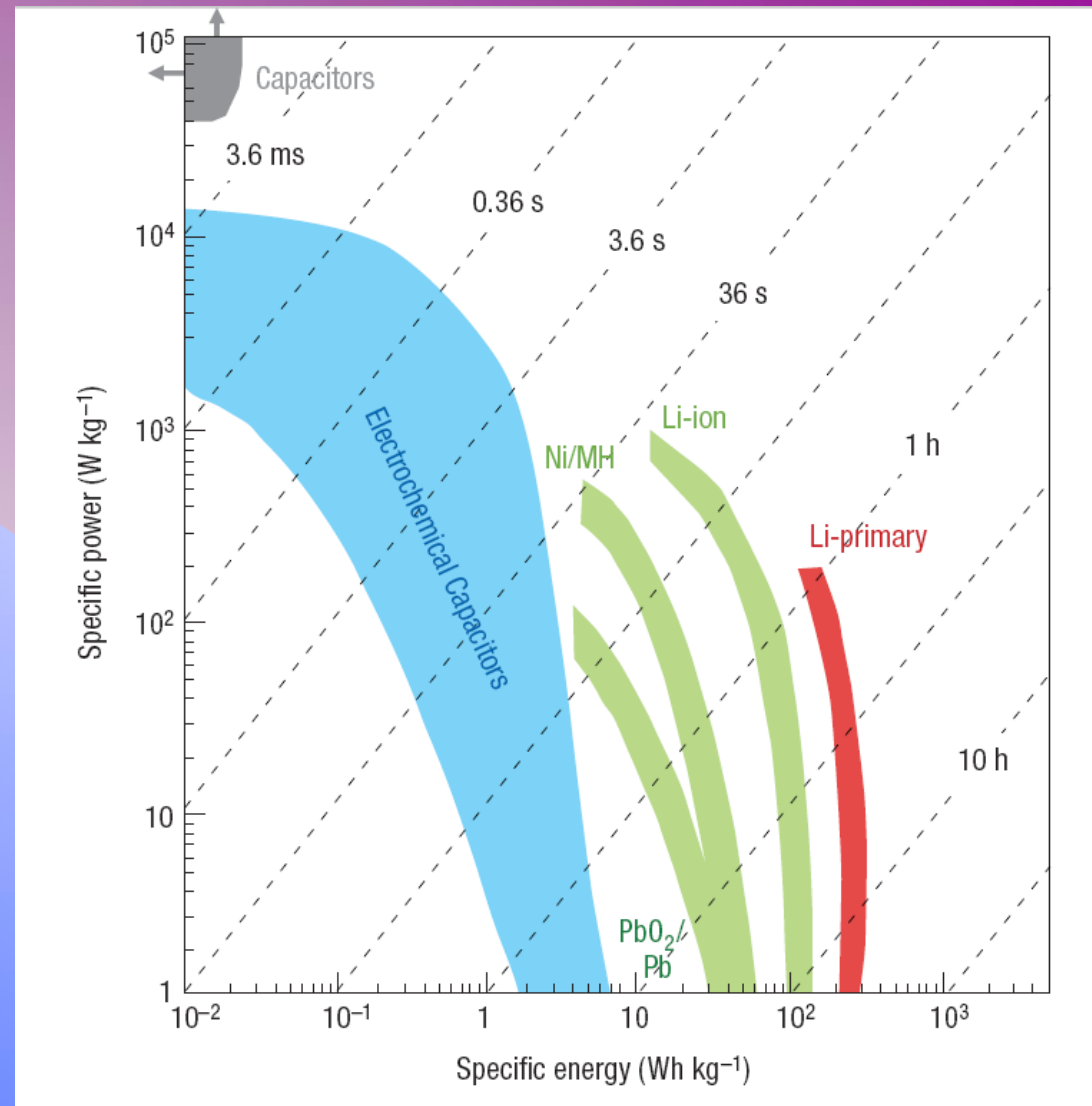
Stockage faradique
(Durée de vie limitée)

