



## *Composants de puissance sur matériaux « grand gap »:*

*Intérêts, applications et développements en cours pour le GaN*

**Séminaire technologique sur l'électronique de puissance**

**ELECTRONIQUE DE PUISSANCE**

**Enjeux et solutions innovantes d'un marché en plein essor**

Jeudi 12 juin 2014  
à Polytech' Saint-Nazaire

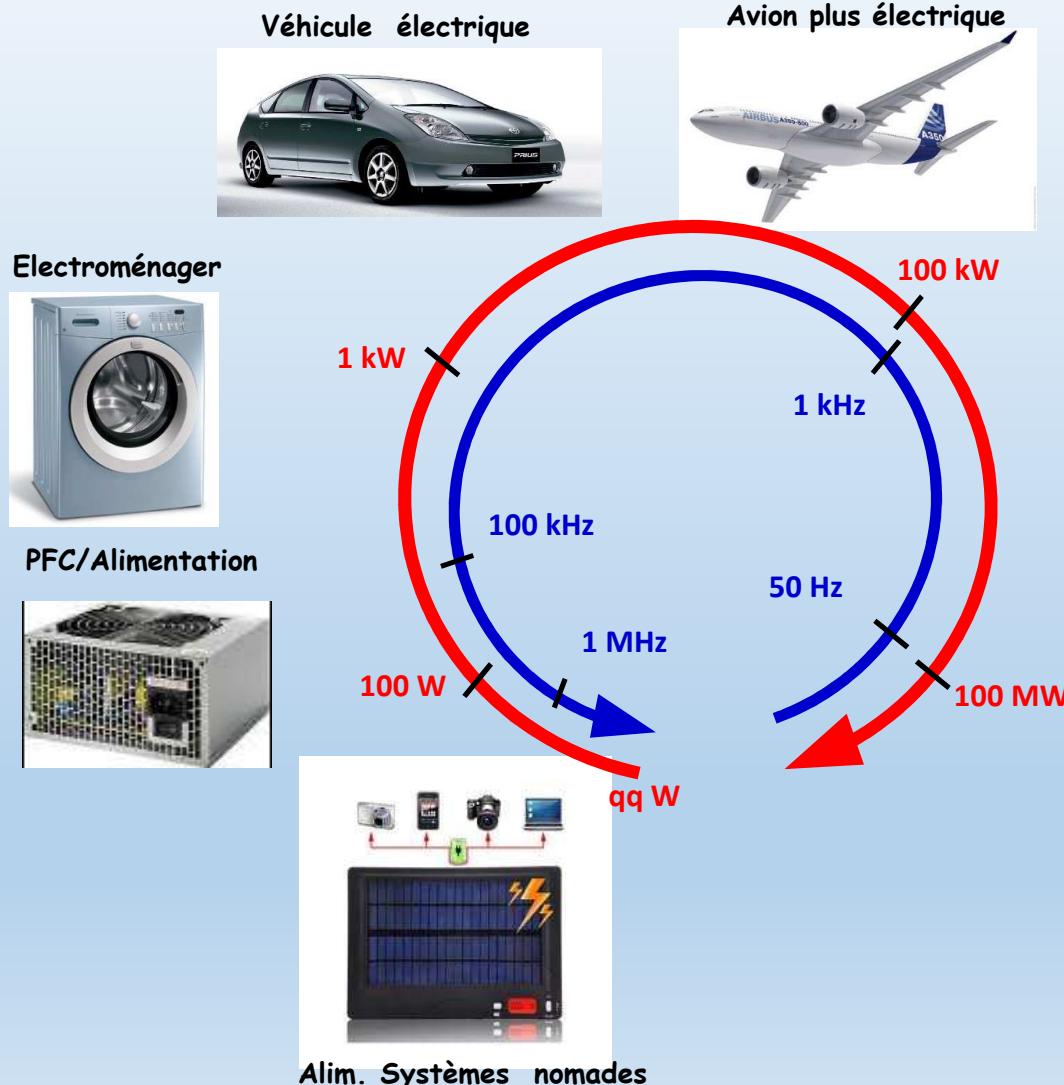


# Sommaire

- L'état actuel et les perspectives en électronique de puissance,
- Pourquoi le GaN, le SiC ou le diamant?
- Le Nitrure de Gallium,
- Les composants de puissance sur GaN,
- La diode Schottky sur GaN.



# Etat actuel et perspectives



Traction ferroviaire



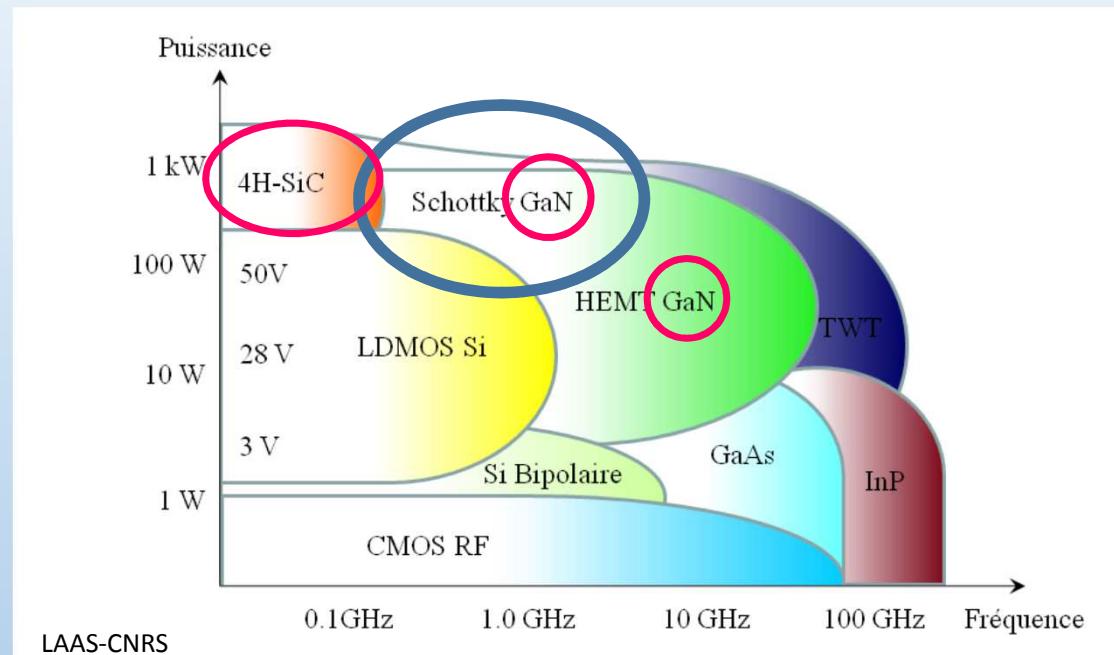
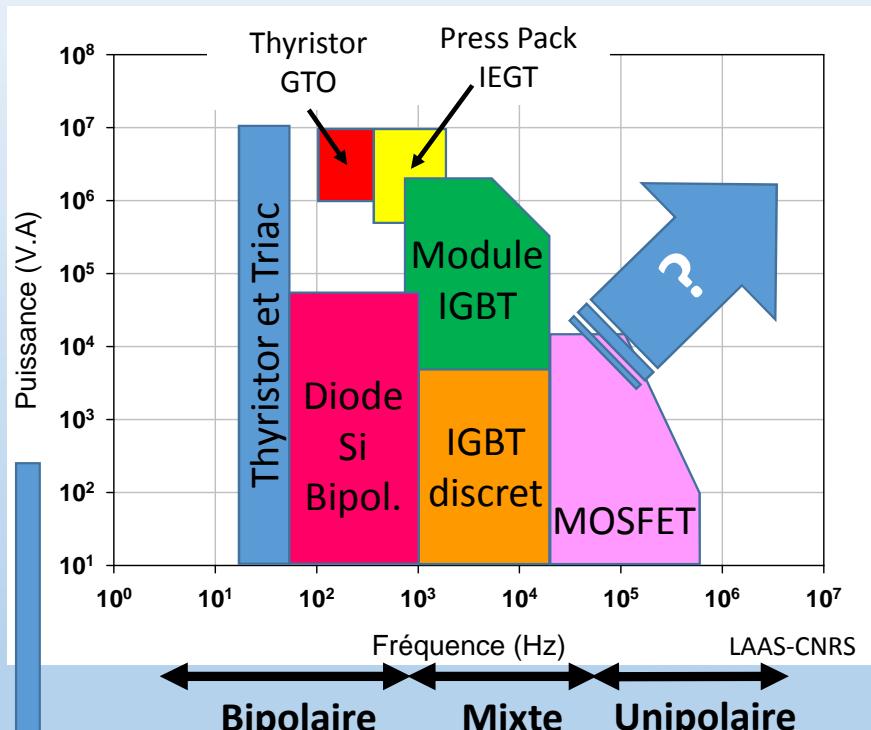
Distribution d 'Electricité



