



# Laboratoire Ampère

## Unité Mixte de Recherche CNRS

Génie Électrique, Électromagnétisme, Automatique, Microbiologie Environnementale et Applications

# Optimisation de la récupération d'énergie dans les systèmes à base de rectenna

Projet ANR REC-EM

Salah-Eddine Adami

Christian Vollaire

François Costa

Bruno Allard



## ➤ Contexte

- ❑ Que-ce-que le grappillage d'énergie?
- ❑ Le grappillage de l'énergie RF
- ❑ L'adaptation MPPT

## ➤ Objectifs et stratégie

- ❑ Objectifs
- ❑ Difficultés et problèmes
- ❑ Stratégie et feuille de route

## ➤ 1ère étape : Circuit de démarrage

- ❑ Etat de l'art et choix de la topologie
- ❑ Présentation du convertisseur auto-oscillant
- ❑ Quelques performances

## ➤ 2ème étape : Circuit principale

- ❑ Choix de l'algorithme MPPT et du convertisseur principale
- ❑ Présentation de la topologie du convertisseur principal
- ❑ Quelques performances

## ➤ Conclusion et perspectives

## ➤ **Contexte**

- Que-ce-que le grappillage d'énergie?
- Le grappillage de l'énergie RF
- L'adaptation MPPT

## ➤ **Objectifs et stratégie**

- Objectifs
- Difficultés et problèmes
- Stratégie et feuille de route

## ➤ **1ère étape : Circuit de démarrage**

- Etat de l'art et choix de la topologie
- Présentation du convertisseur auto-oscillant
- Quelques performances

## ➤ **2ème étape : Circuit principale**

- Choix de l'algorithme MPPT et du convertisseur principale
- Présentation de la topologie du convertisseur principal
- Quelques performances

## ➤ **Conclusion et perspectives**

## ➤ What?

- Collecting small amounts of energy from the environment

## ➤ How?

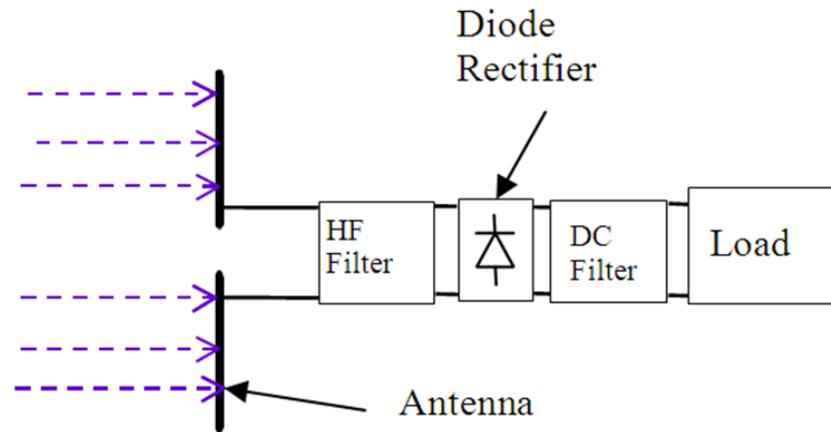
- Using special transducers
- Different sources: organic, solar, vibration, thermal, electrostatic, near-field electromagnetic, far-field electromagnetic (Radio-Frequency), etc.

## ➤ Why?

- Provide energy for low power autonomous circuits
- Typical application: Wireless sensor network (WSN)
  - Healthcare
  - Smart buildings
  - Logistics
  - Etc.

- **Rectenna: Rectifying Antenna**
- ➔ **RF/DC Conversion**
- **Diode-Based Rectifier : Schottky diode**

- ❑ Low threshold voltage (150 mV)
- ❑ Low junction capacitor (0.150 pF)
- ❑ RF signal frequency: 2.45 GHz



## HF Filter

- Impedance matching between antenna and rectifier for work freq.
- Blocks rectifier harmonics

