

# Les piles à combustible microbiennes : vers une conversion optimale des déchets organiques en électricité

Prof. Lyne Woodward

*Journée de la recherche du fonds de recherche – Nature  
et technologies*

*Verte, durable et renouvelable : les enjeux actuels de  
l'énergie*

*10 avril 2017, École de technologie  
supérieure, Montréal*



Le génie pour l'industrie

**Fonds de recherche  
Nature et  
technologies**

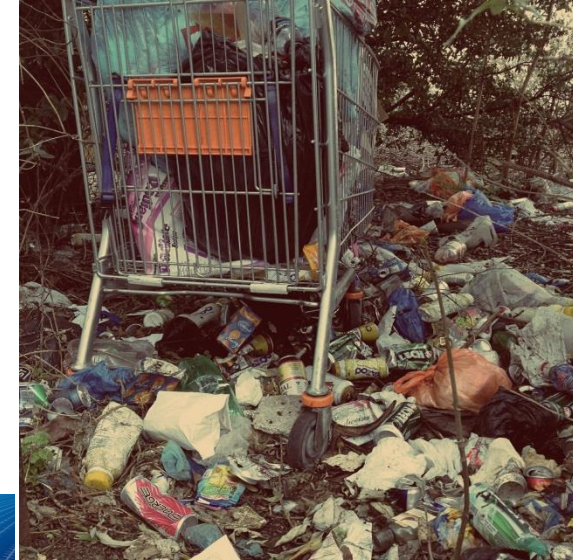
**Québec** 

**GRÉPCI**

Le Groupe de recherche  
en électronique de puissance  
et commande industrielle

# Contexte : quelques enjeux d'actualité

- ▶ Prolifération des capteurs
- ▶ Besoin accru en énergie
- ▶ Autonomie des capteurs
- ▶ Valorisation des déchets



# Les piles à combustible microbiennes



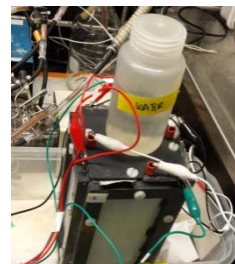
<http://www.engr.psu.edu/>



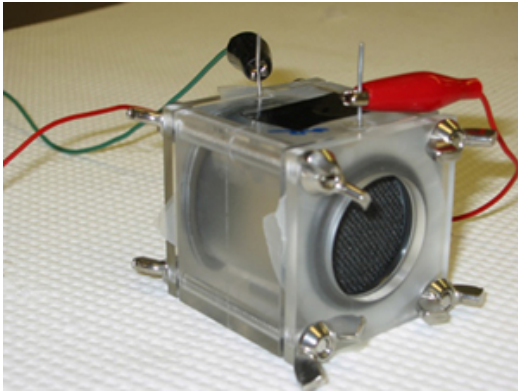
Piles à combustible  
microbiennes à  
substrat liquide



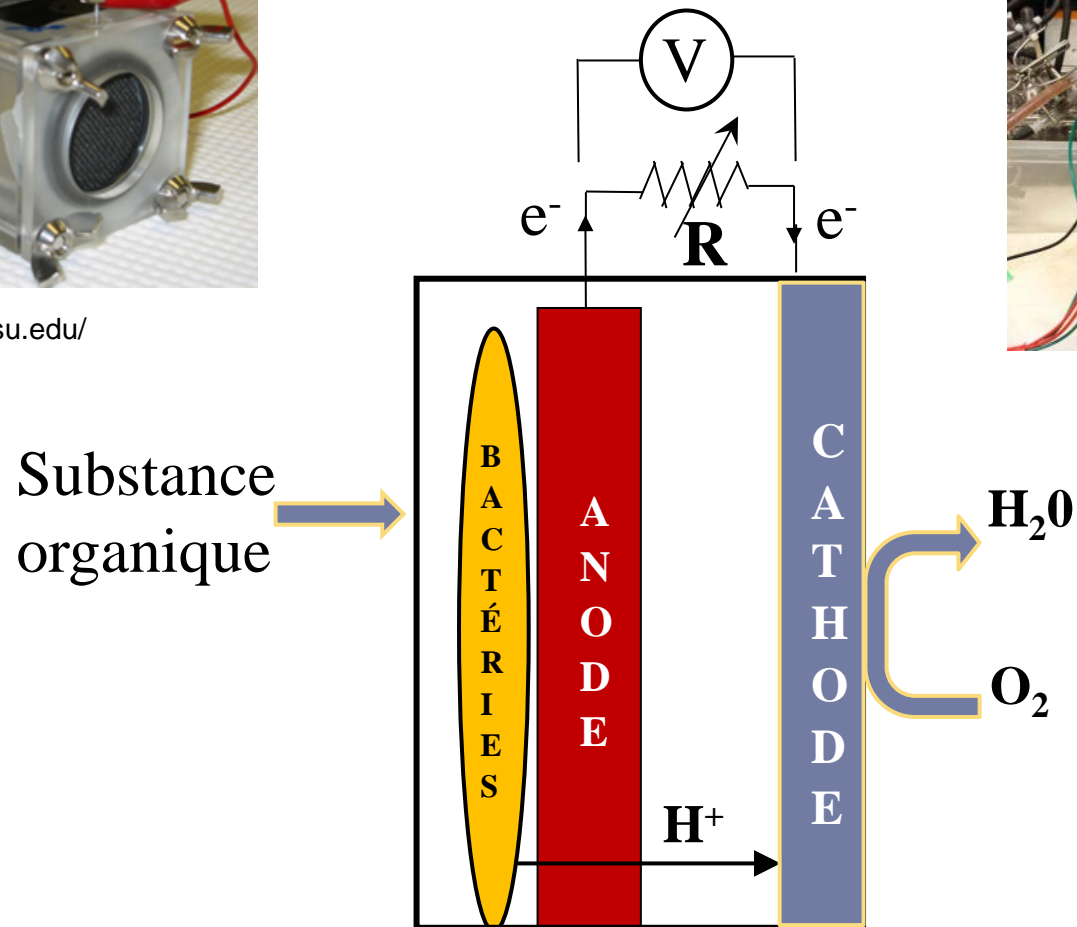
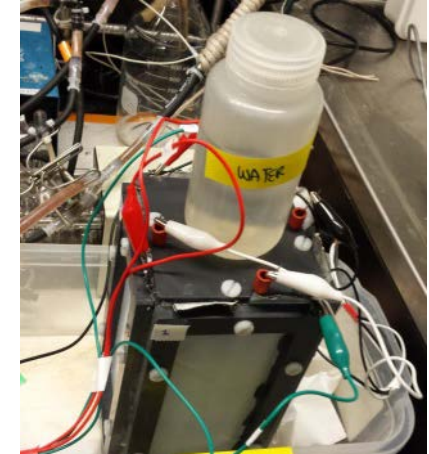
Piles à combustible  
microbiennes à  
substrat solide



