



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

GENIE ELECTRIQUE

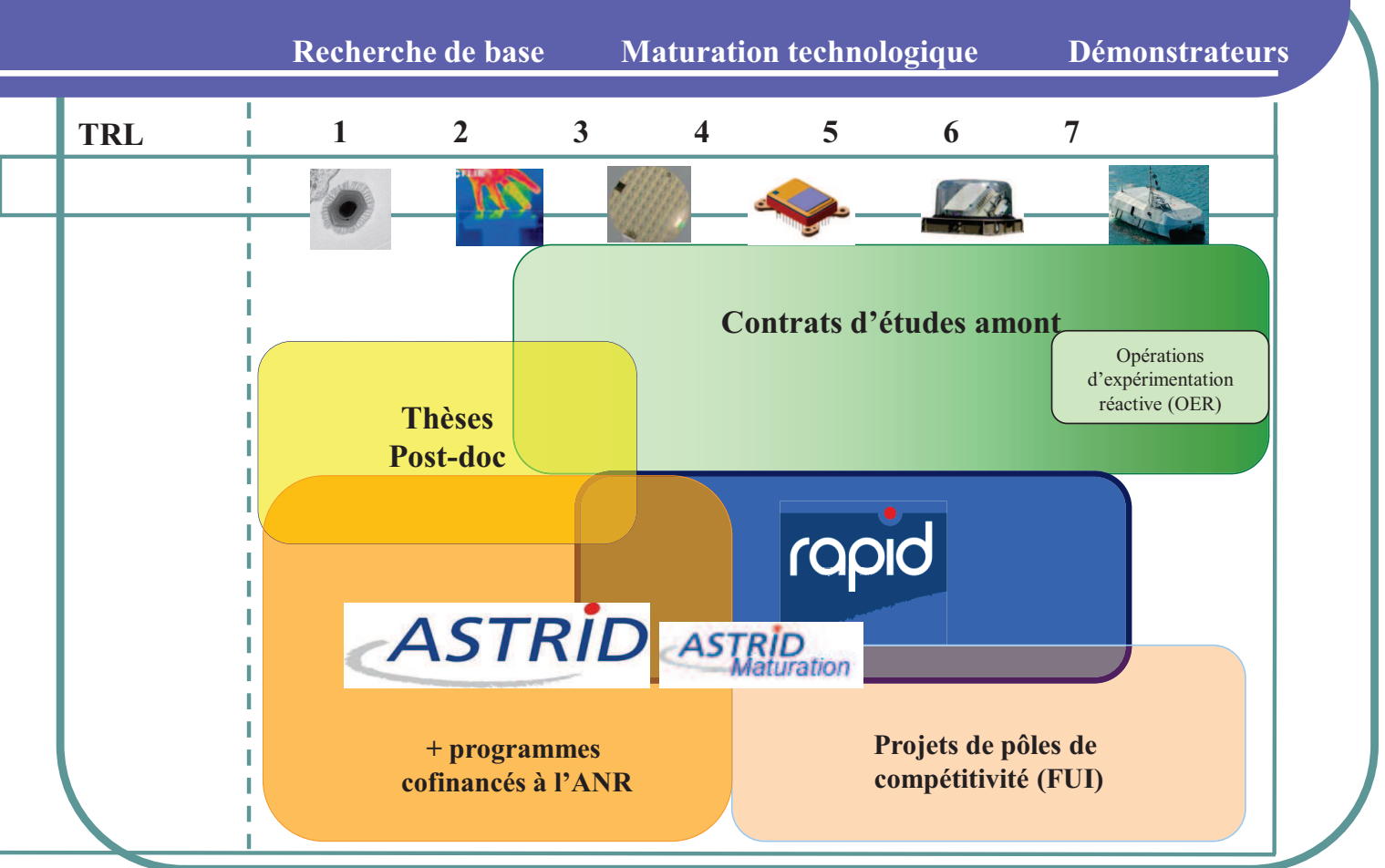
EVOLUTION REVOLUTION RUPTURE

*Présentation : Michel AMIET*

*ICA-R DGA.Expert Energie*



# DGA : Dispositifs de soutien



## **DGA Contacts**

### **MATERIAUX CHIMIE ET ENERGIE**

**Bruno MORTAINE**

[bruno.mortaigne@intradef.gouv.fr](mailto:bruno.mortaigne@intradef.gouv.fr)