## Diode-based Rectifier

- Series
- Shunt
- Series-shunt
- Voltage doubler
- Bridge

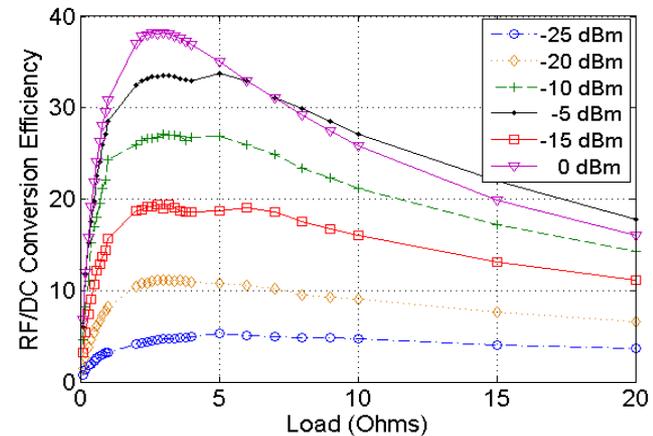
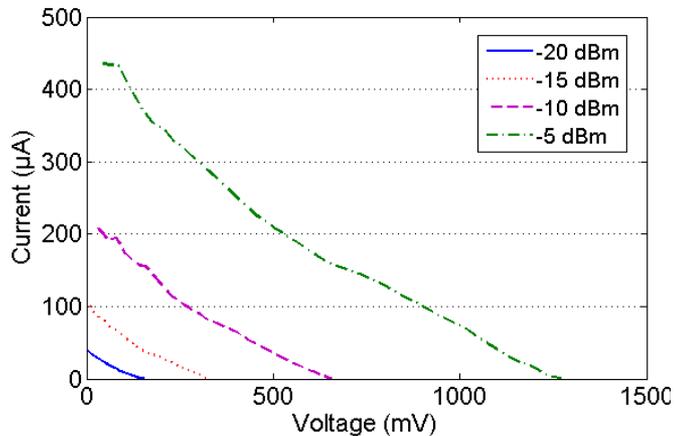
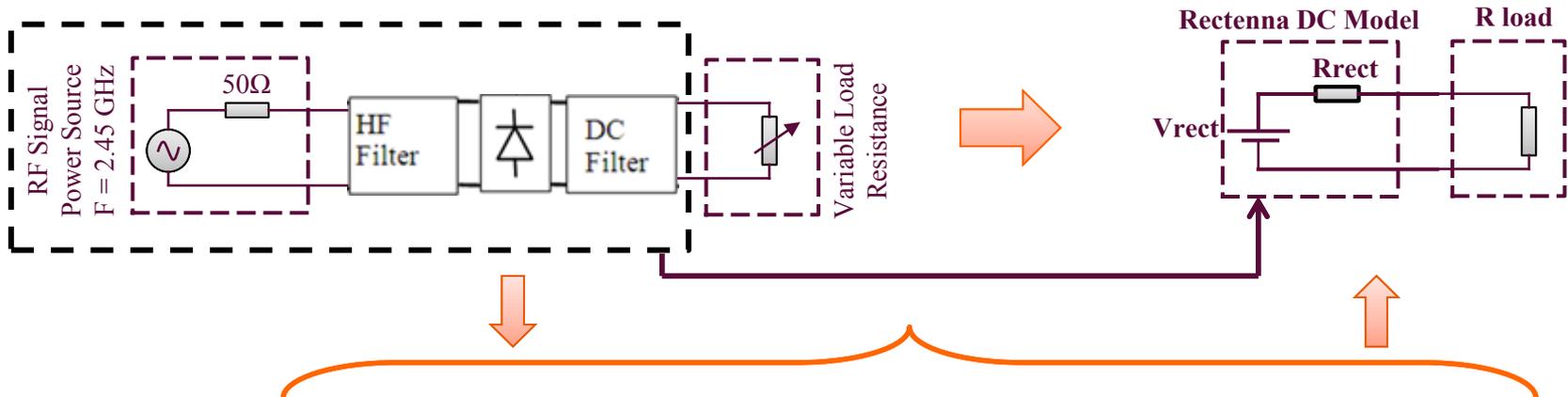
## LF Filter

- Cut HF harmonics
- Impedance matching for a nominal power level

- **Low-power Rectenna ➔ Series-mounted diode rectifier**

- ❑ Best compromise between output voltage level and conversion efficiency

## Rectenna Characterization



- ➔ Maximum Power Point Tracking (MPPT) : Impedance matching between the source and the load
- ➔ Extract the maximum available power for the source

## ➤ Contexte

- Que-ce-que le grappillage d'énergie?
- Le grappillage de l'énergie RF
- L'adaptation MPPT

## ➤ Objectifs et stratégie

- Objectifs
- Difficultés et problèmes
- Stratégie et feuille de route

## ➤ 1ère étape : Circuit de démarrage

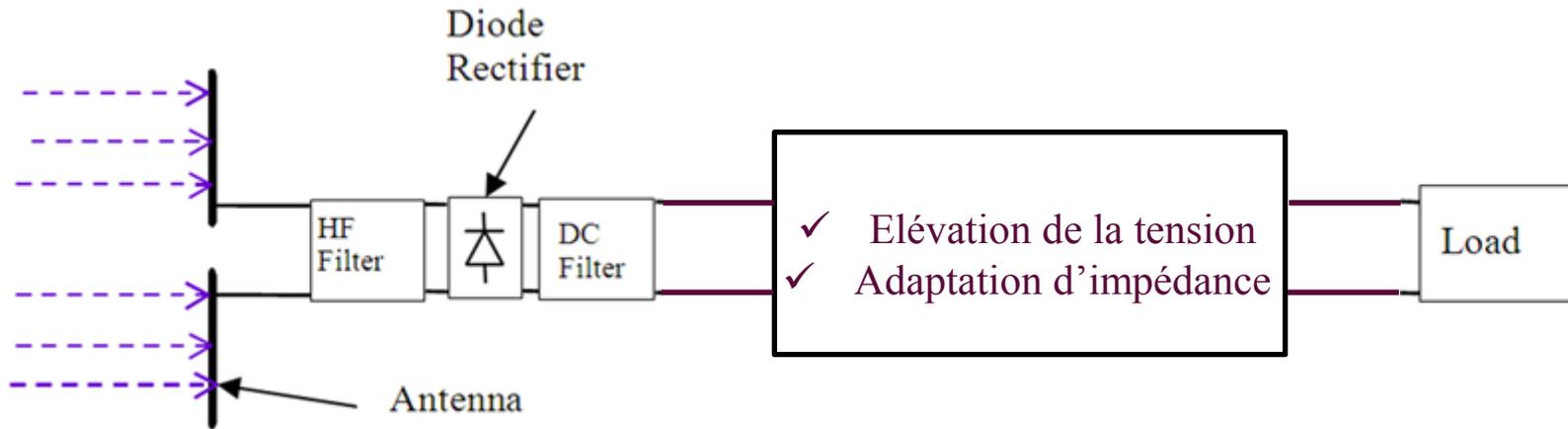
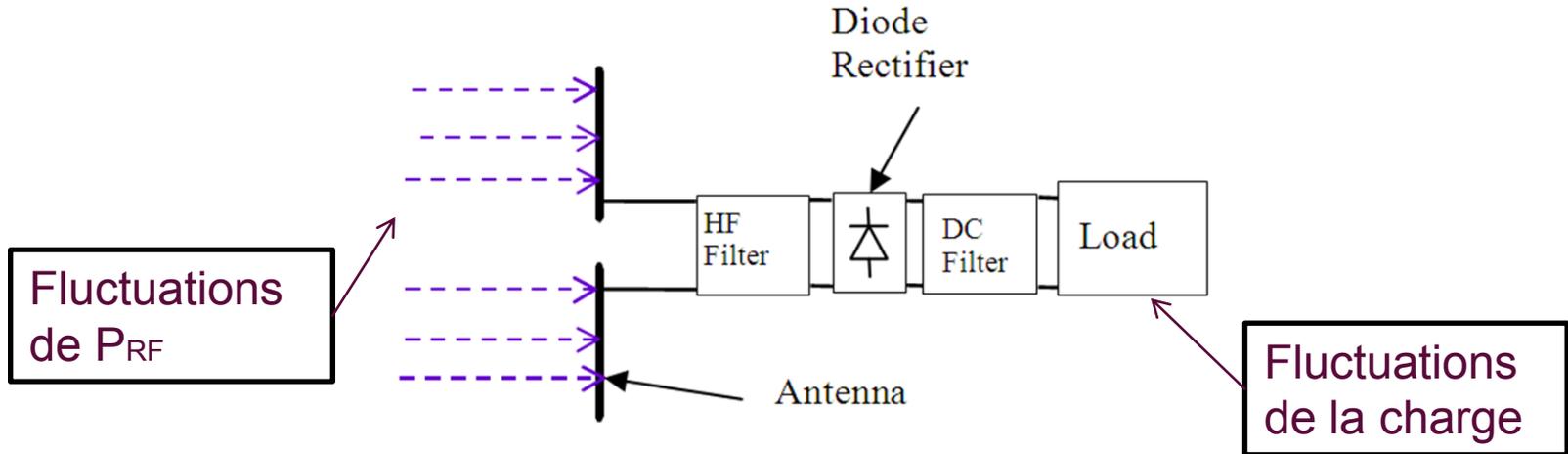
- Etat de l'art et choix de la topologie
- Présentation du convertisseur auto-oscillant
- Quelques performances