# Les piles à combustible microbiennes

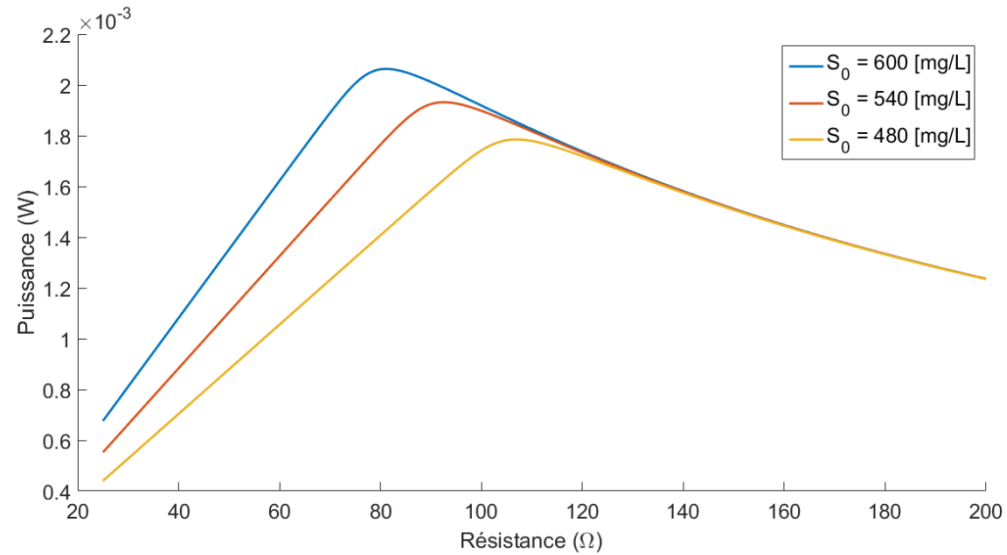


<http://www.engr.psu.edu/>



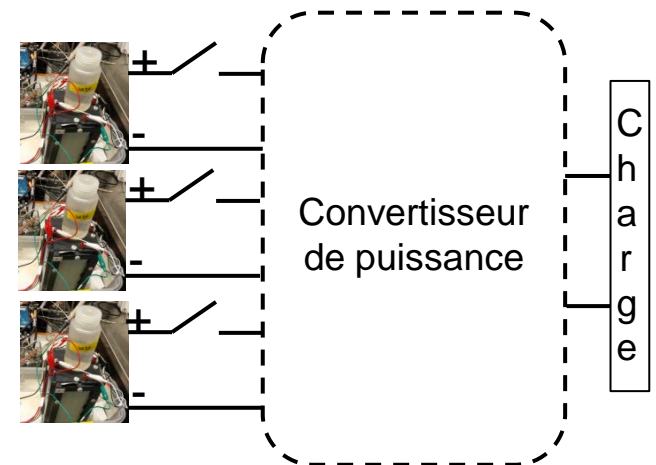
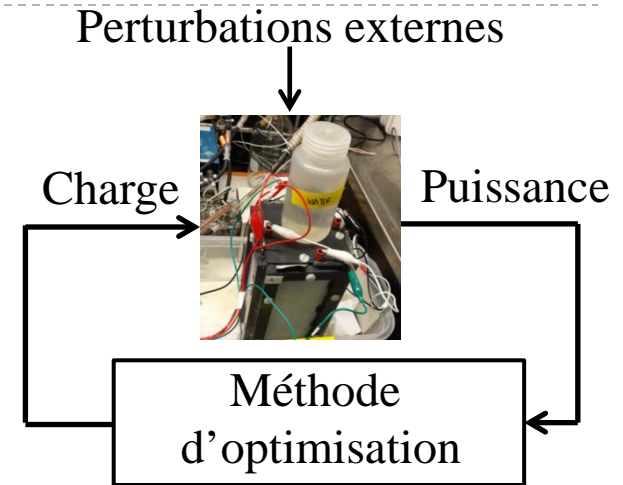
# Problématique