**Eric LAFONTAINE**

[eric.lafontaine@intradef.gouv.fr](mailto:eric.lafontaine@intradef.gouv.fr)

**ASTRID** **Louis de CHANTERAC**

[louis.de-chanterac@intradef.gouv.fr](mailto:louis.de-chanterac@intradef.gouv.fr)


**RAPID** **Isabelle LECOQ**

[isabelle.lecoq@intradef.gouv.fr](mailto:isabelle.lecoq@intradef.gouv.fr)



## 2.4

## L'échelle TRL

- 
- TRL 1: basic principles observed
  - TRL 2: technology concept formulated
  - TRL 3: experimental proof of concept
  - TRL 4: technology validated in lab
  - TRL 5: technology validated in relevant environment
  - TRL 6: technology demonstrated in relevant environment
  - TRL 7: system prototype demonstration in operational environment
  - TRL 8: system complete and qualified
  - TRL 9: actual system proven in operational environment

# GENIE ELECTRIQUE

ELECTROTECHNIQUE  
ELECTRONIQUE DE PUISSANCE  
ELECTROCHIMIE

MISSION INTERMINISTERIELLE GENIE ELECTRIQUE  
1985 - 2005

# **GENIE ELECTRIQUE**

## **Problématique et Programmes**

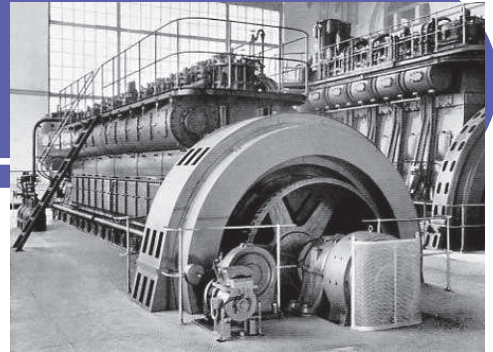
**UNE EVOLUTION**

## Évolution

1900 / 2000 - Source d'énergie

Puissance alternateur x 1600

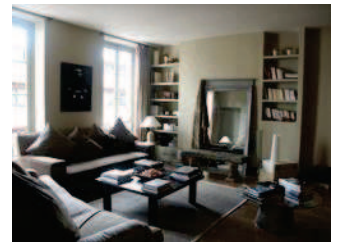
exemple : dans un même volume V : 1 MW  $\rightarrow$  1650 MW



1940 / 2000 - Besoins tertiaires

Puissance compteur x 20

exemple : Puissance d'un pavillon : 0.5 kW  $\rightarrow$  10 kW



1960 / 2000 - Besoin vecteurs

Besoins en énergie x 10

exemple : avion de chasse 10 kW  $\rightarrow$  100 kW



# **GENIE ELECTRIQUE**

## **Problématique et Programmes**

**UNE REVOLUTION**



## VECTEURS civils et militaires



# DGA Une RUPTURE : Le concept



Michel AMIET

10

## Reconfiguration des énergies à bord des vecteurs :

### Théorie des "3E"

$$\Sigma E = E_p + E_t + E_i$$

Énergie permanente

Énergie transitoire

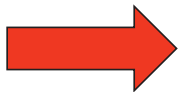
Énergie impulsionnelle



Énergie de bord	= <b>Ep</b> = Alternateur
Énergie auxiliaire	= <b>Et</b> = Accus / PAC
Énergie actionneurs de gouverne	= <b>Ei</b> = Supercondensateurs