Supercondensateurs :

Stockage capacitif (Carbon)
ou pseudo-capacitif (RuO_2 , MnO_2)



- Grande surface spécifique
- Durée de vie illimitée



P. Simon *et al.*, *Nature Mat.* 7 (2008) 845.

Technologie du jet d'encre

Elaboration de microsupercondensateur à base de C par voie **jet d'encre**



Machine Altadrop®
d'Altatech Semiconductor



Jet d'encre haute résolution
(précision $\pm 4 \mu\text{m}$)

- Grande résolution
- Technologie Si
- Faible coût
- Peu d'étapes

Dépôt du matériau actif

Diamètre des buzzes : 15-50 μm

T substrat : 140°C



Evaporation instantanée
des gouttelettes



Dépôt uniforme

Encre

- **Poudre charbon actif** (Kuraray Chem.)
1600-1700 m^2/g – particules : 3-20 μm
- **PTFE** (liant organique)
- **Ethylene glycol** (solvant porteur)
- **Surfactant** (stabilité de l'émulsion)

Technologie du jet d'encre

Elaboration de microsupercondensateur à base de C par voie **jet d'encre**



Machine Altadrop®
d'Altatech Semiconductor



Jet d'encre haute résolution
(précision $\pm 4 \mu\text{m}$)

- Grande résolution
- Technologie Si
- Faible coût
- Peu d'étapes

Dépôt du matériau actif

Diamètre des buzzes : 15-50 μm

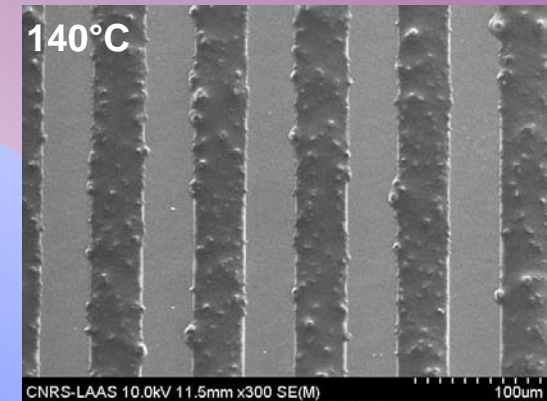
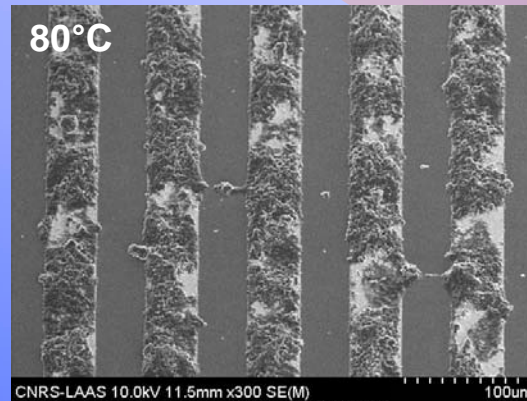
T substrat : 140°C



Evaporation instantanée
des gouttelettes



Dépôt uniforme



Technologie du jet d'encre

Elaboration de microsupercondensateur à base de C par voie **jet d'encre**



Machine Altadrop®
d'Altatech Semiconductor



Jet d'encre haute résolution
(précision $\pm 4 \mu\text{m}$)