- ▶ Faible densité de puissance électrique ( $\sim \text{mWL}^{-1}$ )
- ▶ Procédé dynamique complexe et lent
- ▶ Puissance maximale influencée par plusieurs perturbations (pH, température, concentration de substrat)
- ▶ Modèles fondamentaux incertains dans certaines conditions opératoires



# Objectifs

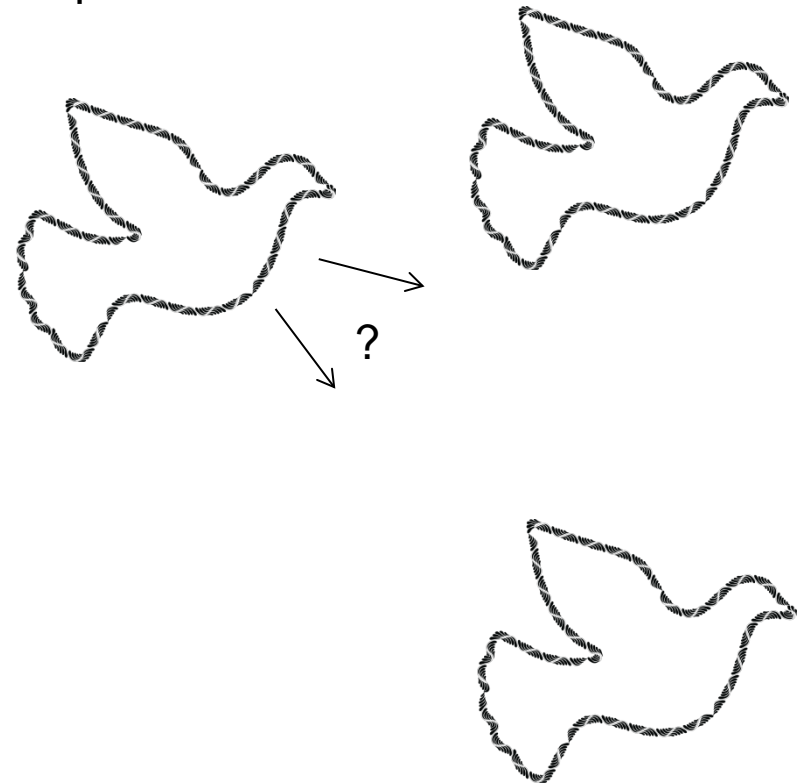
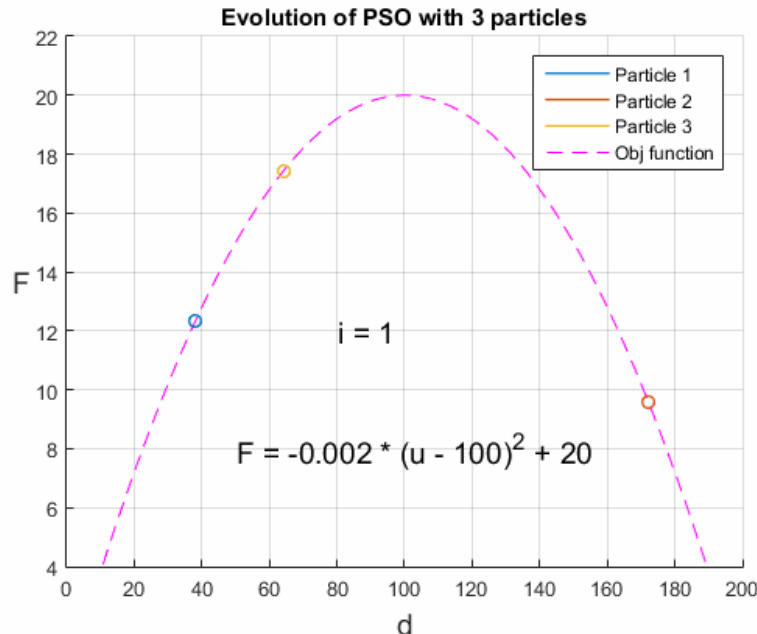
- ▶ Développement de méthodes d'optimisation en temps réel
  - ▶ Converger rapidement
  - ▶ Utiliser les mesures disponibles (plutôt que des modèles fondamentaux)
- ▶ Conversion efficace de l'énergie
  - ▶ Minimiser les pertes
  - ▶ Élever la tension à un niveau acceptable
  - ▶ Garantir la survie des piles à long terme



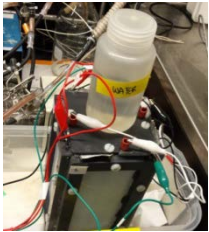
# Optimisation en temps réel par essaim particulière (PSO)



- Inertie (tendance à conserver sa vitesse)
- Aspect cognitif : meilleure position de chaque oiseau jusqu'à maintenant
- Aspect social : meilleure position obtenue au sein de l'essaim jusqu'à présent



# Optimisation en temps réel par essaim particululaire (OEP) : 1 seule pile



Itération k-2: particule 1

$P_1 = ?$

Itération k-1: particule 2

$P_2 = ?$

Itération k: particule 3

$P_3 = ?$

$P_{best}$  : meilleure position de chaque particule

$G_{best}$  : meilleure position de toutes les particules

Après N itérations, calcul des prochaines positions des N particules :