## Reconfiguration des énergies à bord des vecteurs :

Énergie permanente



Pile à combustible

Accumulateurs électrochimiques

Thermoélectricité

Groupe électrogène

Énergie transitoire



Accumulateurs électrochimiques

Piles thermiques

Énergie impulsionnelle



Générateur de Marx

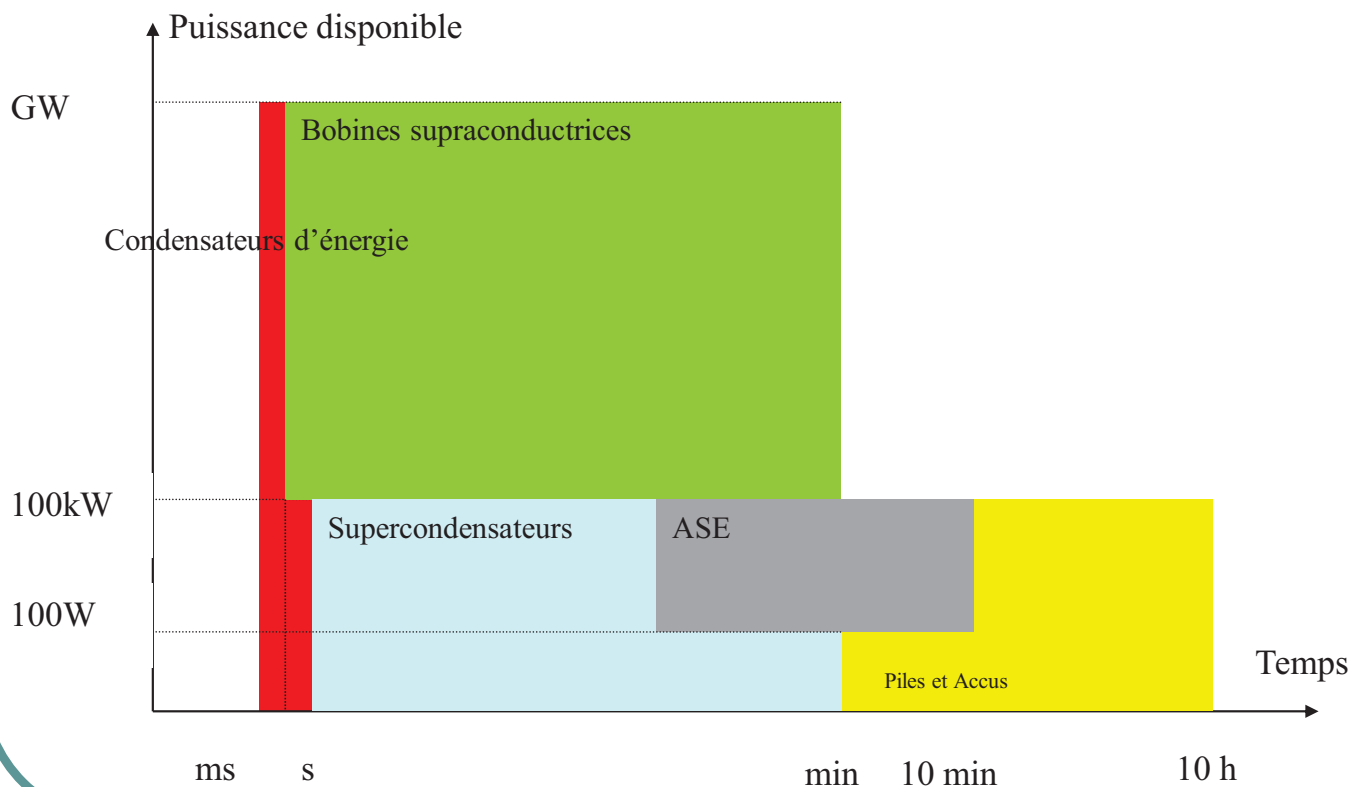
Transformateur de Tesla