- Grande résolution
- Technologie Si
- Faible coût
- Peu d'étapes

Dépôt du matériau actif

Diamètre des buzzes : 15-50 μm

T substrat : 140°C

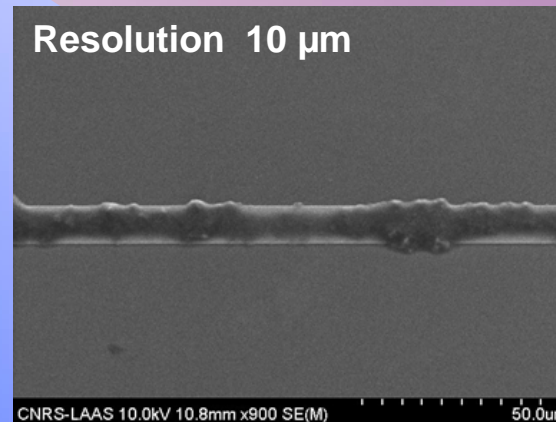


Evaporation instantanée
des gouttelettes



Dépôt uniforme

Resolution 10 μm

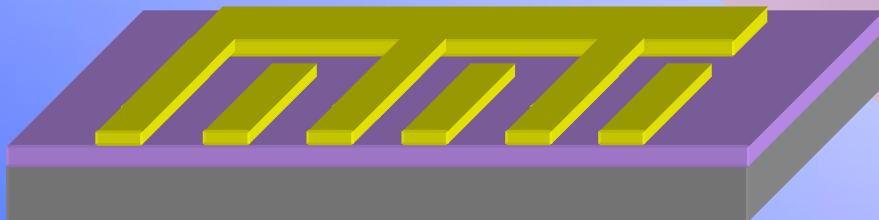


Process

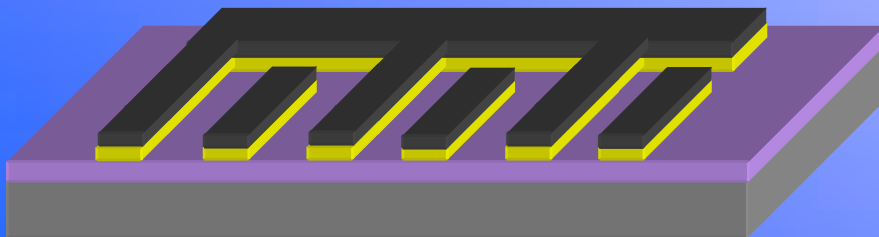
a) SiO₂



b) Lift-off Ti/Au (collecteur de courant) +



c) Jet d'encre (charbon actif + PTFE)

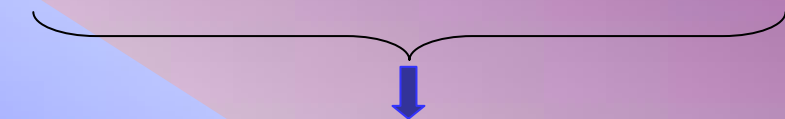


Functionalisation de surface:

Traitement OTS (octadecyltrichlorosilane)