## ➤ 2ème étape : Circuit principale

- Choix de l'algorithme MPPT et du convertisseur principale
- Présentation de la topologie du convertisseur principal
- Quelques performances

## ➤ Conclusion et perspectives

# Objectif : circuit d'interfaçage entre la rectenna et la charge



## ➤ Issues with EH systems

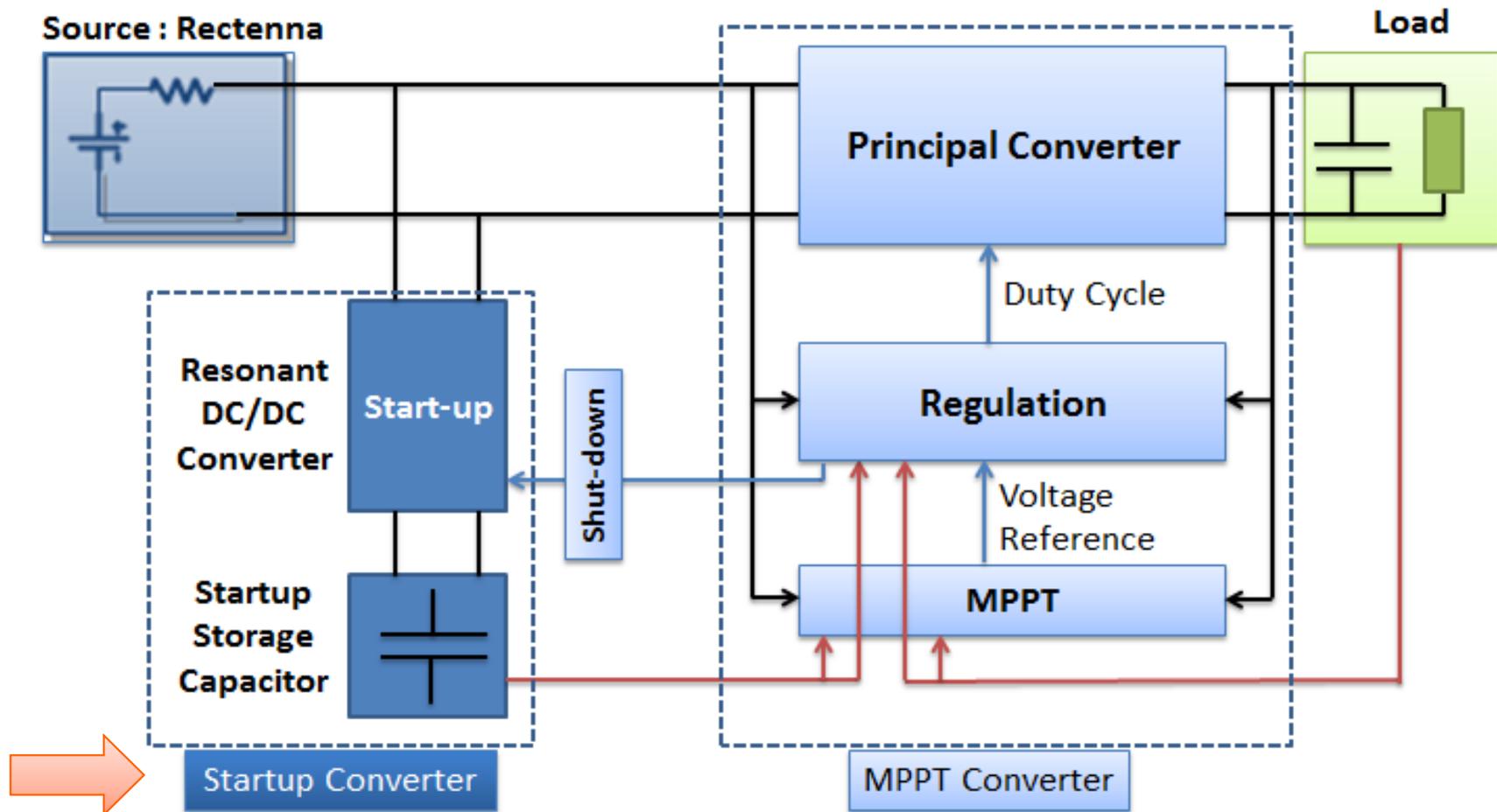
- Low available power:  $<1\text{mW}$
- Low voltage:  $<1\text{V}$