Particule 1:  $d(k + 1) = d(k - 2)$

$+ \omega * v_1(k - 2)$

$+ c_1 * rand_1 * (P_{best} - d(k - 2))$

$+ c_2 * rand_2 * (G_{best} - d(k - 2))$

Position actuelle

Inertie

Paramètre cognitif

Paramètre social

- N itérations pour N particules
- N temps d'attente pour atteindre le régime permanent

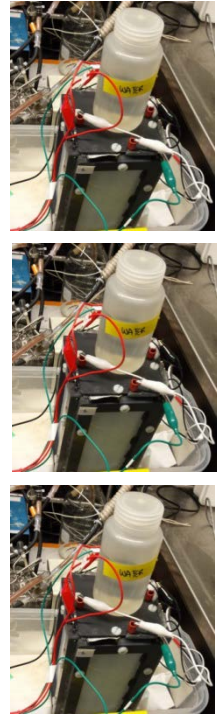
# Optimisation en temps réel par essaim particulare (OEP) : plusieurs piles

## *Traitement séquentiel*

- Le nombre de particules est indépendant du nombre de piles
- N particules nécessitent N itérations à chaque pas d'optimisation

## *Traitement parallèle*

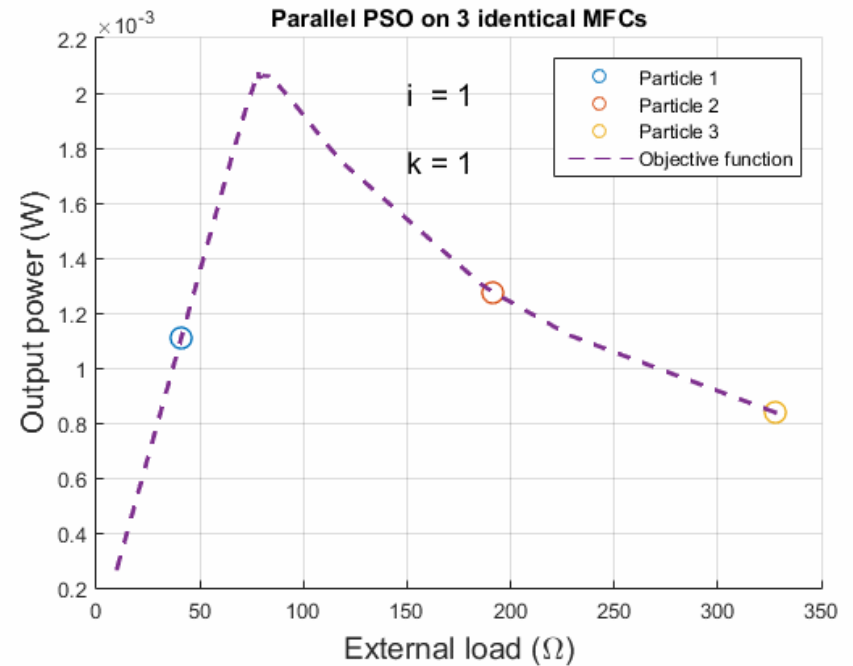
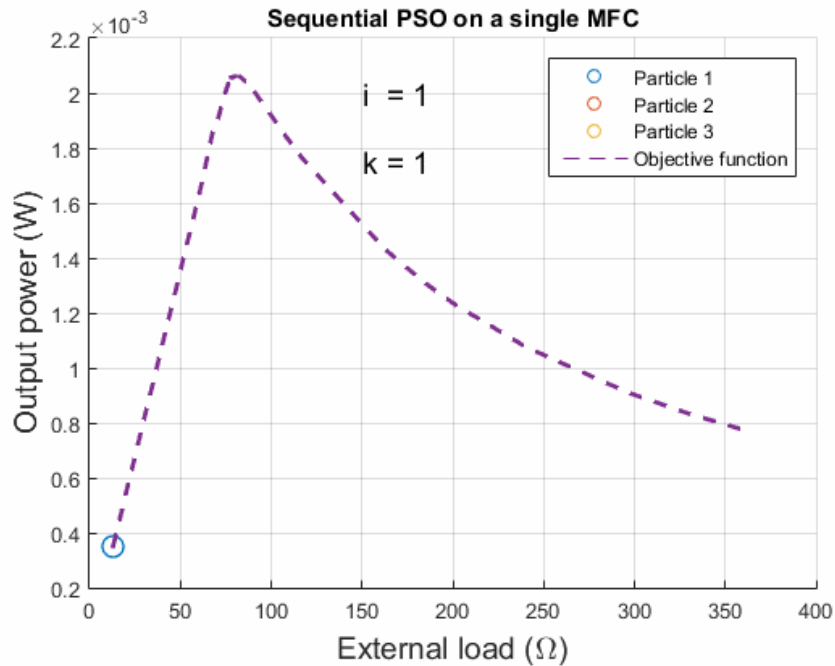
- N particules correspondent aux N piles microbiennes
- Hypothèse: les piles sont identiques
- Une seule itération à chaque pas d'optimisation



L'approche parallèle permet de réduire le temps de convergence et ne requiert aucun modèle fondamental de la pile