Condensateur

Supercondensateur

Bobine supraconductrice

# Énergies transitoires et impulsionsnelles en fonction des temps de décharge.



**GENIE ELECTRIQUE**

**Problématique et Programmes**

**UNE RUPTURE  
DU COMPOSANT AU CONCEPT**

# CHAINE ENERGETIQUE

SOURCES

RESEAUX

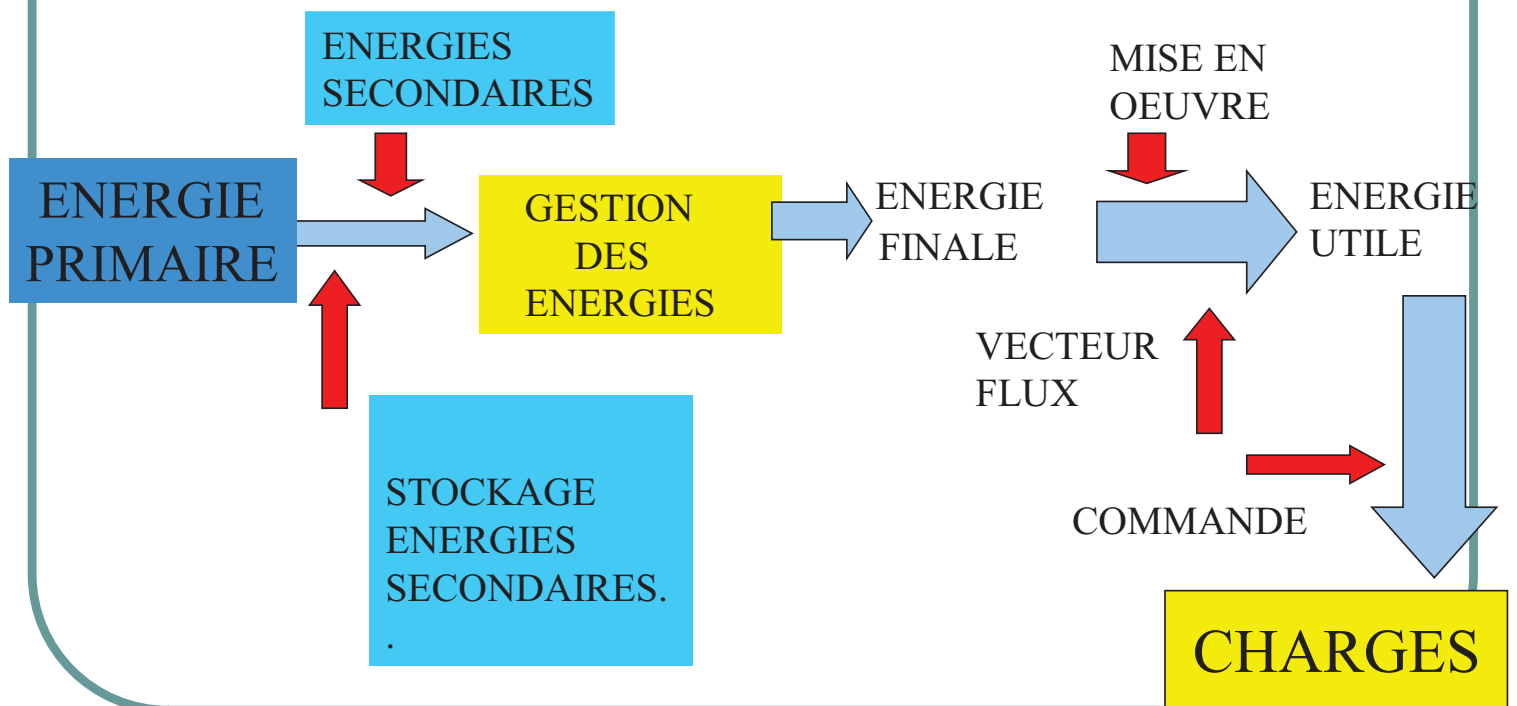
GESTION ENERGIE