- Haute puissance
- Haute fréquence
- Haute température
- Economie (pertes à la commutation)

# Etat actuel et perspectives

## Les matériaux « Grand Gap »



**Puissance commutée: produit de la tension de blocable par le courant maximum admissible à l'état passant.**

# Pourquoi le SiC, le GaN ou le diamant

A 300 K et à faible dopage

	Si	SiC (4H)	GaN	Diamant (C)
$E_c$ (MV.cm <sup>-1</sup> )	0,3	3	3,39	10
$\mu_n$ (cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	1500	980	1250	2200
$\mu_p$ (cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	450	120	30	2000
$E_g$ (eV)	1,12	3,3	3,39	5,5
T <sub>max</sub> (°C)	125	500	650	700
$\lambda$ (W.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	1,3	5	1,3	20
BFM (ratio/Si)	1	134	677	4555
SFM (ratio/Si)	1	12,8	26,6	1520

Facteur de mérite de Baliga

$$BFM = \epsilon_r \mu E_C^3$$

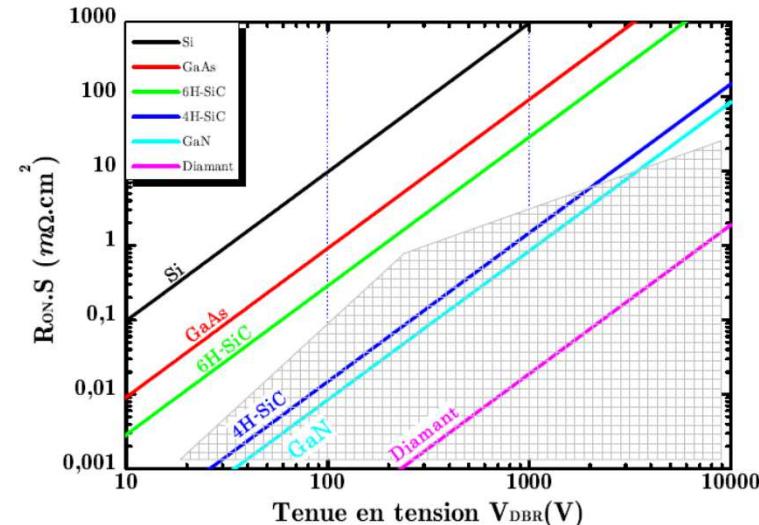
Facteur de mérite de Schneider

$$SFM = E_c (\mu_n + \mu_p) \cdot \lambda \cdot T_{\max}$$

→ Le GaN est bien adapté à l'électronique de puissance  
Une condition: épitaxié sur Si

Le SiC est une bonne alternative au silicium

Le diamant



- Faibles dimensions (essentiel en 4")
- Meilleur compromis R<sub>ON</sub>S/V<sub>BR</sub>
- Meilleur produit P.f

# Le nitrure de Gallium (GaN)

**Avec un champ critique de 3,3 MV.cm<sup>-1</sup>:**

Des composants plus petits mais toujours ,voire plus, performants,  
Gain de place.

**Avec un trr (temps de recouvrement inverse) du GaN:**

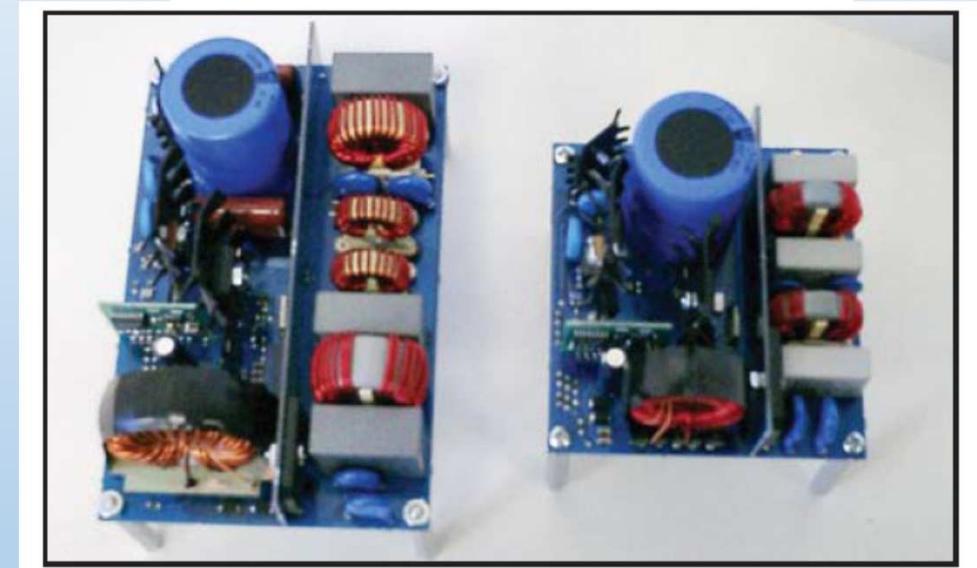
**Très faible (même inférieur au SiC):**

Faibles pertes à la commutation donc économie  
d'énergie

**Indépendant de la température,**

**Aucun effet de (di/dt),**

**Indépendant du niveau de courant.**

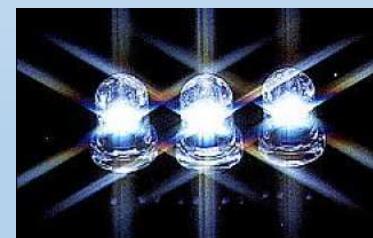
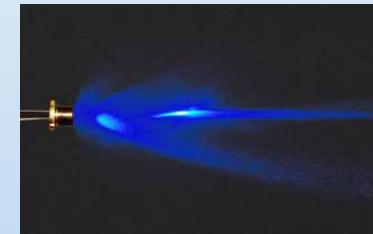
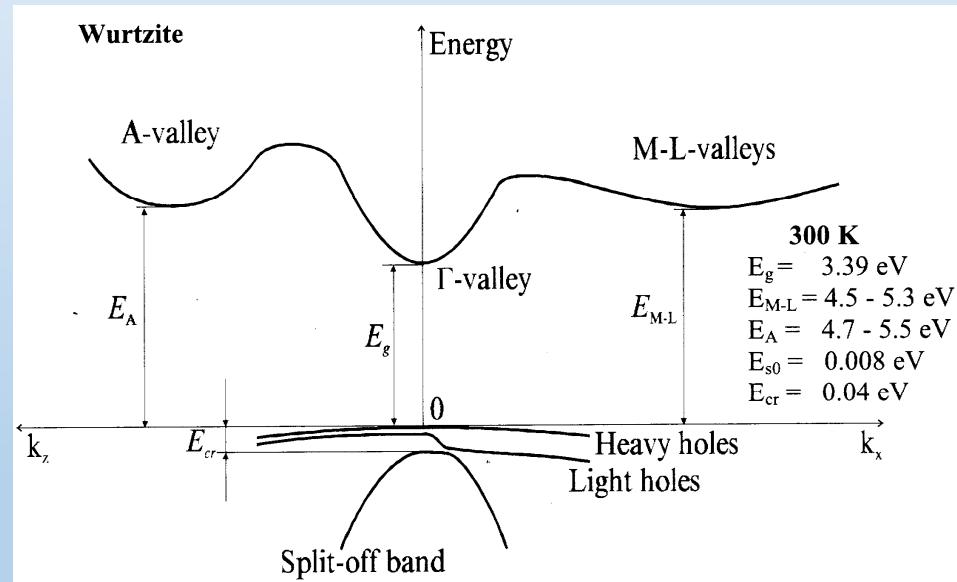