# Approche séquentielle

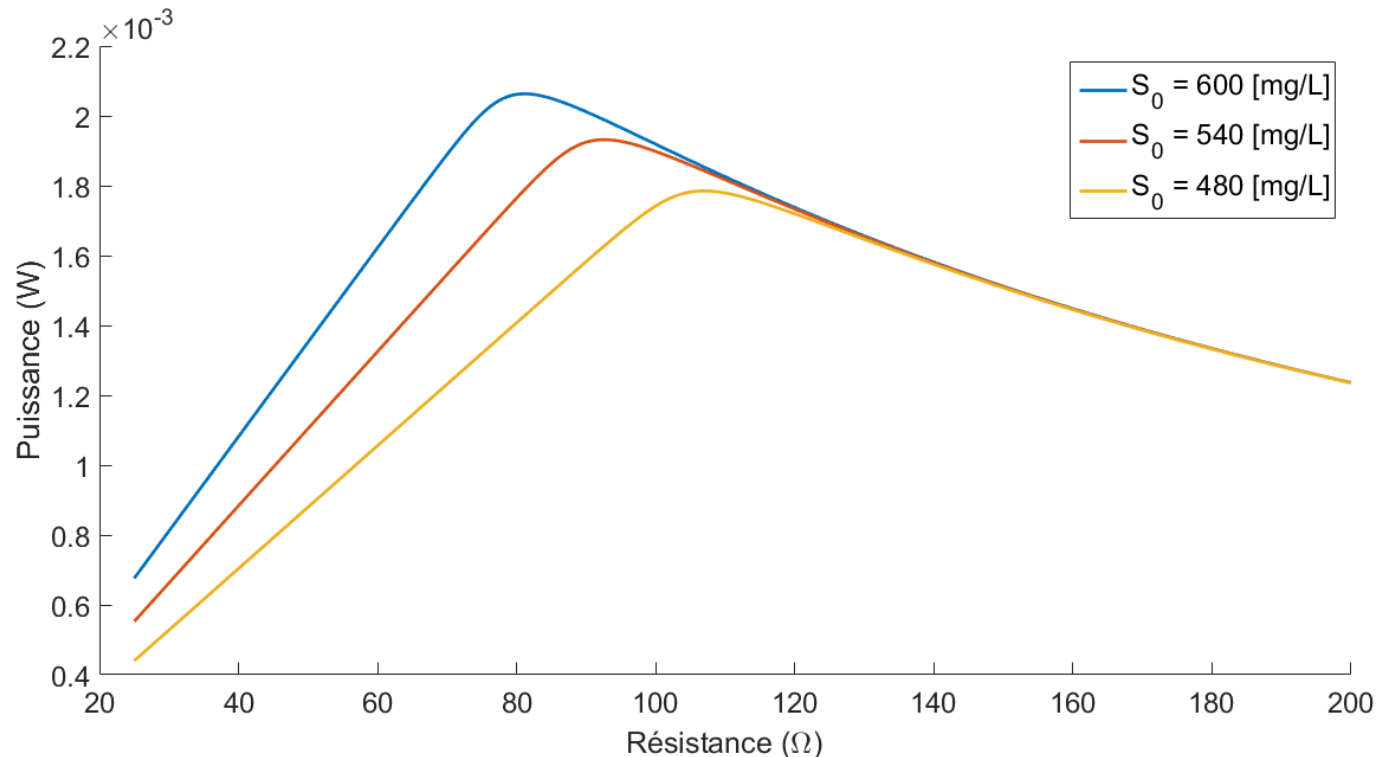
# Approche parallèle



**n particules => n fois plus rapide!**

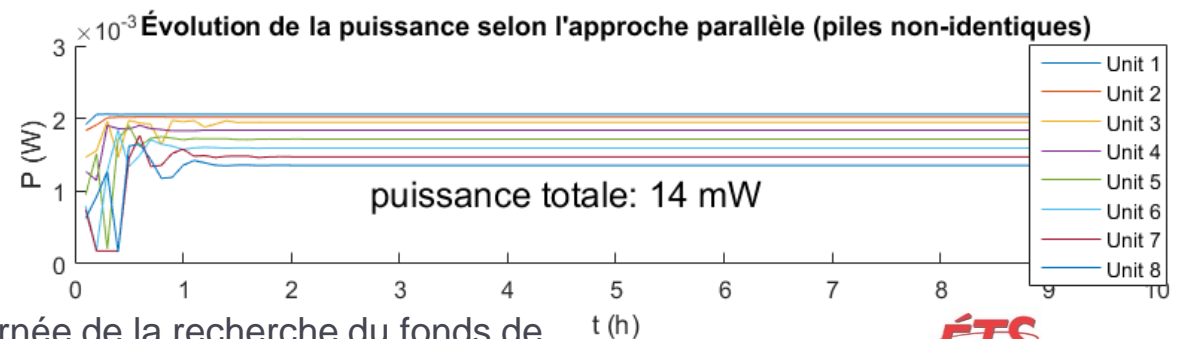
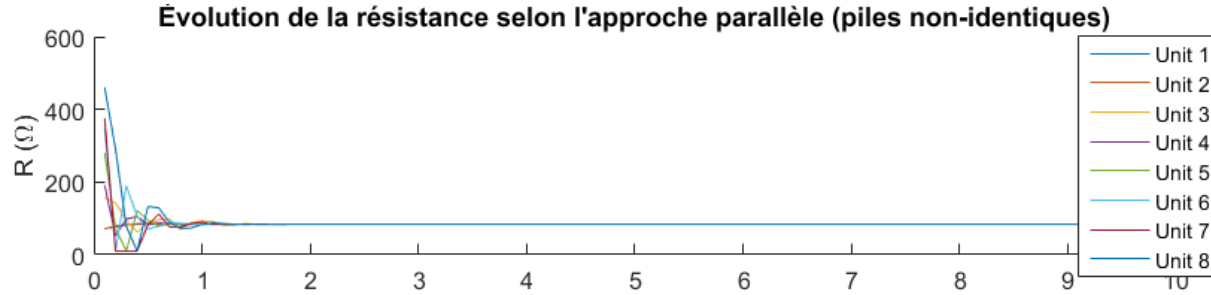
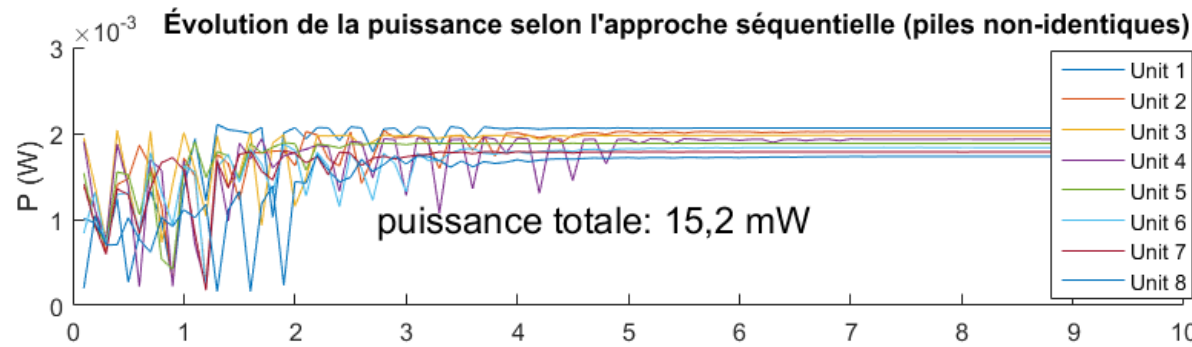
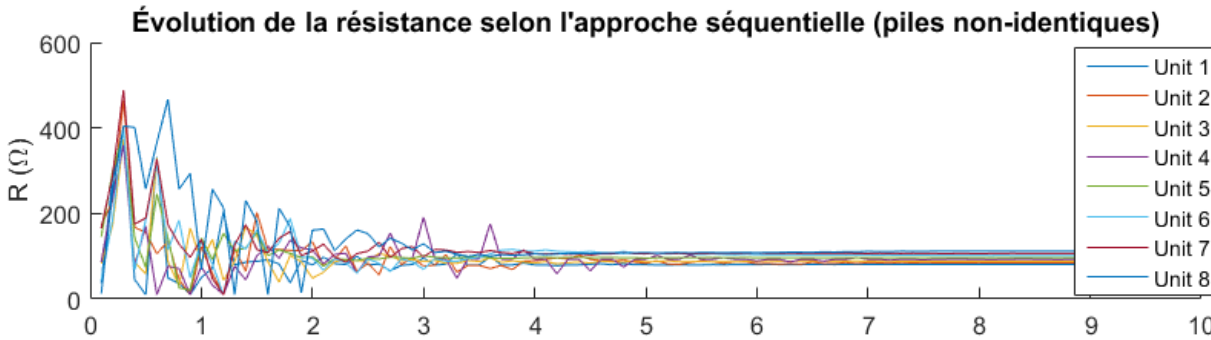
# Optimisation en temps réel par essaim particulière (OEP) : traitement