CHARGES



# CHAINE ENERGETIQUE

## THEORIE DES « 3 E »



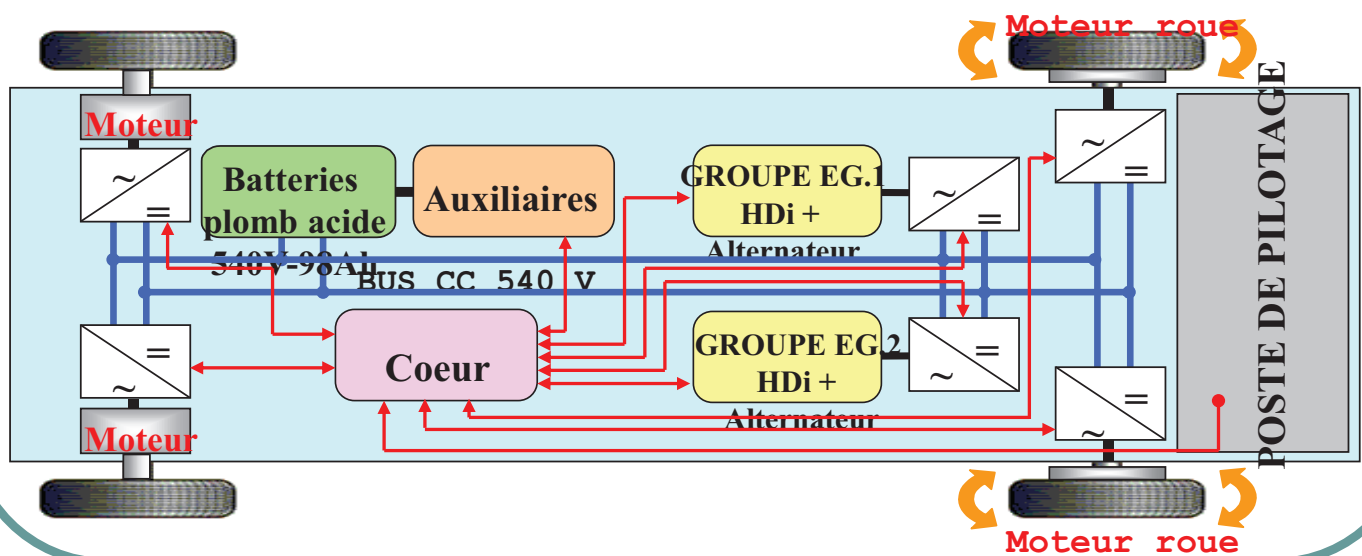
## BANC ECCE



Michel AMIET

## BANC ECCE

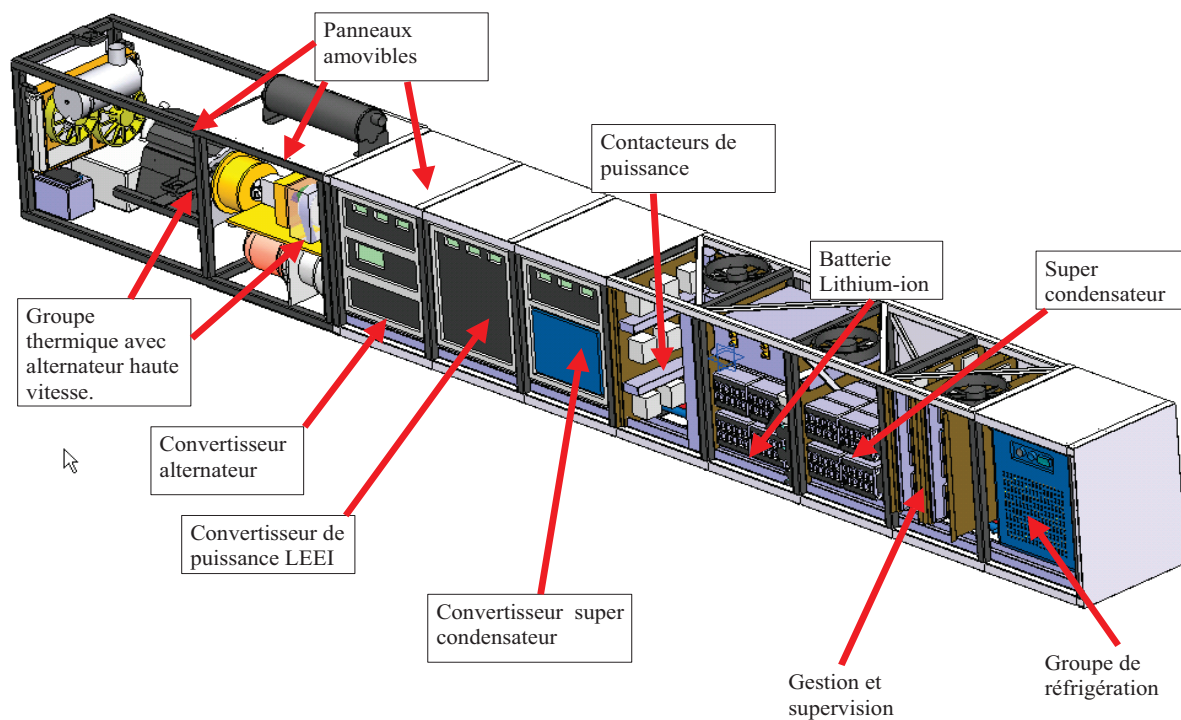
ECCE, véhicule hybride, est une plateforme de test qui permet d'évaluer les différentes technologies des moteurs, des convertisseurs, des sources