**Une économie de 2TWH/an juste sur la Schottky des PFC**

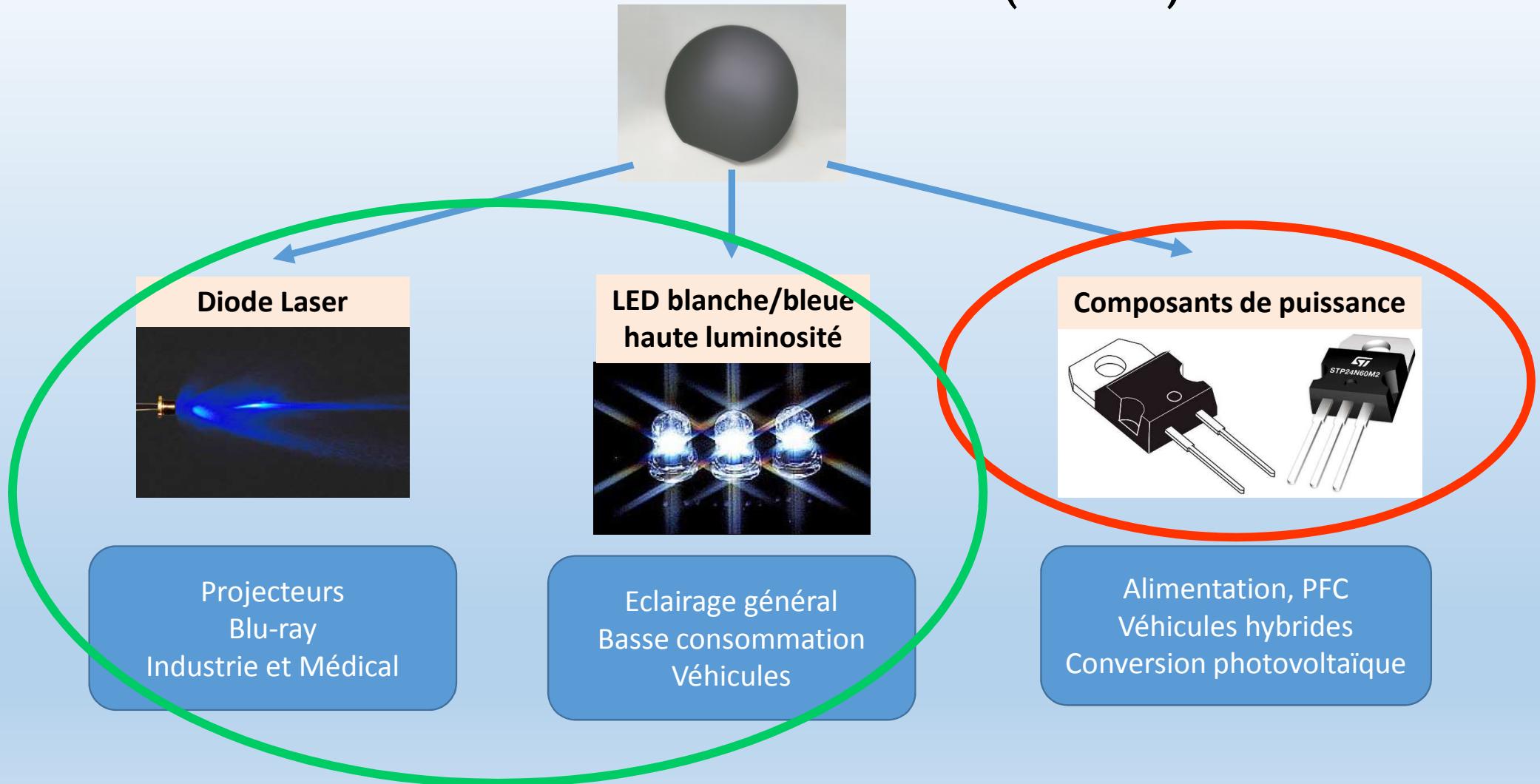
# Le nitrure de Gallium (GaN)

**Avec une bande interdite directe de 3,4eV:**

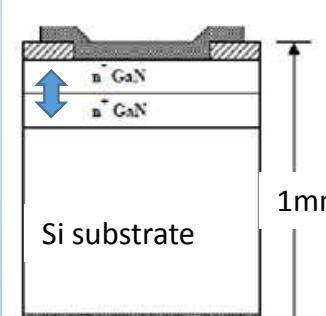
Des applications en optique: Laser/LED blanches et bleus.



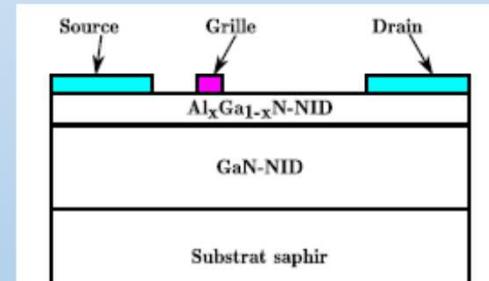
# Le nitrure de Gallium (GaN)



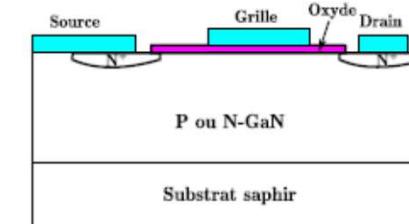
# Les composants de puissance sur GaN



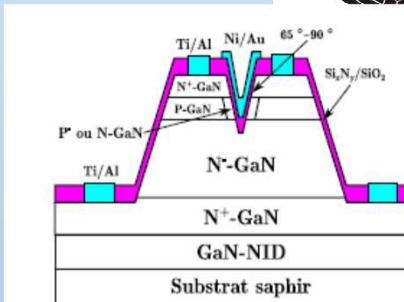
Diode Schottky



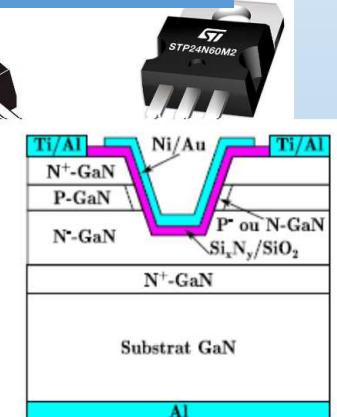
Transistor HEMT



LDMOS

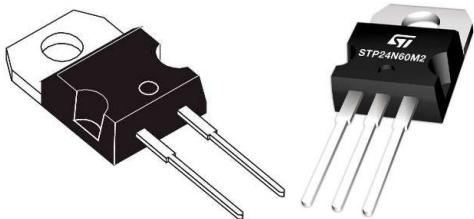


MOSFET



# Les composants de puissance sur GaN

## Composants de puissance



Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

- ↳ Le GaN peut être épitaxié sur des substrats « bas coût » (Saphir ou encore mieux silicium car compatible avec les technos actuelles).



## Des progrès perpétuels sur la croissance du GaN :

- ↳ Disponible en 2, 3, 4" (sur substrat Saphir) ou 6 et même 8" (sur substrat Silicium),
- ↳ Des couches de plus en plus épaisses,
- ↳ Une qualité cristalline améliorée.