parallèle

- ▶ Les piles ont des caractéristiques semblables mais ne sont généralement pas identiques



- Les piles ont des caractéristiques semblables mais ne sont pas identiques
- Le gain en temps est conservé
- Perte en précision

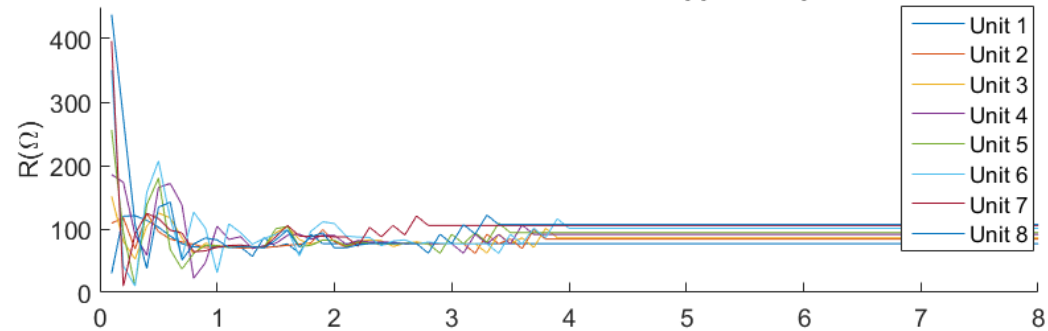
8 piles => 8X plus rapide  
 Mais 92% de la puissance optimale seulement