→ SiO₂ hydrophobe

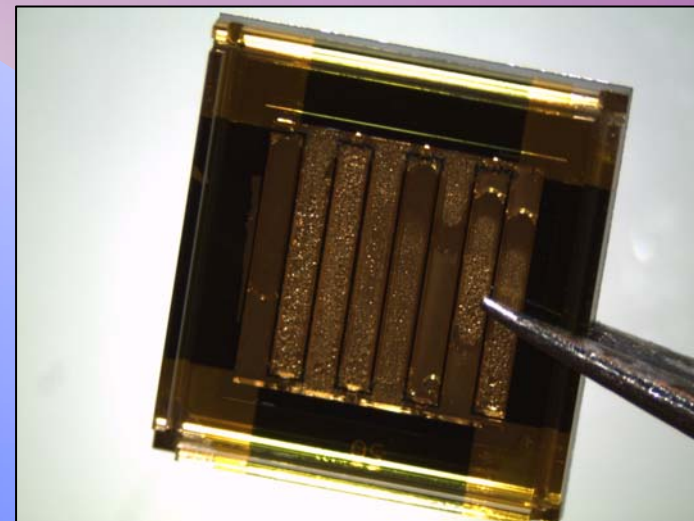
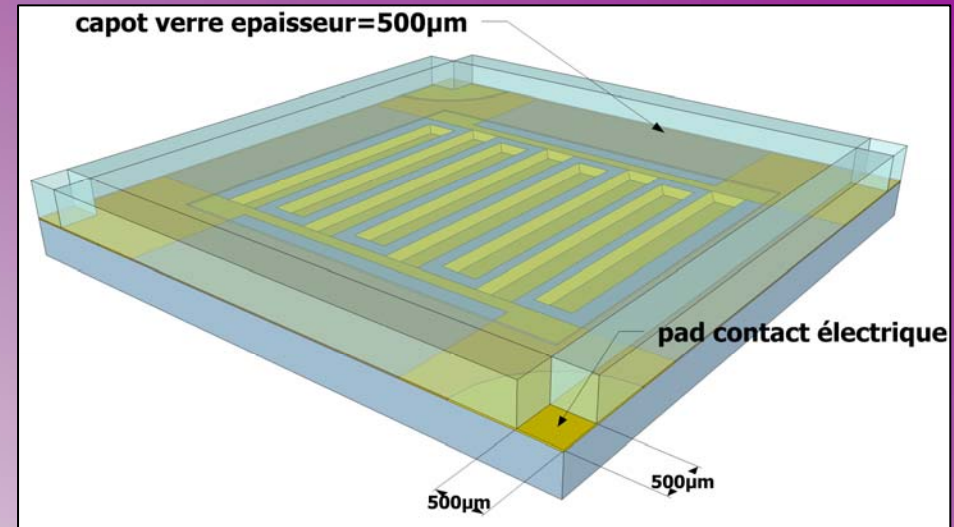
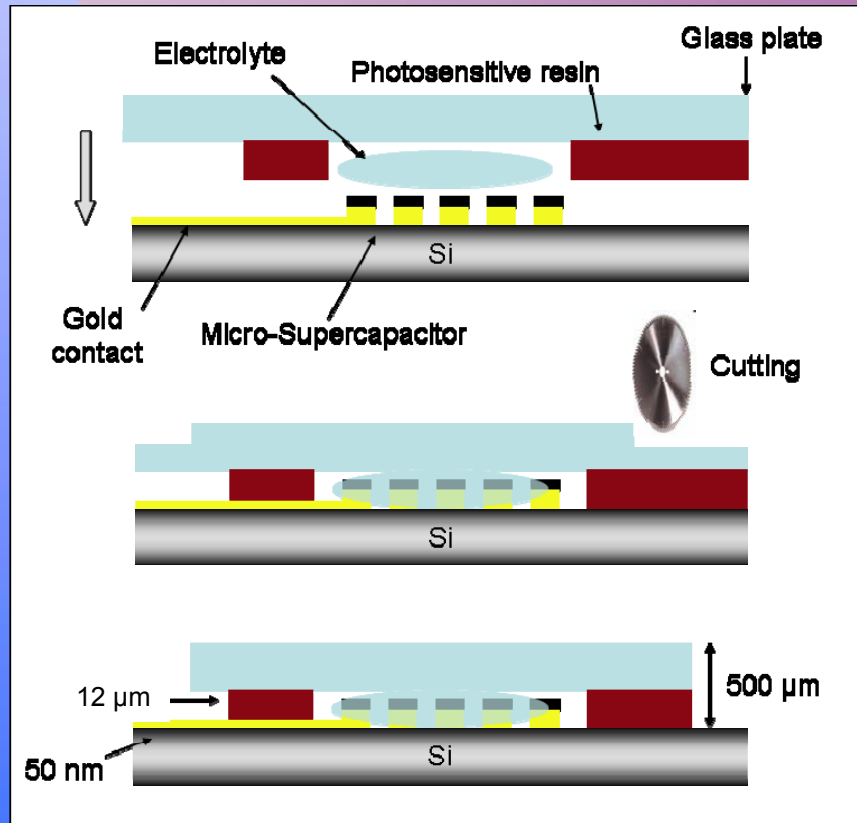
→ Collecteurs de courant Au hydrophile