## ➤ Solutions

1. Standard DC/DC converter → External start-up assistance : battery, pre-charged capacitor, mechanical switch, etc.
2. Resonant DC/DC converter → No external start-up assistance : Self-powered

## ➤ Self-powered systems are more interesting:

- Non-regulated available energy → bad battery health
- No maintenance and theoretical infinite life time
- System sizing optimization



MPPT: Maximum Power Point Tracking

## ➤ Contexte

- Que-ce-que le grappillage d'énergie?
- Le grappillage de l'énergie RF
- L'adaptation MPPT

## ➤ Objectifs et stratégie

- Objectifs
- Difficultés et problèmes
- Stratégie et feuille de route

## ➤ 1ère étape : Circuit de démarrage

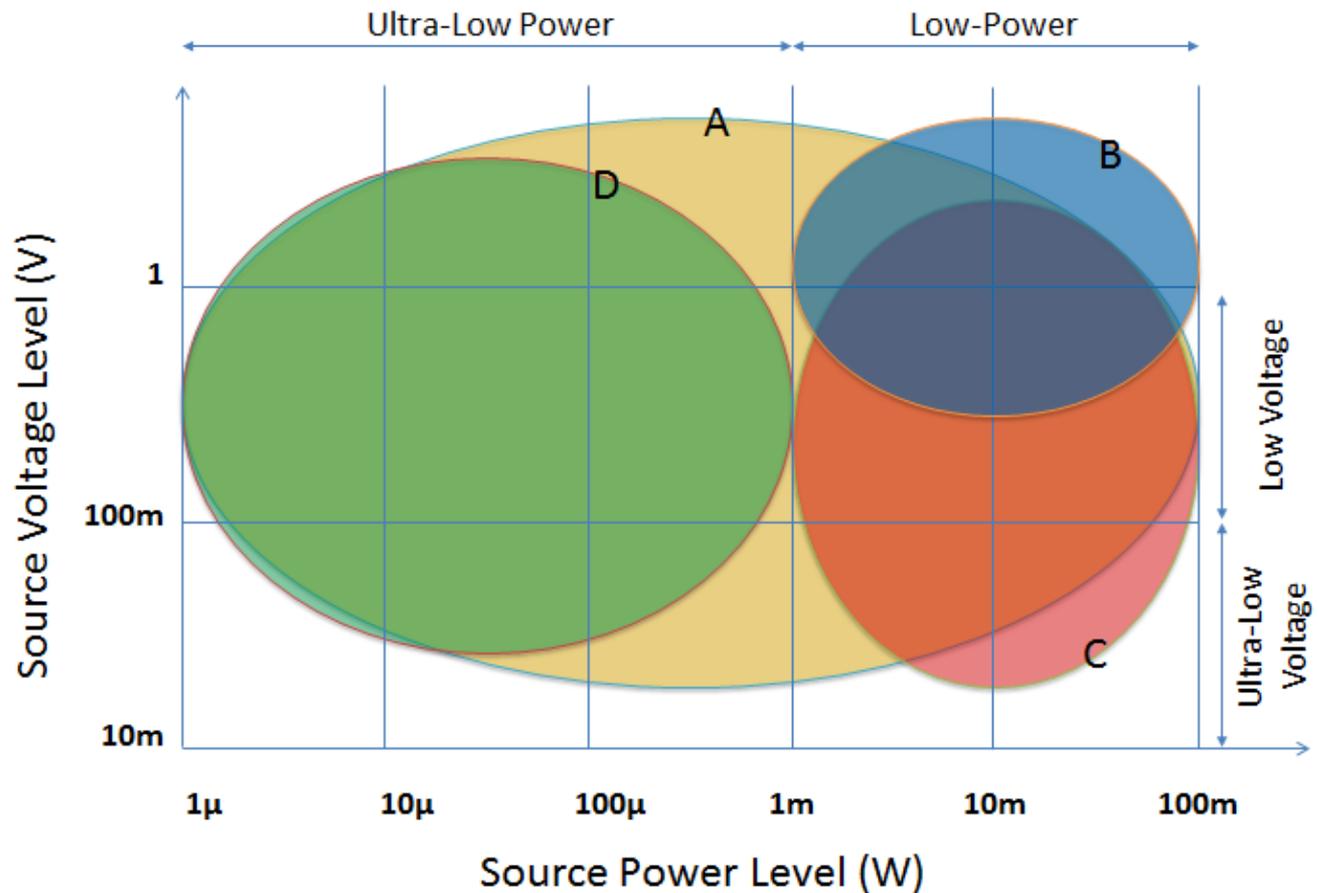
- Etat de l'art et choix de la topologie
- Présentation du convertisseur auto-oscillant
- Quelques performances