## ECCE 2

# IMPLANTATION

Figure 1

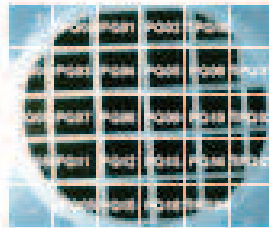
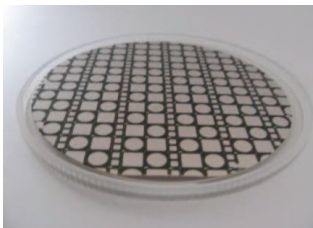


# **ELECTRONIQUE DE PUISSANCE**

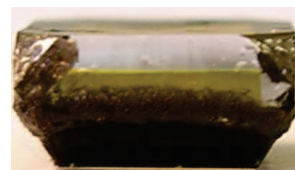
## **UNE RUPTURE PAR CONSTITUANT**

# ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

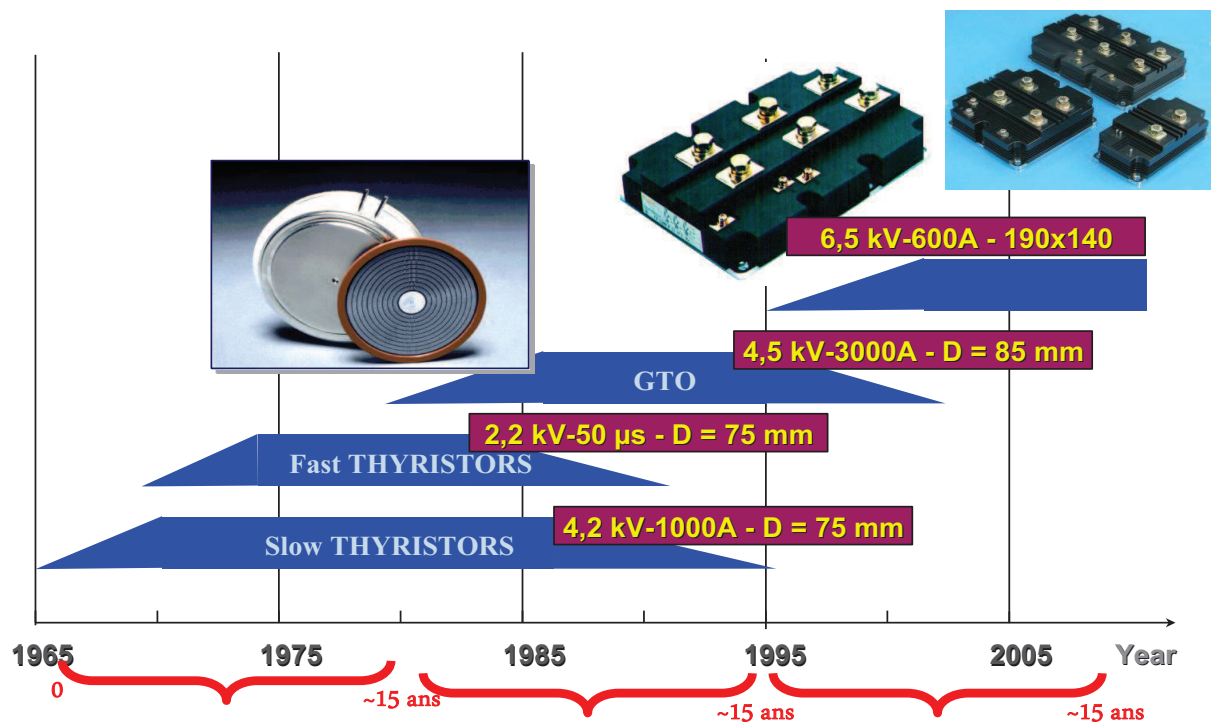
- **GRAND GAPS : GaN SiC Diamant**



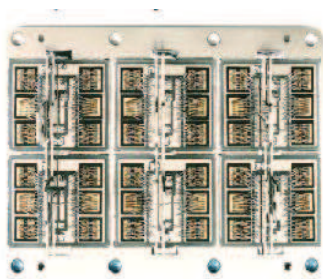
**50 mm 4H-SiC wafer  
with 4 epitaxial layers  
purchased from  
Cree, Inc., USA**