Dépôt localisé sur les électrodes d'Au

Encapsulation

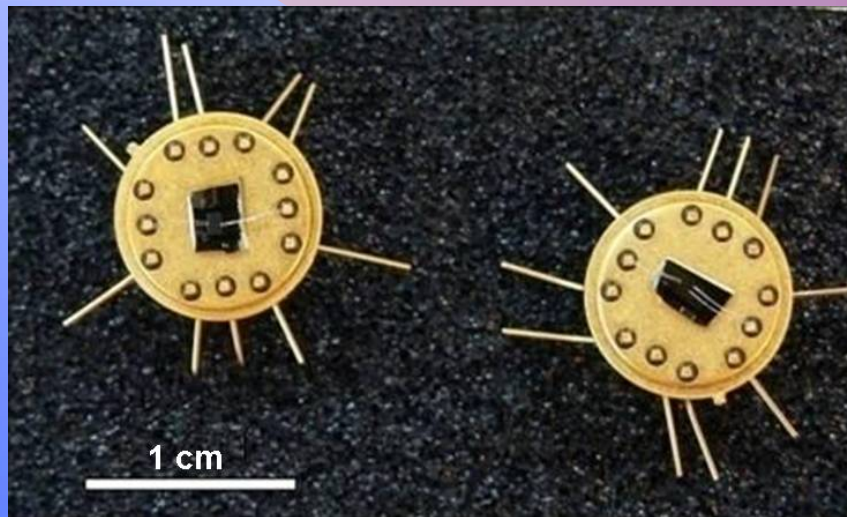
(T. Fauthoux et H. Durou)



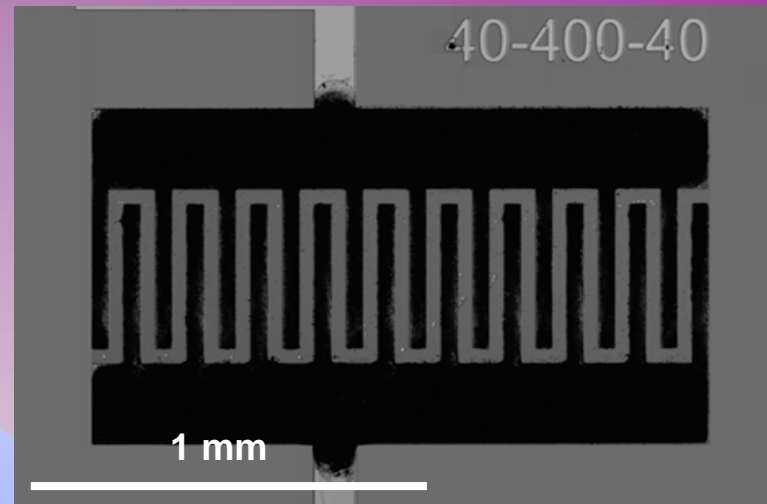
- 1) Pressage en boîte à gant
- 2) Collage au wafer bonder