## ➤ 2ème étape : Circuit principale

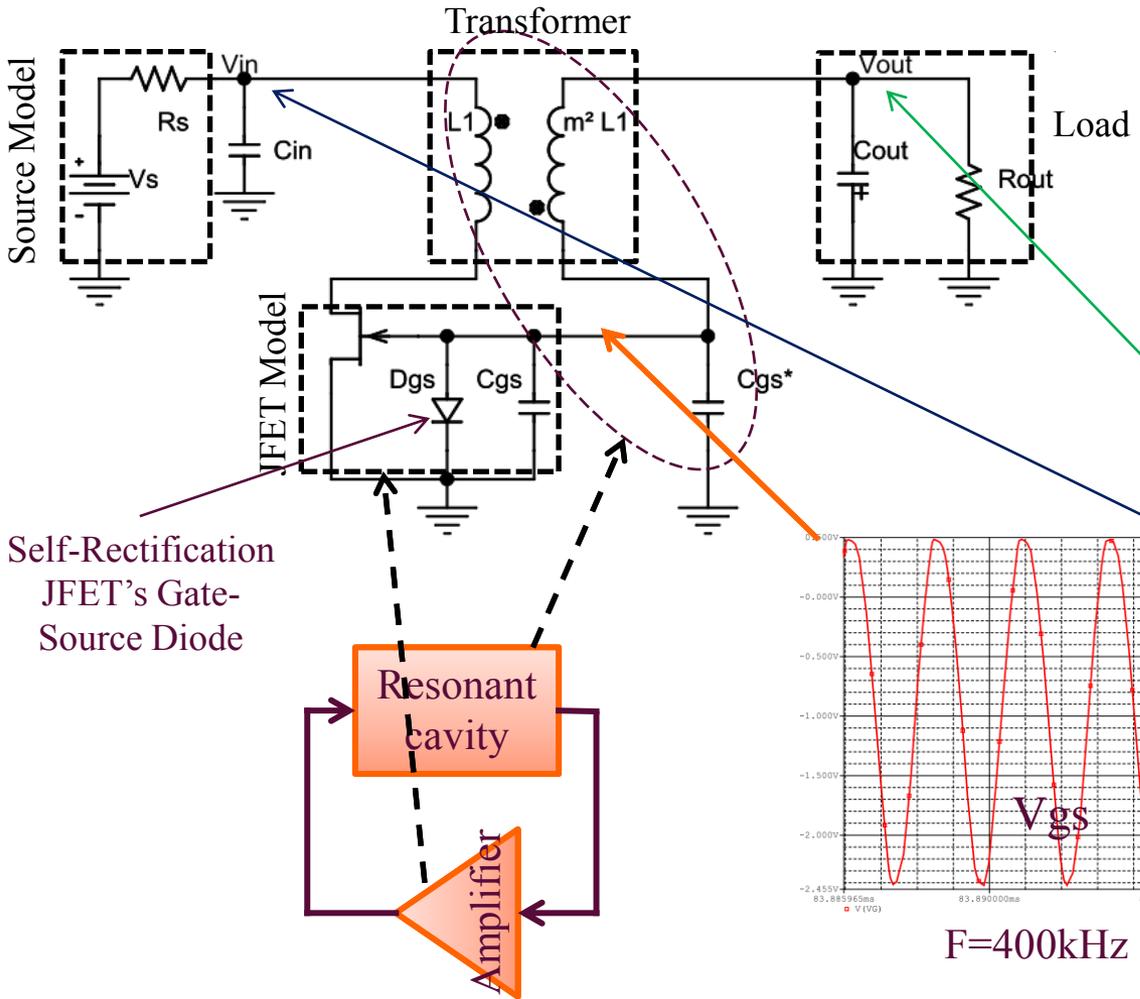
- Choix de l'algorithme MPPT et du convertisseur principale
- Présentation de la topologie du convertisseur principal
- Quelques performances

## ➤ Conclusion et perspectives

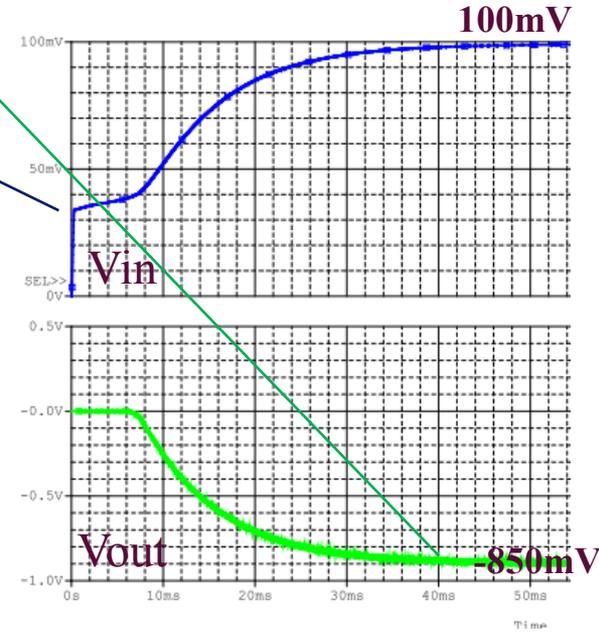
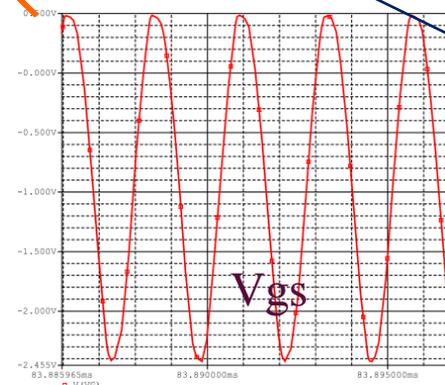
# State-of-the-Art of Low Power and Low Voltage DC/DC Converters