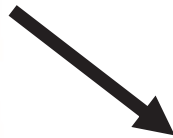
# ELECTRONIQUE DE PUISSANCE



# ELECTRONIQUE DE PUISSANCE



Si IGBT 3,3 kV 1200 A  
On state voltage 3,5 V  
 $S_{\text{IGBT}} = 24 \text{ cm}^2$



SiC MOSFET 3,3 kV 1200 A  
On state voltage 3,5 V  
 $S_{\text{MOSFET}} = 8 \text{ cm}^2$



C MOSFET 3,3 kV 1200 A  
On state voltage 0,1 V  
 $S_{\text{MOSFET}} = 1 \text{ cm}^2$

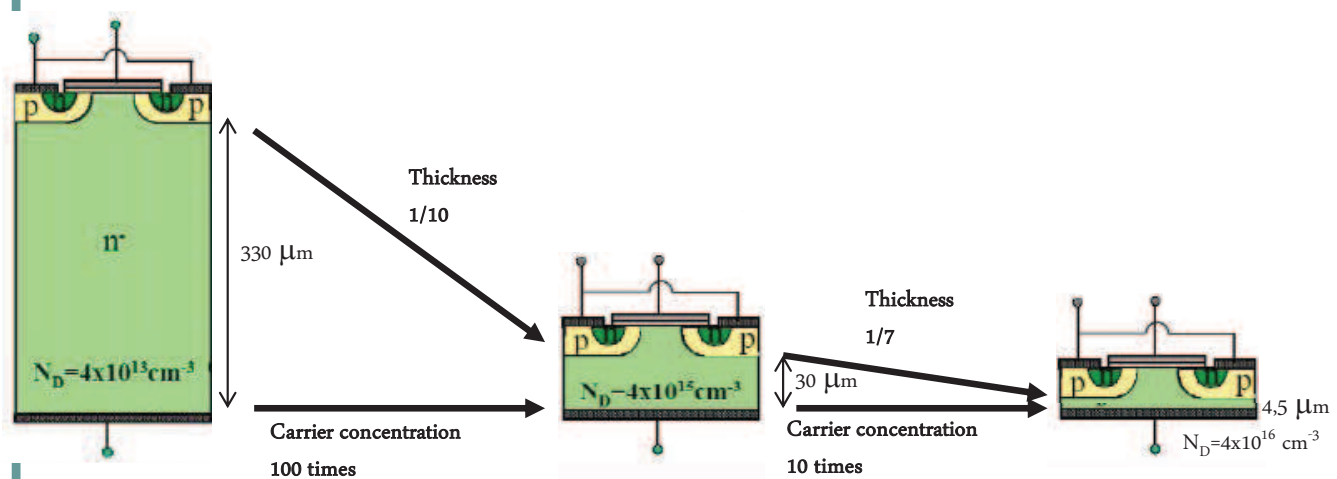


# ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

## Si MOSFET

## SiC MOSFET

## C MOSFET

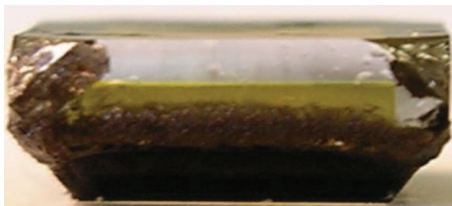


## Si IGBT

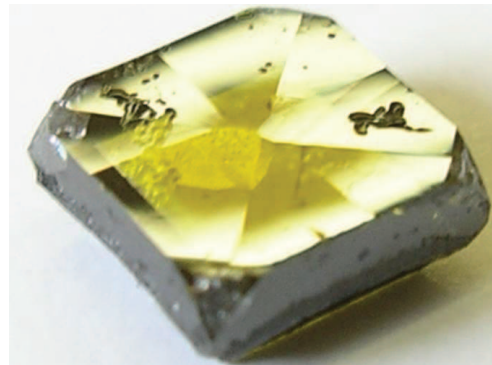
On state voltage  
3,5V @ 50 A/cm<sup>2</sup>