**Intérêt croissant pour ce matériau**

# Les composants de puissance sur GaN

## Composants de puissance



Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

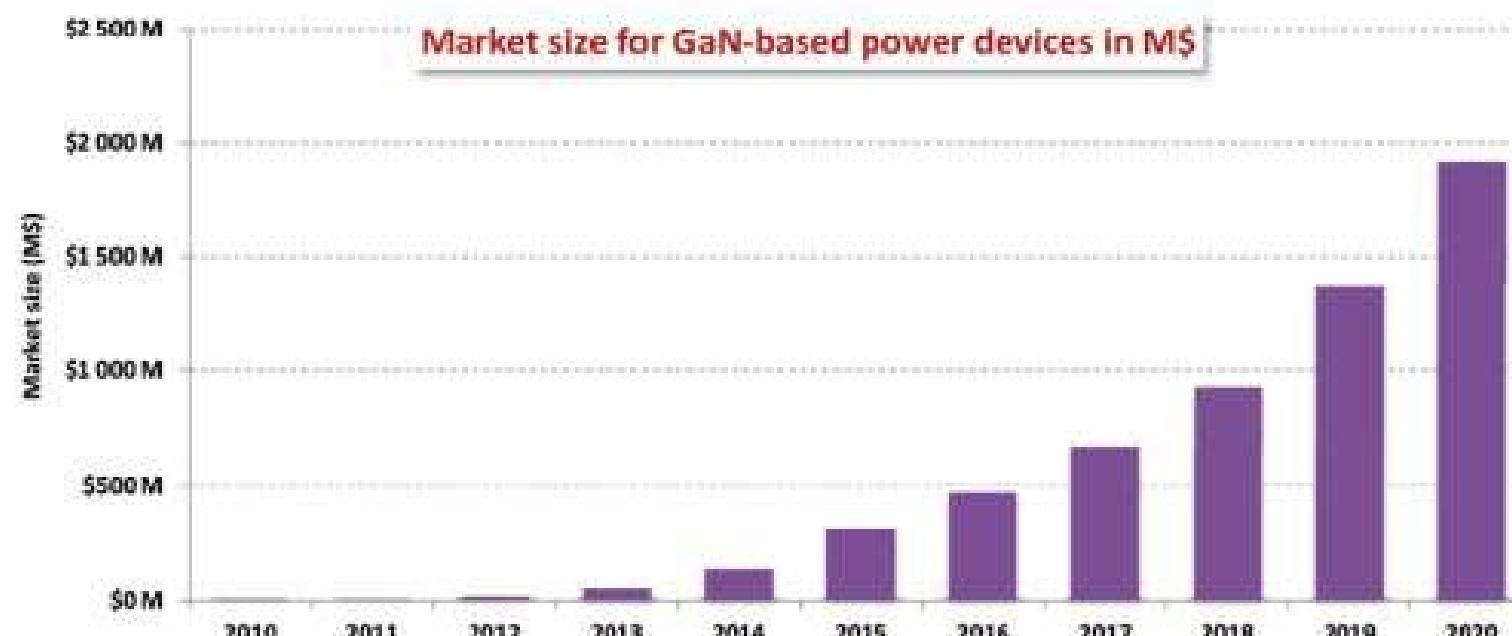
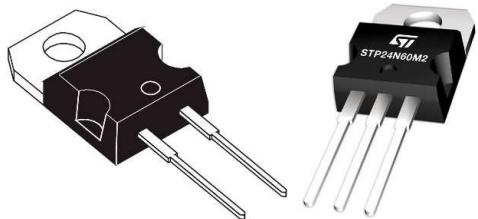


Figure 1: GaN could exceed 5% of the overall power device market by 2020..

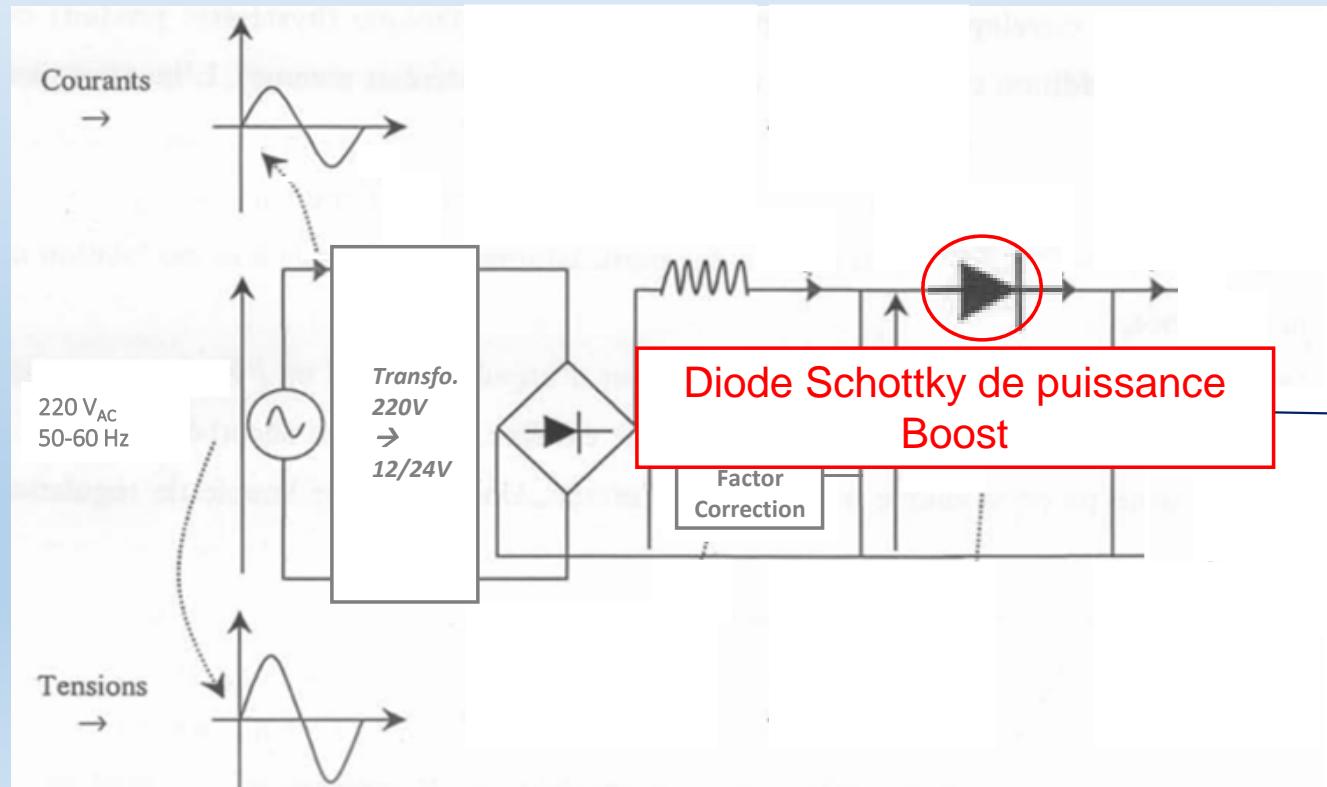
# La diode Schottky GaN

## Composants de puissance

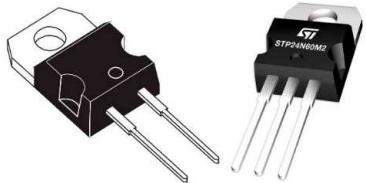


Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

## Une application typique: le PFC Power Factor Corrector

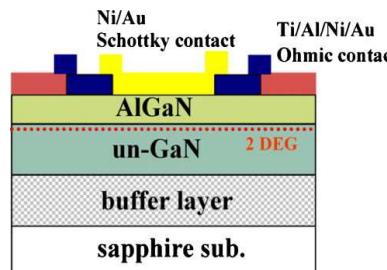


## Composants de puissance



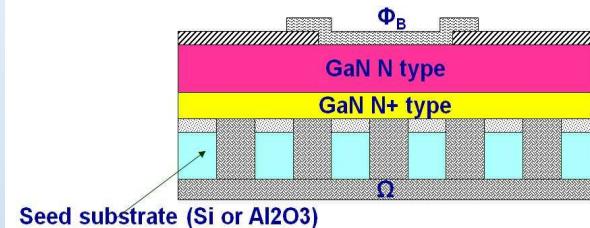
# La diode Schottky GaN Plusieurs architectures

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque



**Structure Laterale**  
(based on HEMT integrating AlGaN layers)

Et une déclinaison de structures intermédiaires

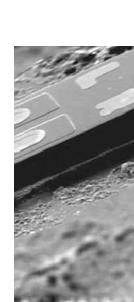


**Vers la Structure Verticale**  
(avec via traversants)

Structure basée sur un effet piézoélectrique de la bicouche GaN/AlGaN: accumulation d'électrons à l'interface (gaz 2D principe du HEMT). L'avantage: une faible épaisseur de GaN non dopé est nécessaire.