Battery-Powered Converters		Battery-less Converters	
A	Wide range of input voltage and power	B	Special low voltage integrated circuit based on: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sub-threshold CMOS design</li> <li>• Silicon-On-Insulator (SOI) technology</li> </ul>
		C	Classical Armstrong-oscillator-based converters (ultra-low voltage)
		D	Novel Armstrong-oscillator-based converter (ultra-low power) [this work]



1. Oscillator
  - JFET
  - Resonant cavity
2. Voltage Stepping-up
  - Transformer
3. Rectifier
  - Gate-source diode

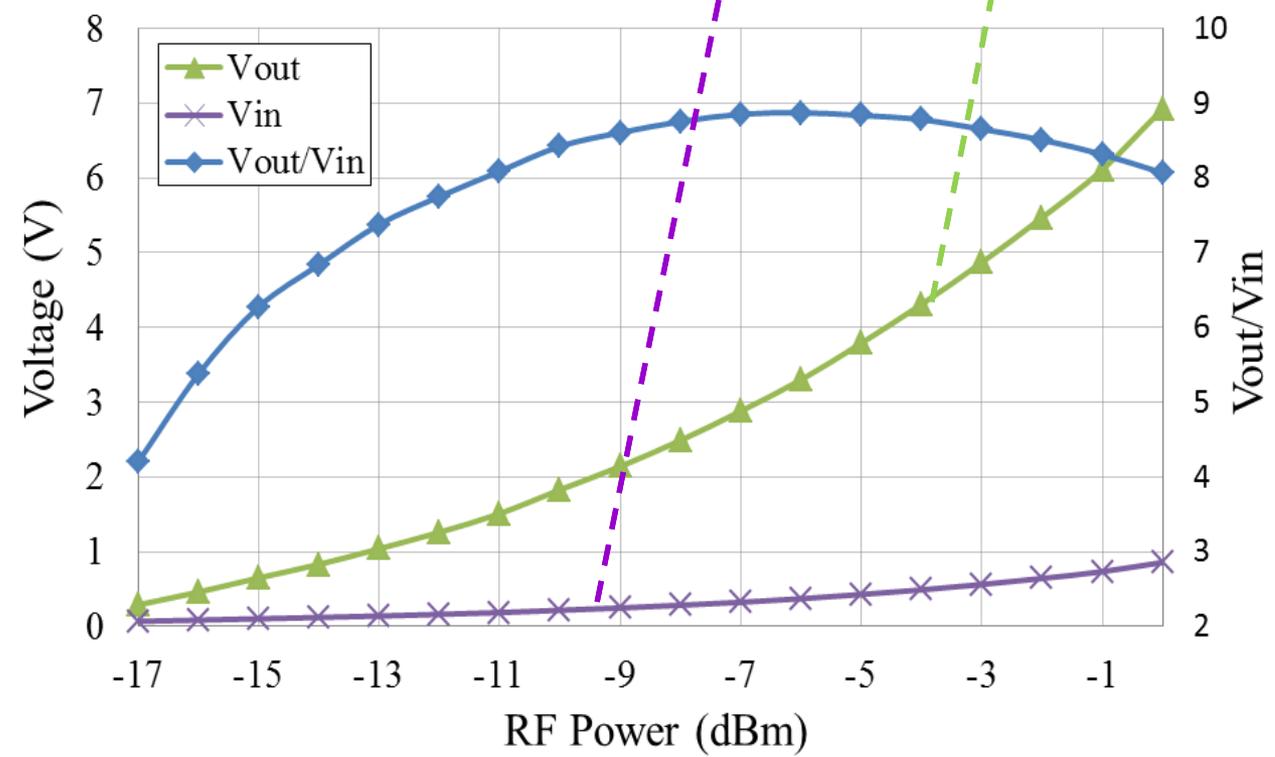
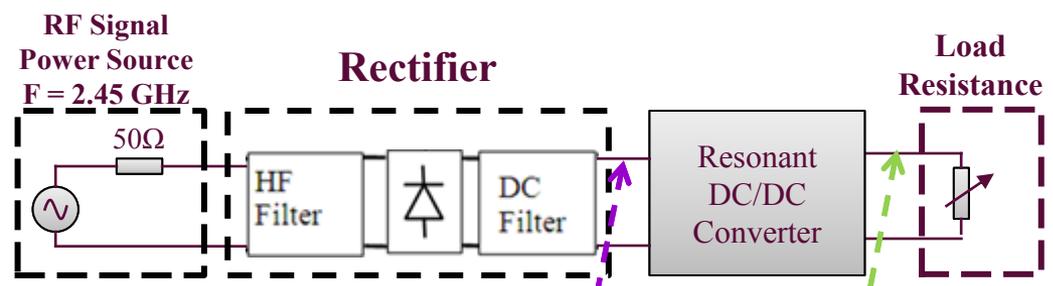




# Resonant Converter Associated with a Low Power Rectenna

➤ Experimental test

➤ Output Voltage  
➤ Step-up Ratio



## ➤ Contexte

- Que-ce-que le grappillage d'énergie?
- Le grappillage de l'énergie RF
- L'adaptation MPPT

## ➤ Objectifs et stratégie

- Objectifs
- Difficultés et problèmes
- Stratégie et feuille de route

## ➤ 1ère étape : Circuit de démarrage

- Etat de l'art et choix de la topologie
- Présentation du convertisseur auto-oscillant
- Quelques performances