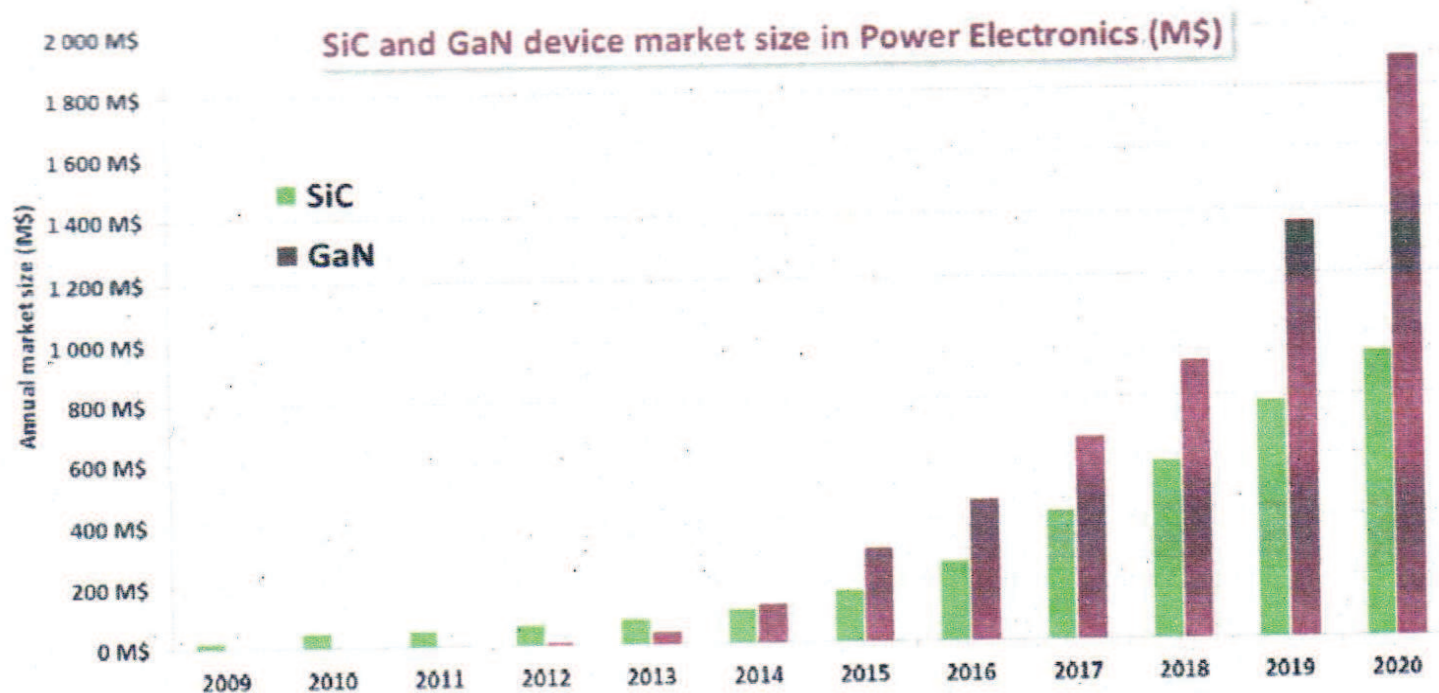
# ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Films de diamant mono-cristallin épais et de haute pureté



-----5mm-----





SiC and GaN overlap in some applications. Typically, for EV/HEV, PV inverter or Motor Drives, the market can be indifferently fuelled by SiC or GaN. Thus, part of the market value could move from one to the other. So, these values are "as if XX technology would capture 100% of its market potential, with no competition from YY technology"

On remarque que le marché du GaN serait supérieur à celui du SiC, mais en prenant en compte l'arrivée de substrats 6 pouces en SiC.