Problème: le Normally Off !!

(presented by Powdec )



ale

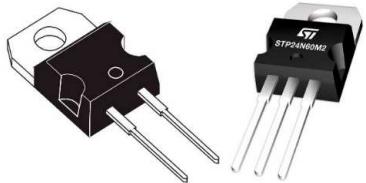
Structure basée sur un structure Si classique. Problème: avoir une forte épaisseur de GaN épitaxié sur un substrat Si (gravure des trenchs, fragilité de la plaque, reprise de contact, GaN fortement dopé)



3: Anode

**Diode hybride ou circuit cascade : Si-SBD basse tension avec GaN-HEMT haute tension (MicroGaN)**

Composants de puissance

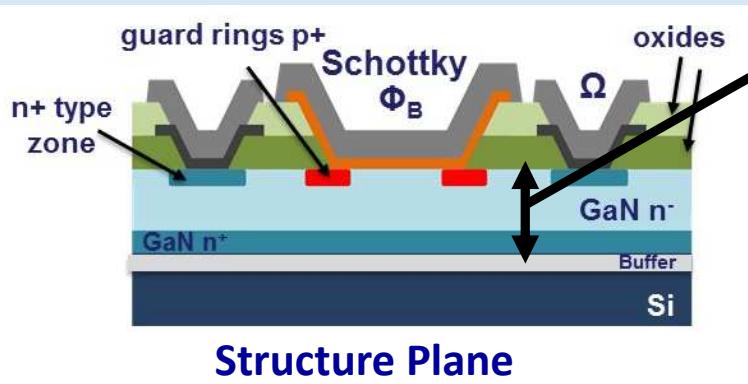


2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015

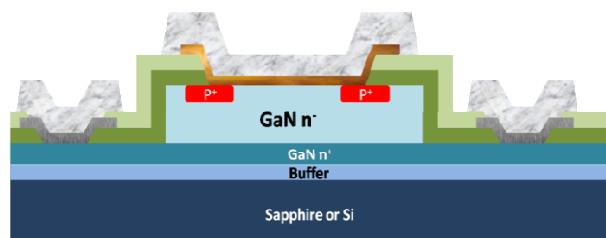
# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

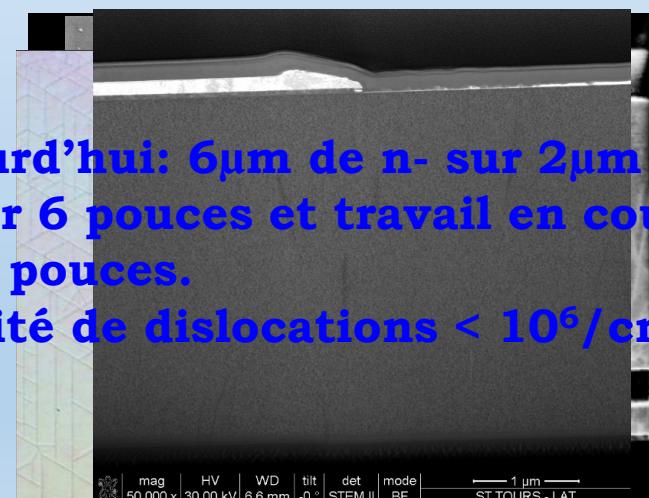
## Le diode Schottky 600 et 1200V



➤ La croissance d'un GaN épais (6/7/...  $\mu\text{m}$  de GaN n- sur 2/3  $\mu\text{m}$  de GaN n+) sur le bon substrat (Si)  $E_c=339\text{V}.\mu\text{m}^{-1}$  théorique

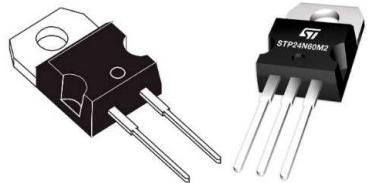


- Aujourd'hui: 6 $\mu\text{m}$  de n- sur 2 $\mu\text{m}$  de n+ sur 6 pouces et travail en cours sur 8 pouces.
- Densité de dislocations <  $10^6/\text{cm}^2$



Structure Pseudo-Verticale

Composants de puissance

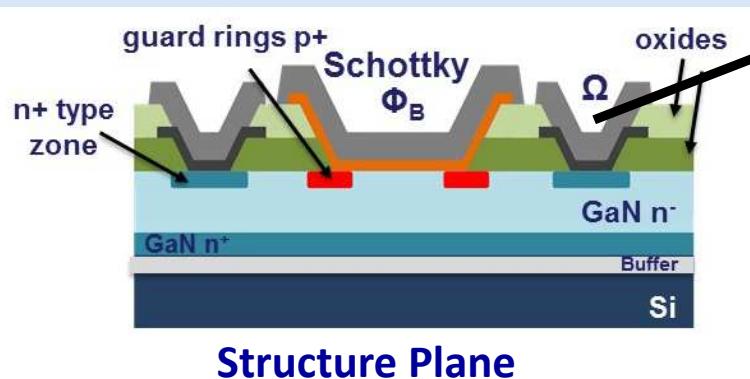


# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

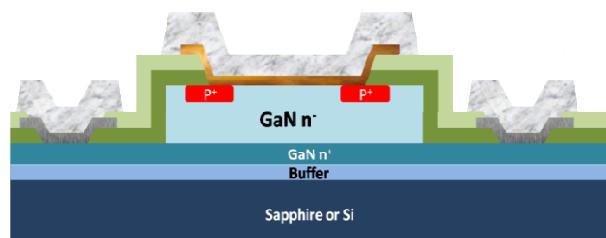
Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015

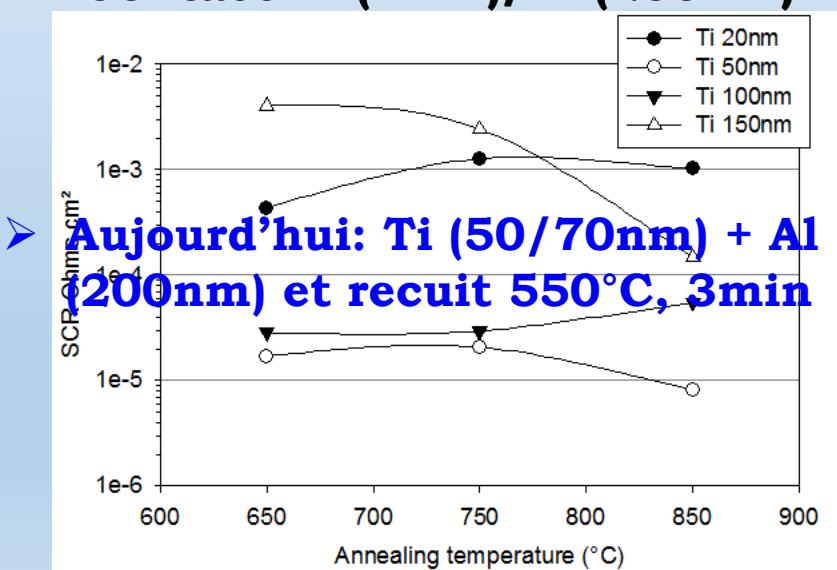
Les défis:



➤ Un contact ohmique (SCR minimale)



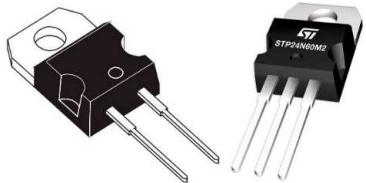
Contact Ti (Xnm)/Al (200nm)



➤ Aujourd'hui: Ti (50/70nm) + Al (200nm) et recuit 550°C, 3min

Structure Pseudo-Verticale

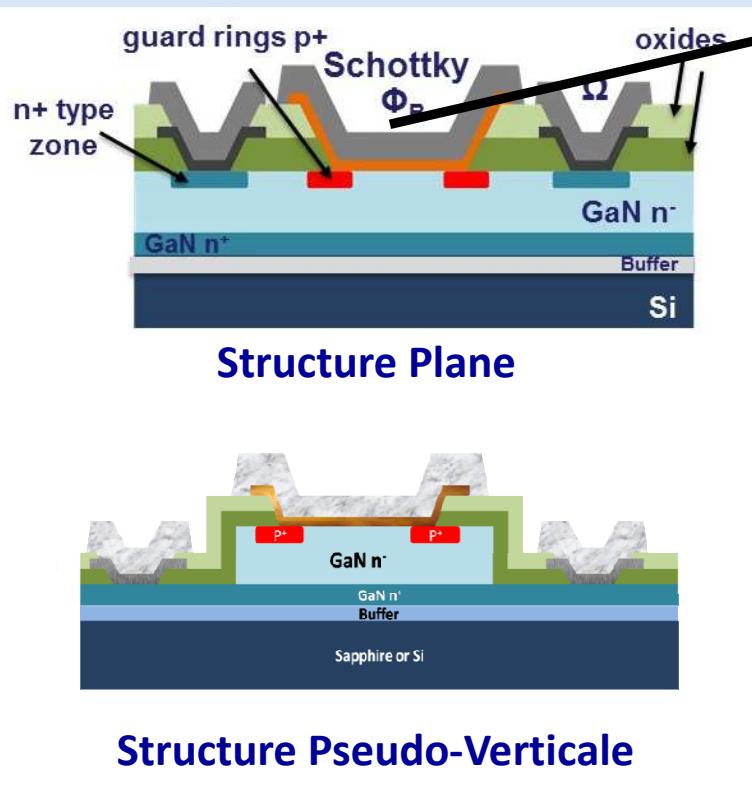
Composants de puissance



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015

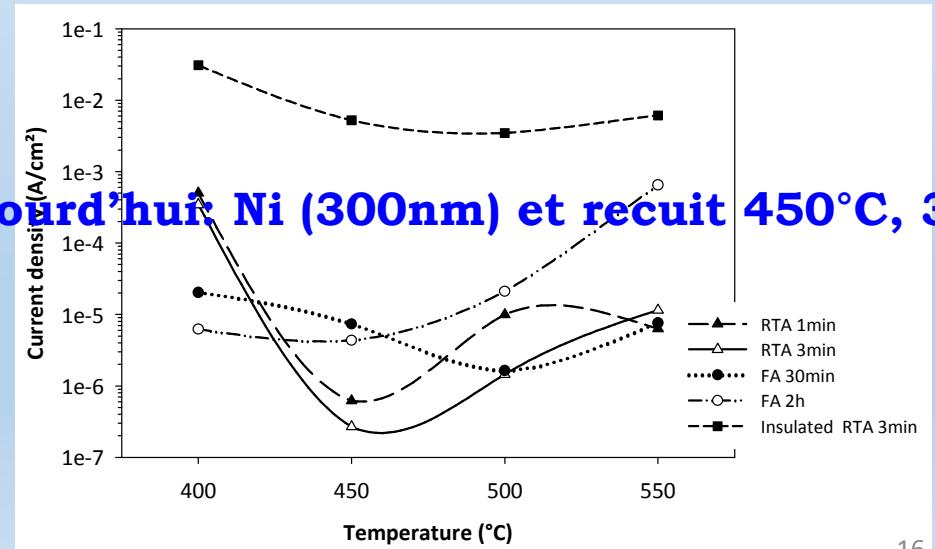


## Les défis:

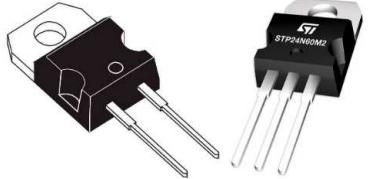
➤ Un contact Schottky optimal (hauteur de barrière et facteur d'idéalité)

Contact Ni (300nm)

➤ Aujourd'hui Ni (300nm) et recuit 450°C, 3min



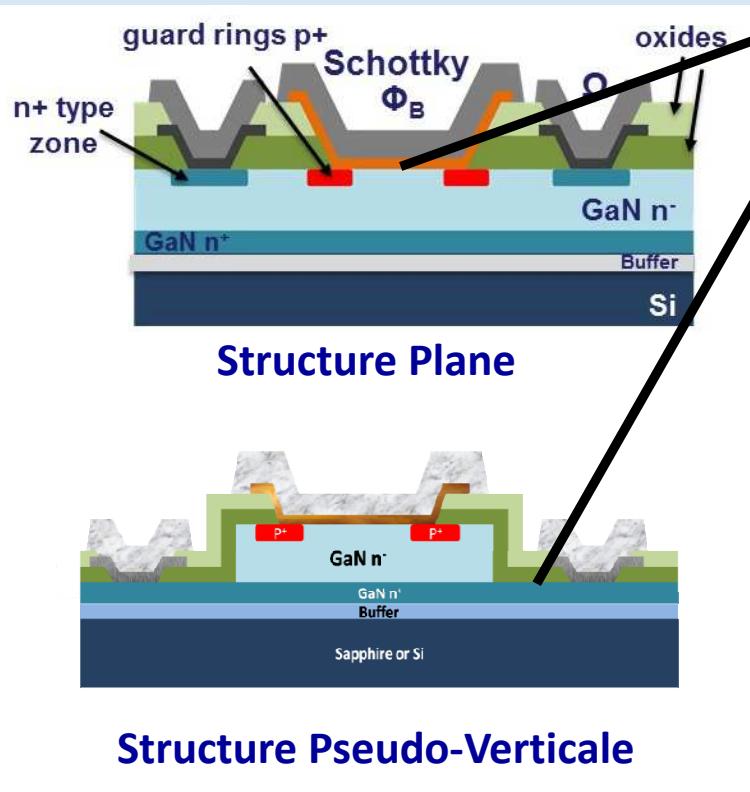
Composants de puissance



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

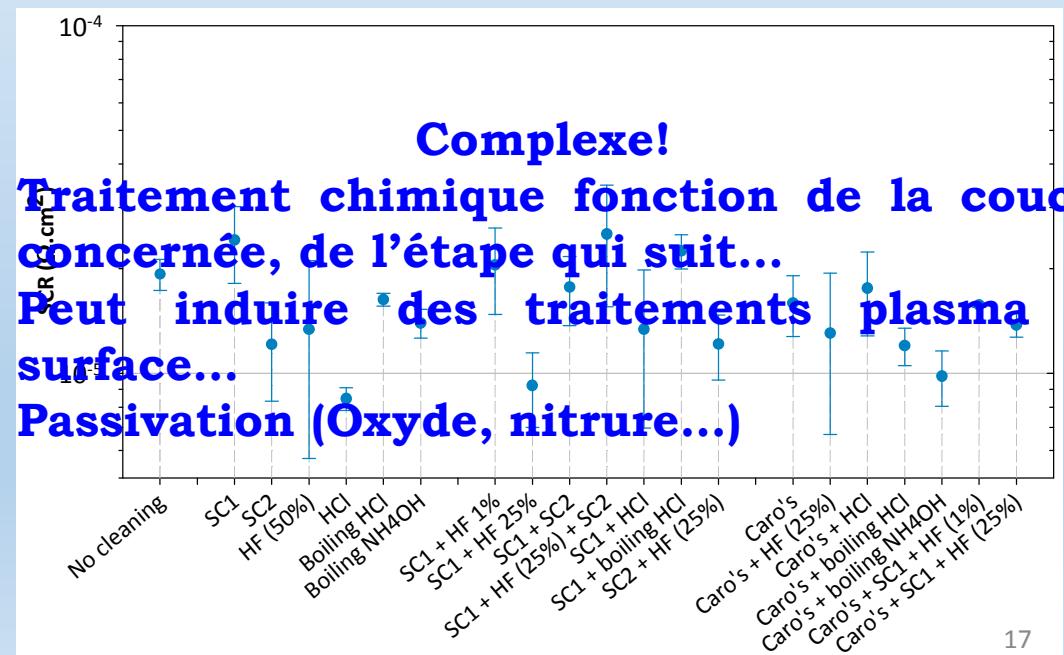
2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015