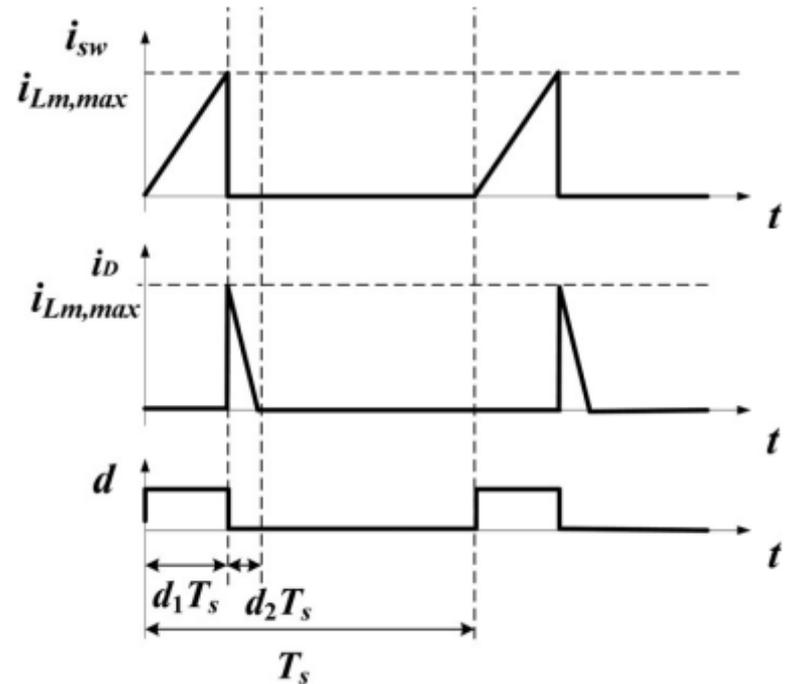
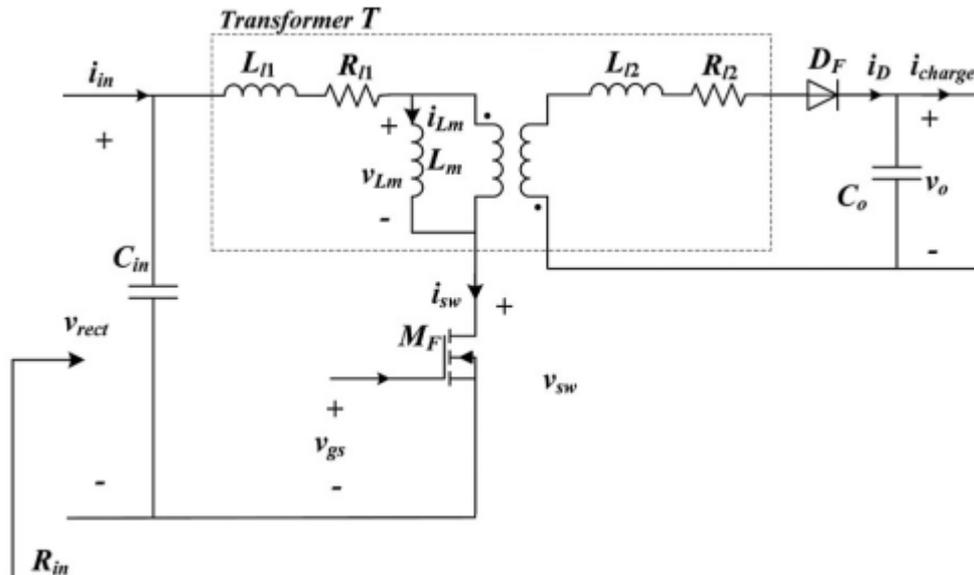
## ➤ 2ème étape : Circuit principale

- Choix de l'algorithme MPPT et du convertisseur principale
- Présentation de la topologie du convertisseur principal
- Quelques performances

## ➤ Conclusion et perspectives

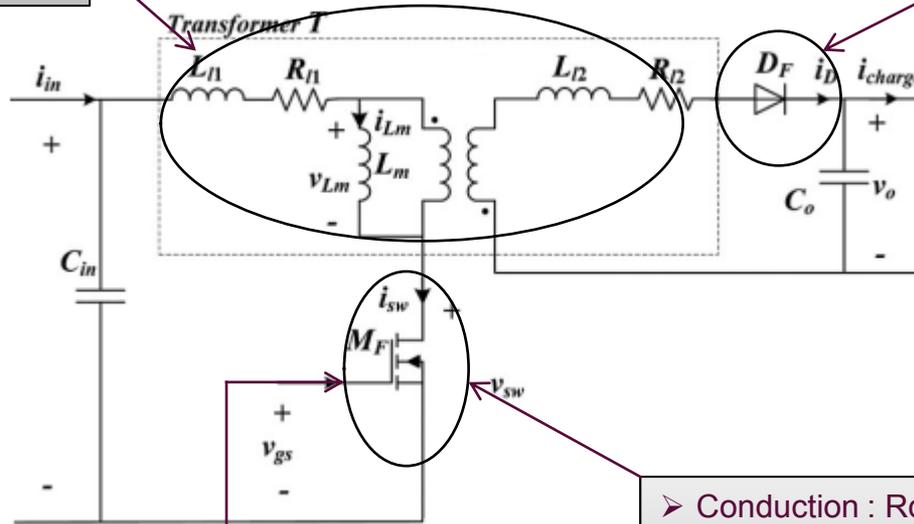
# Convertisseur Flyback en DCM

- **DCM : Discontinuous Conduction Mode**
- **Input Converter impedance is independent of the output load conditions in DCM**



$$R_{in} = \frac{v_{rect}}{\frac{1}{T_s} \int_0^{d_1 T_s} i_{Lm} dt} = \frac{2L_m}{d_1^2 T_s}$$