En cours

Micro-dispositifs obtenus



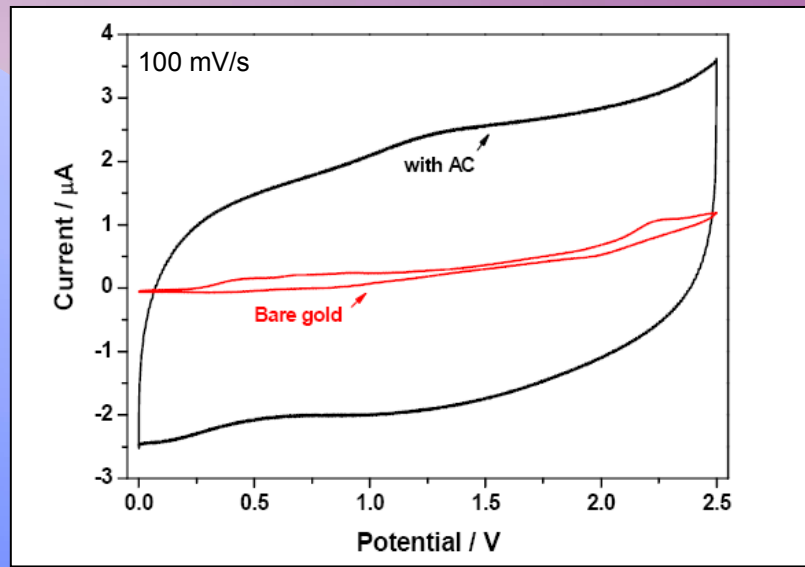
Puces connectées



*Largeur 40 μm – Longueur 400 μm – Interespace 40 μm
Epaisseur : 1-2 μm*

Différentes μ -structures de 40 μm – 400 μm – 40 μm à 100 μm – 2000 μm – 100 μm

Performances électrochimiques

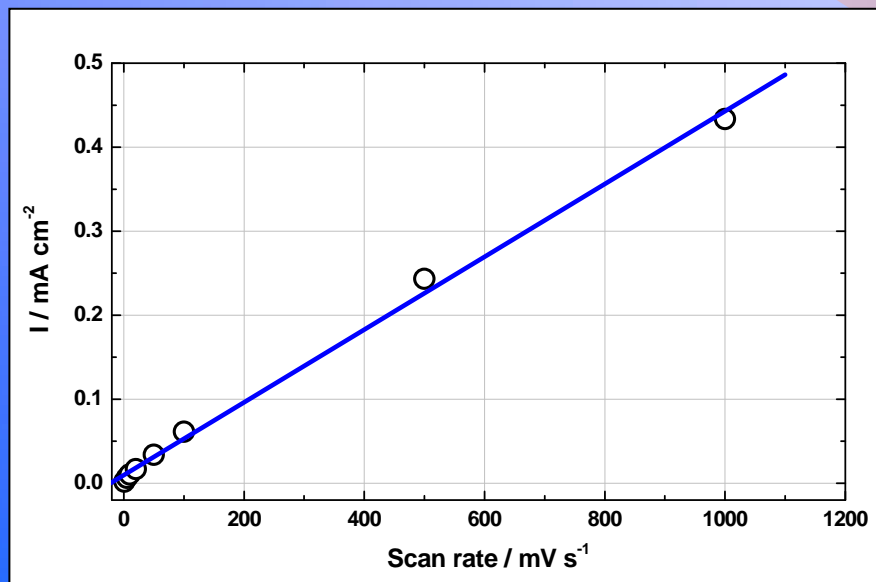


Carbonate de propylène / 1 M Et_4NBF_4 (boîte à gant)