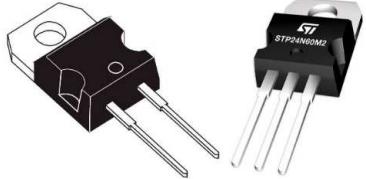
## Les défis:

Un état de surface parfait pour limiter les courants de fuite, améliorer les contacts

- Complex!
- Traitement chimique fonction de la couche concernée, de l'étape qui suit...
  - Peut induire des traitements plasma de surface...
  - Passivation (Oxyde, nitrure...)



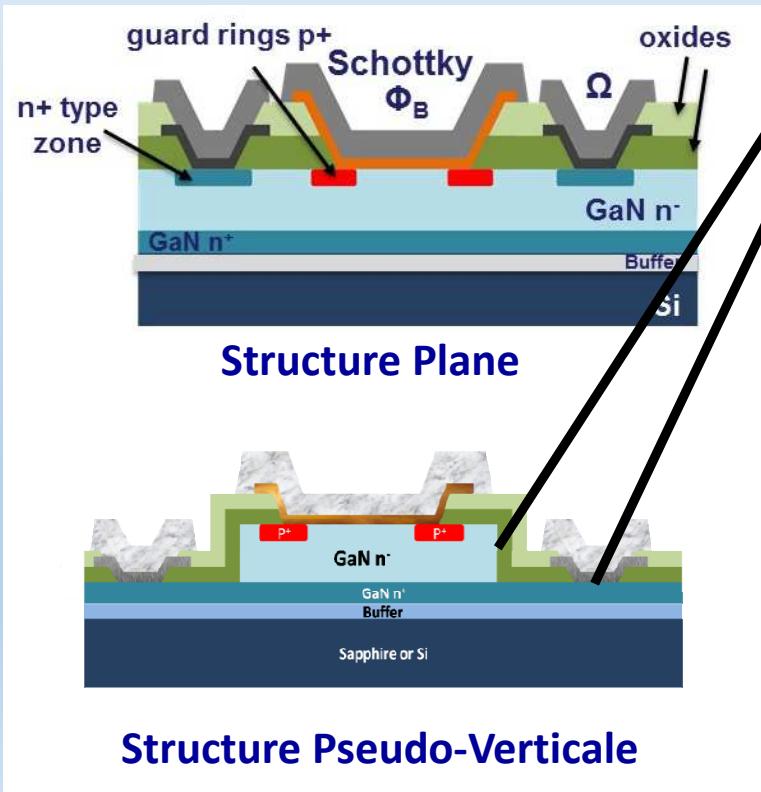
Composants de puissance



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

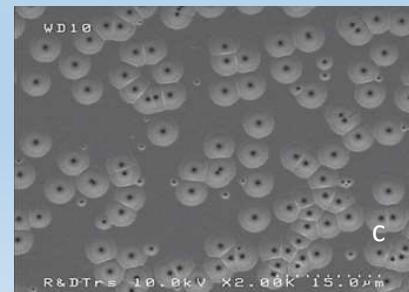
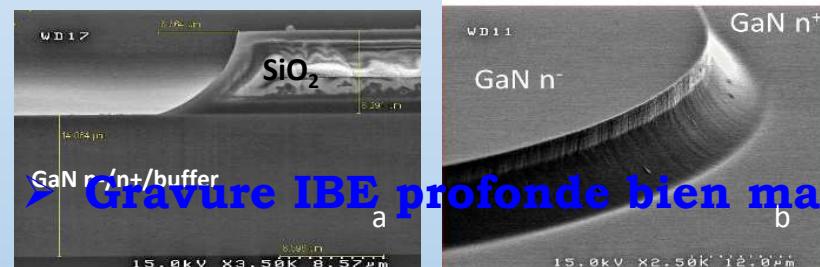
2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015



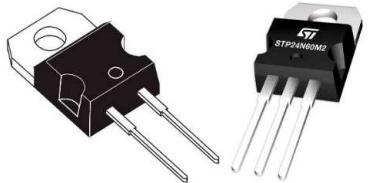
## Les défis:

Une gravure sans défaut de fond de couche,  
avec des flancs parfaits.

### Gravure IBE versus RIE



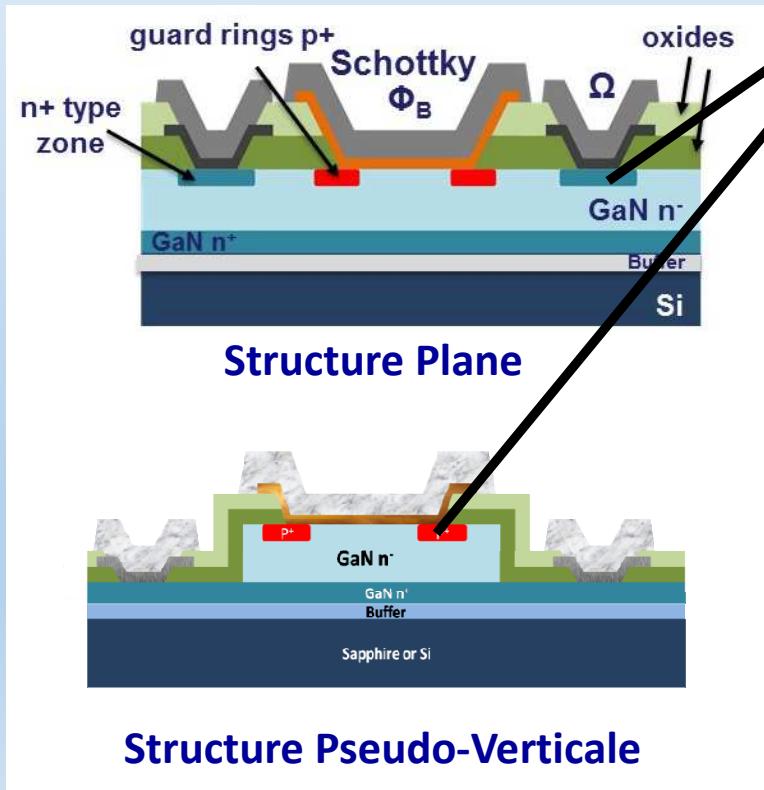
- a) Masque  $\text{SiO}_2$  pour gravure IBE
- b) Gravure de  $6\mu\text{m}$  de GaN avec fond de gravure parfait
- c) Surface de GaN endommagée par une gravure RIE



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

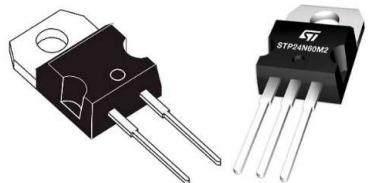
**2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015**