- Conduction :  $R_{l1}$  et  $R_{l2}$
- Fuites : Couplage imparfait



- Conduction : Tension de seuil + résistance de la jonction
- Commutation : Capacité de jonction

Vstartup

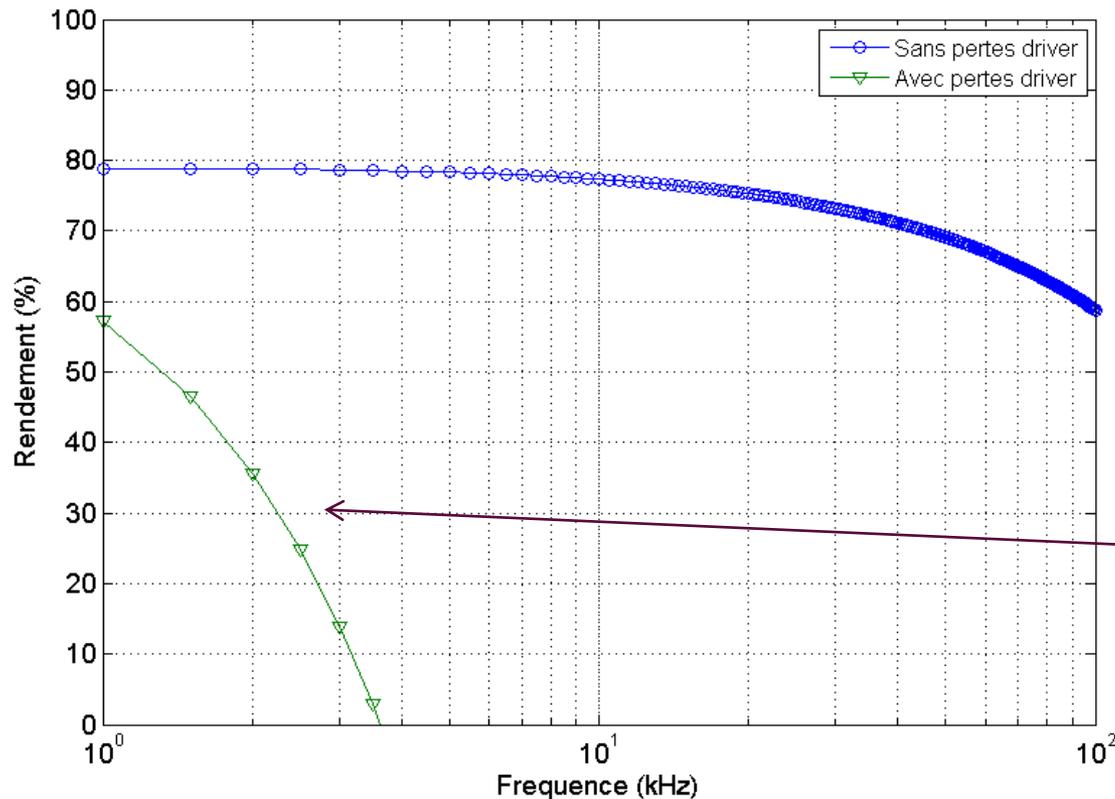
Commande

- Consommation de la commande

- Driver : Consommation en fonction de Qg (Charge du Mos)

- Conduction :  $R_{ds(on)}$
- Commutation :
  - $C_{oss}$
  - Chauvauchement courant-tension au blocage

Source :  $V_s = 100\text{mV}$ ,  $R_s = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $P_{\text{source}} = 1\mu\text{W}$



Les pertes de commandes ne sont pas pris en compte!!

Beaucoup de pertes dans le driver du MOS

➤ Nécessité d'une commande résonante afin de limiter les pertes driver

## ➤ Contexte

- Que-ce-que le grappillage d'énergie?
- Le grappillage de l'énergie RF
- L'adaptation MPPT

## ➤ Objectifs et stratégie

- Objectifs
- Difficultés et problèmes
- Stratégie et feuille de route

## ➤ 1ère étape : Circuit de démarrage

- Etat de l'art et choix de la topologie
- Présentation du convertisseur auto-oscillant
- Quelques performances

## ➤ 2ème étape : Circuit principale

- Choix de l'algorithme MPPT et du convertisseur principale
- Présentation de la topologie du convertisseur principal
- Quelques performances

## ➤ Conclusion et perspectives

## ➤ Structure de startup : Convertisseur résonant

- ❑  $V_s > 170\text{mV}$
- ❑  $P_{in} > 3\mu\text{W}$
- ❑ Rendement convertisseur = 10 à 25%
- ❑ Rendement convertisseur + rectenna = 8% max (@-2dBm)
- ❑ Applications : démarrage du convertisseur principale

## ➤ Convertisseur principale : Flyback en DCM

- ❑  $V_s > 100\text{mV}$
- ❑  $P_s > \text{qq } \mu\text{W}$
- ❑ Rendement :  $> 70\%$
- ❑ Adaptation d'impédance très efficace basée sur le fonctionnement DCM

## ➤ Perspectives

- ❑ Réalisation (en composants discrets) et validation expérimentale du convertisseur Flyback
- ❑ Association du circuit de startup et du convertisseur principale
- ❑ Utilisation d'un design kit afin d'optimiser les performances:
  - JFET adapté pour le convertisseur résonant
  - MOSFET et diode pour le convertisseur Flyback