Surface : 2.295 mm^2

➔ Comportement capacitif

➔ Fenêtre électrochimique : 2.5 V



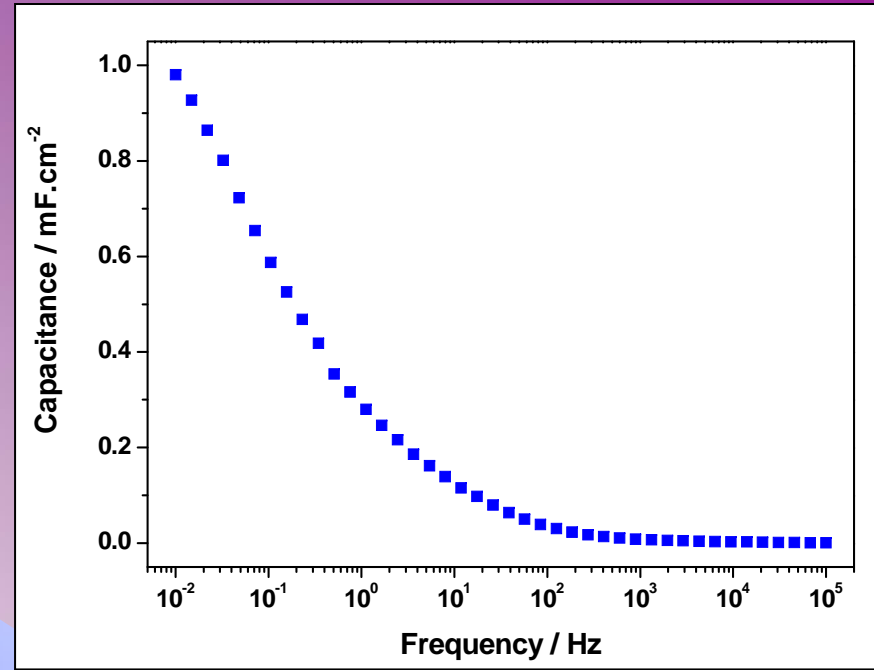
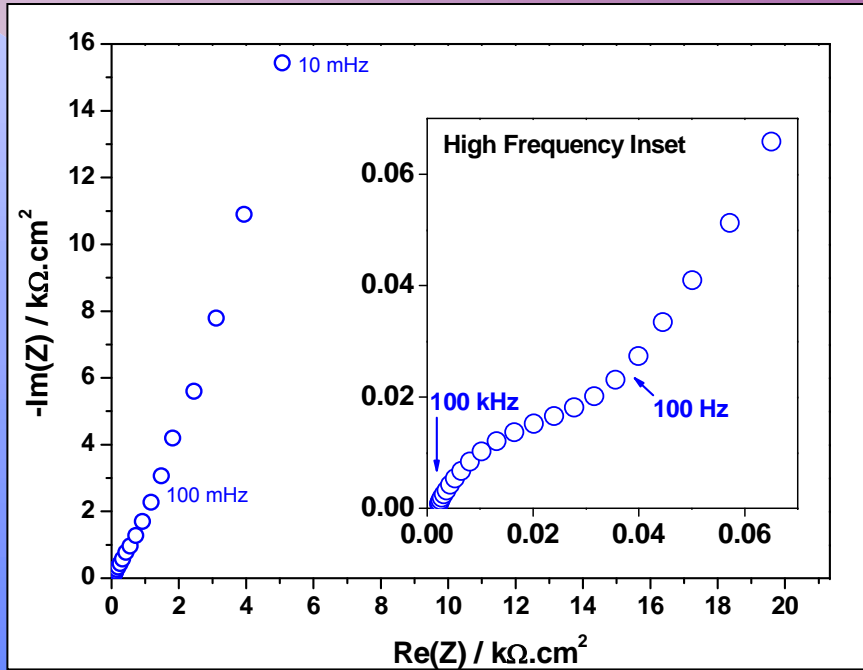
Capacité moyenne $C_{(\text{pente})} = 0.4 \text{ mF/cm}^2$