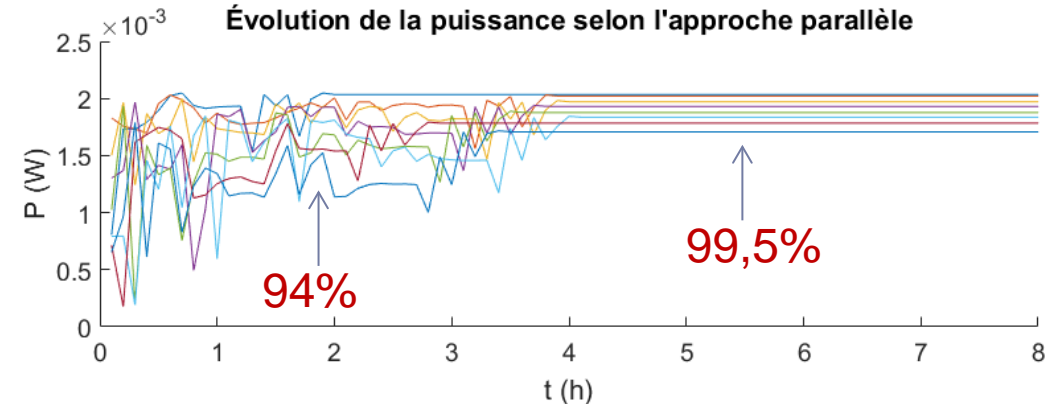
# Amélioration de l'approche parallèle

- ▶ Lorsque les particules semblables convergent à la meilleure position, elles explorent leurs environs respectifs
- ▶ La particule validant sa position optimale demeure en place
- ▶ Les autres particules quittent l'essaim original et raffinent leur position en appliquant le PSO séquentiel
- ▶ Plus les particules sont semblables, plus grand est le gain en vitesse

Évolution de la résistance selon l'approche parallèle

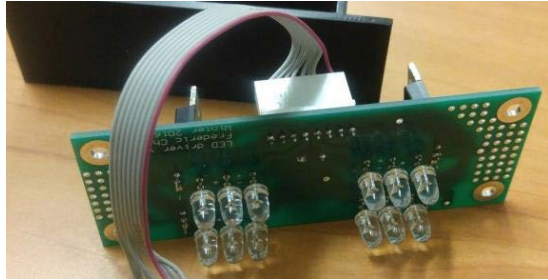


Évolution de la puissance selon l'approche parallèle

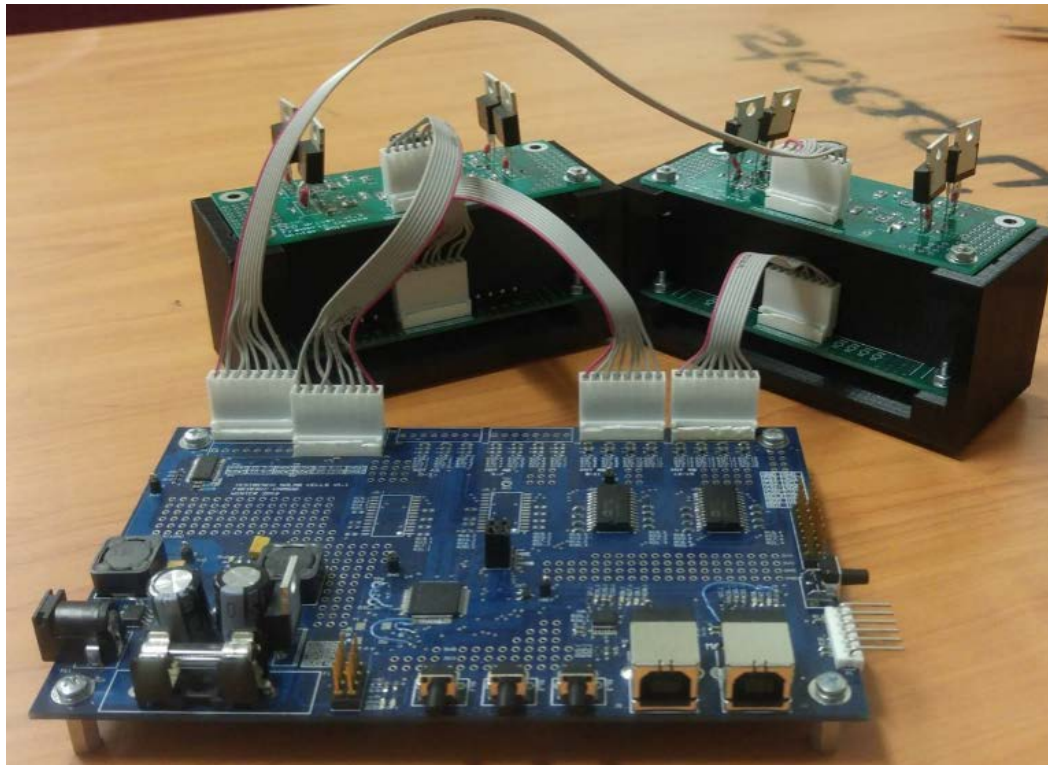


94% de la puissance optimale en (~1.5h)  
99,5% de la puissance optimale après le raffinement (~4 h)

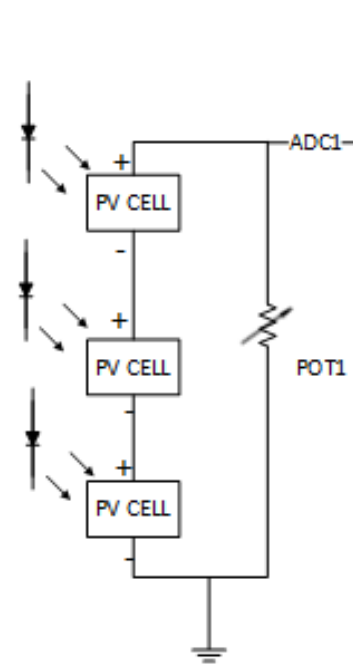
# Validation expérimentale, phase I : application à un système PV



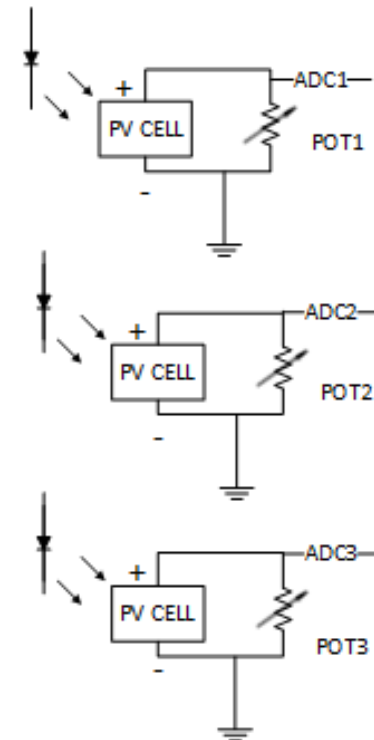
Frédéric Chassé, étudiant de maîtrise



Sequential PSO setup

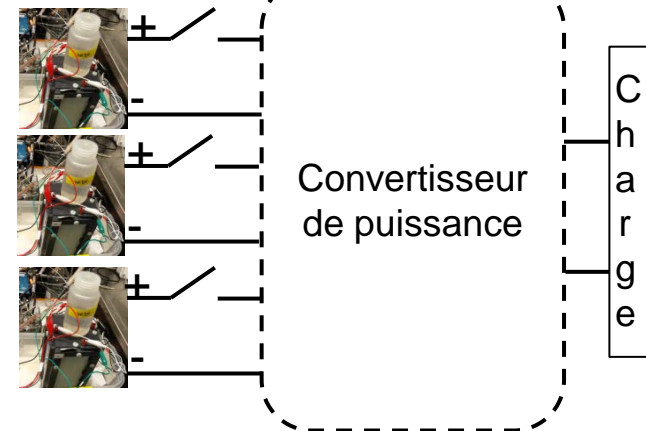
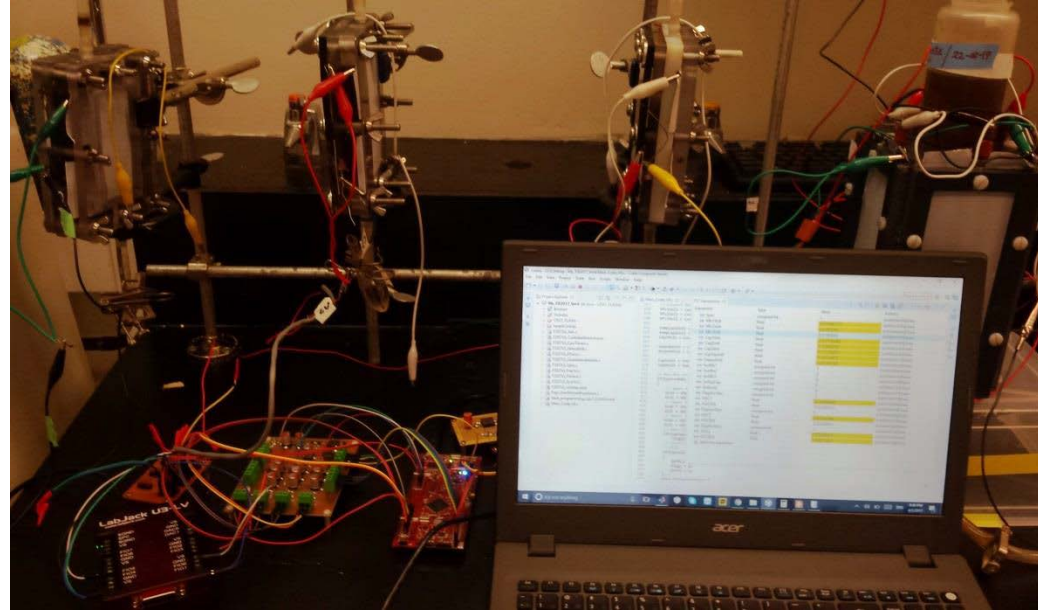


Parallel PSO setup



# Autres travaux en cours pour une conversion optimale des déchets organiques

- ▶ Utilisation d'un modèle de réseaux de neurones pour améliorer une boucle de commande extrémale (Anouer Kébir, doctorat)
  - ▶ Anticipation de la variation de substrat d'alimentation
  - ▶ Adaptation de l'amplitude de la perturbation
- ▶ Convertisseur adapté pour plusieurs piles (Cong-Long Nguyen, post-doc)
- ▶ Étude des piles à substrat solide (Khaoula Mliki, doctorat)



# Conclusion

---

- ▶ Le développement de convertisseurs efficaces et adaptés aux piles microbiennes et d'algorithmes simples (sans modèle) est un pas vers la conception de systèmes autonomes
- ▶ Les performances électriques des piles peuvent servir d'indicateurs de la qualité du substrat d'alimentation (matières organiques)
- ▶ Les piles microbiennes pourraient être utilisées comme biocapteurs afin d'acheminer des données environnementales à partir de régions éloignées et non-desservies par d'autres sources d'énergie.

**Fonds de recherche  
Nature et  
technologies**

**Québec** 



*Institut de recherche  
en biotechnologie*

**MERCI!**



**NSERC  
CRSNG**

**ÉTS**

Le génie pour l'industrie