Max. Capacité max $C_{(1 \text{ mV/s})} = 2.1 \text{ mF/cm}^2$

Capacité composant: 1.6 – 2.7 F.cm^{-3}

Densité d'énergie max.: 6.6 mJ/cm^2

Analyse SIE



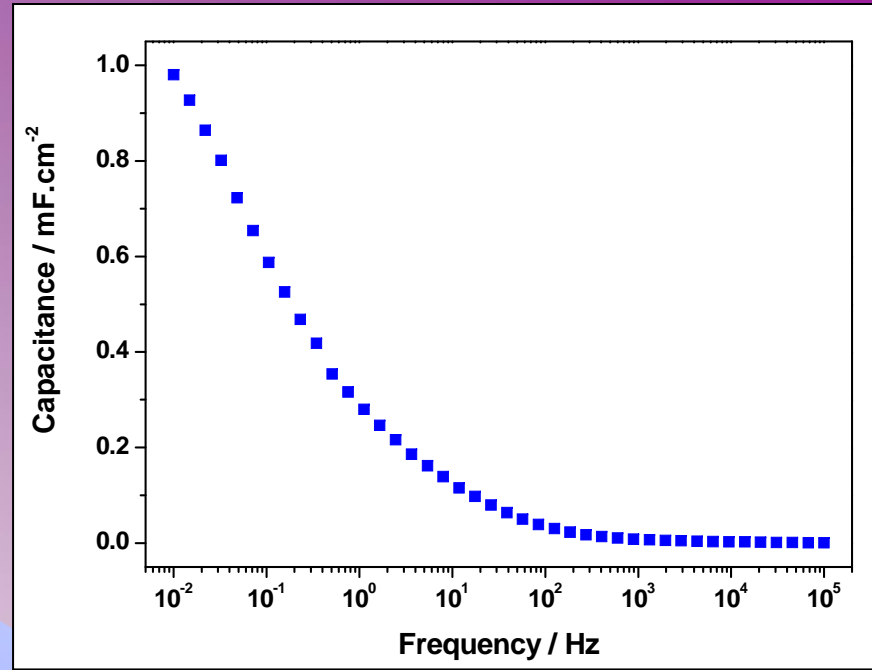
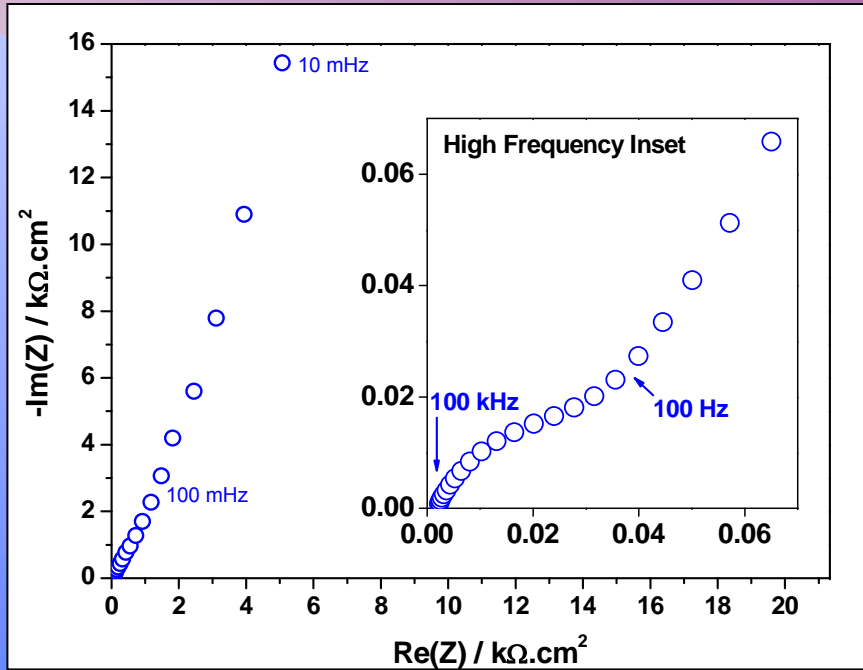
- 44.9 mW/cm²
- Comportement capacitif (100 Hz)
- Résistance de fuite

Capacité maximum obtenue pour des basses fréq.
 → Constante de relaxation τ_0 élevée

Origine
 (auto-décharge):

- Groupements fonctionnels de surface électroactifs
- Impuretés oxydables

Analyse SIE



- 44.9 mW/cm²
- Comportement capacitif (100 Hz)
- Résistance de fuite

Capacité maximum obtenue pour des basses fréq.
→ Constante de relaxation τ_0 élevée

D. Pech et al., Journal of Power Sources 195 (2010) 1266.

Conclusion et perspectives

Technologie prometteuse pour l'autonomie énergétique des systèmes répartis

Perspectives :

- Influence de la configuration / géométrie des micro-dispositifs
- Exploitation de différentes technologies de dépôt (jet d'encre, sérigraphie, couches minces...)
- Intégration de nouveaux matériaux
- Encapsulation
- Ajout d'une contribution faradique (greffage électrochimique)
- Intégration de matériaux pseudo-capacitifs
- Mise en place de dispositifs 'hybrides' (batterie / supercondensateur)

Objectif : accroître les densités d'énergie

Merci pour votre attention

Questions ?