## Les défis:

- Un dopage localisé: Anneaux de garde.  
But: repousser les lignes de champs, retarder le claquage,  $V_{br}$  plus grand.
- Implantation ionique =
  - Formation de défauts
  - Recuit haute T° obligatoire ( $>1100^{\circ}\text{C}$ )
  - Destruction du GaN dès  $820^{\circ}\text{C}$
- Couche de protection avant recuit

Composants de puissance

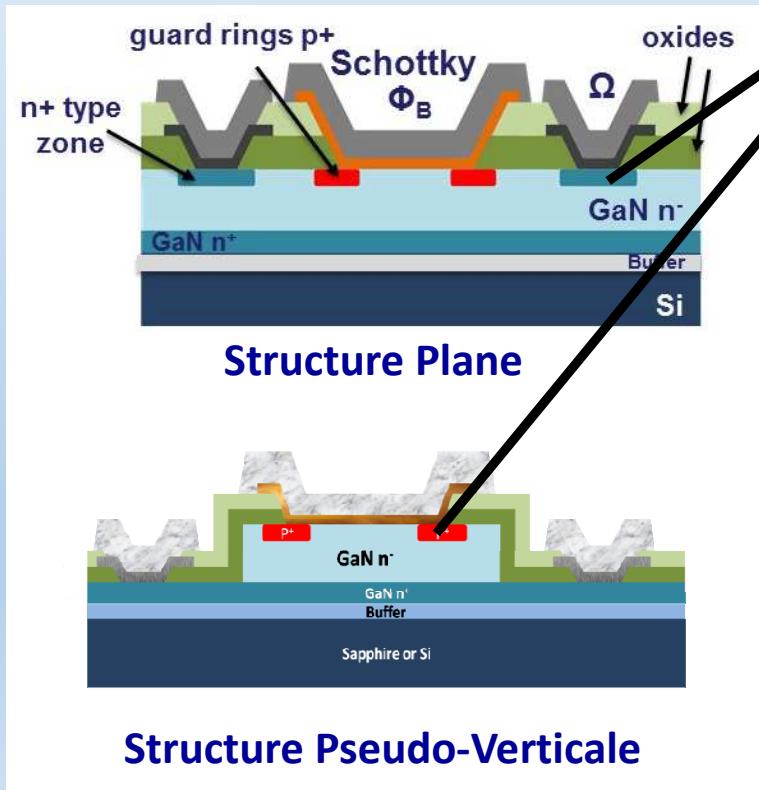


# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

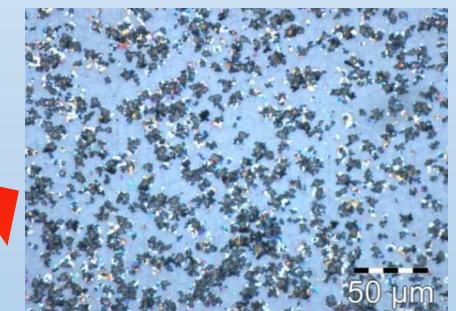
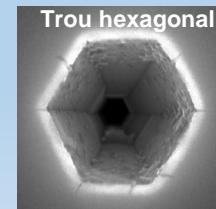
Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

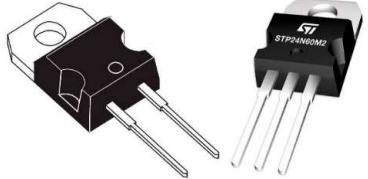
2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015

## Les défis:



➤ Un dopage localisé: Anneaux de garde.  
But: repousser les lignes de champs, éviter ou retarder le claquage,  $V_{br}$  plus grand.

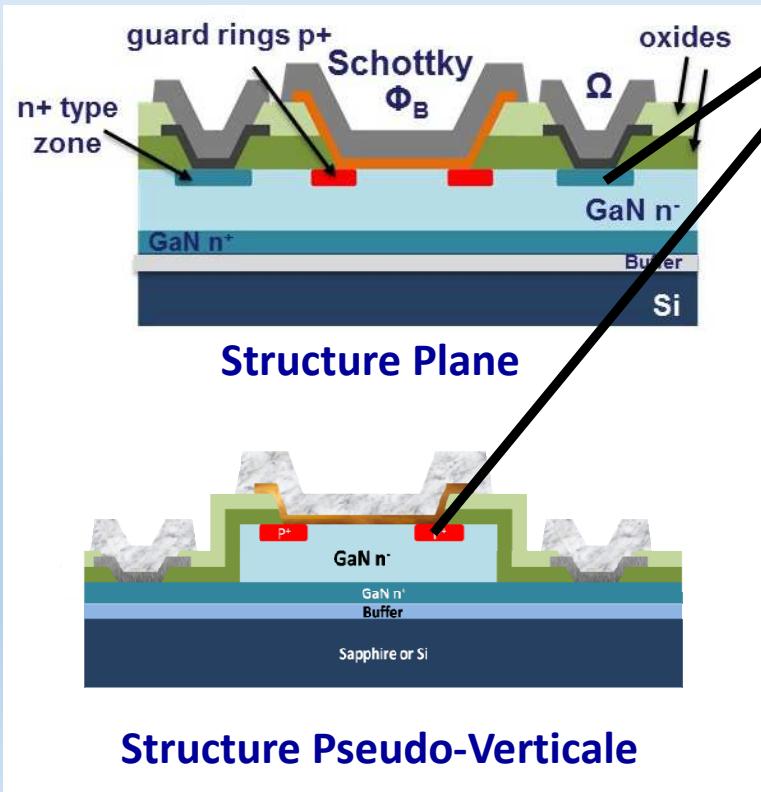




# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

**2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015**



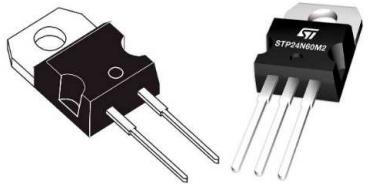
## Les défis:

➤ Un dopage localisé: Anneaux de garde.  
But: repousser les lignes de champs, éviter ou retarder le claquage,  $V_{br}$  plus grand.

## ➤ Cap-layer



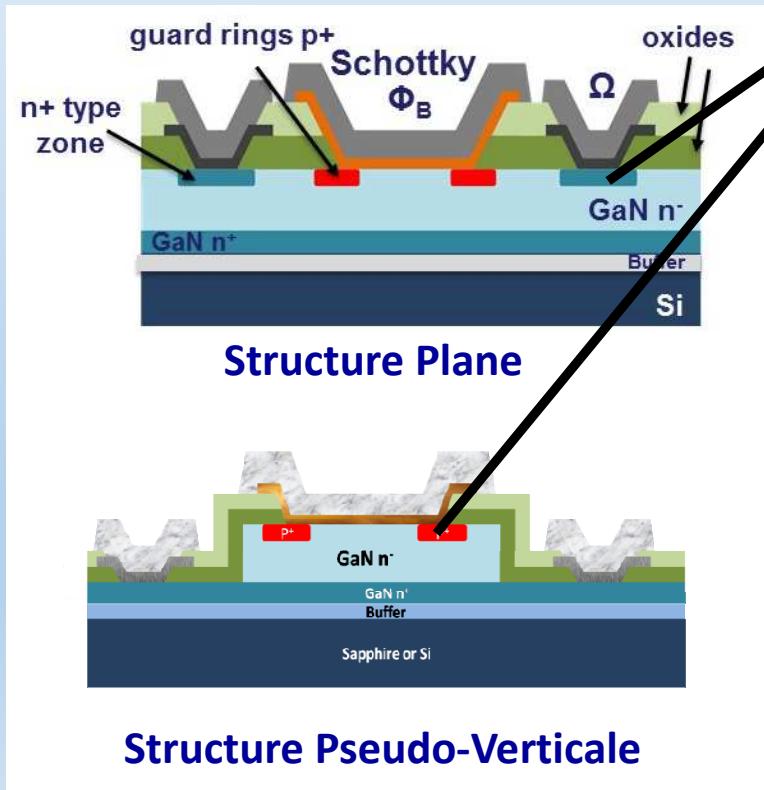
Composants de puissance



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

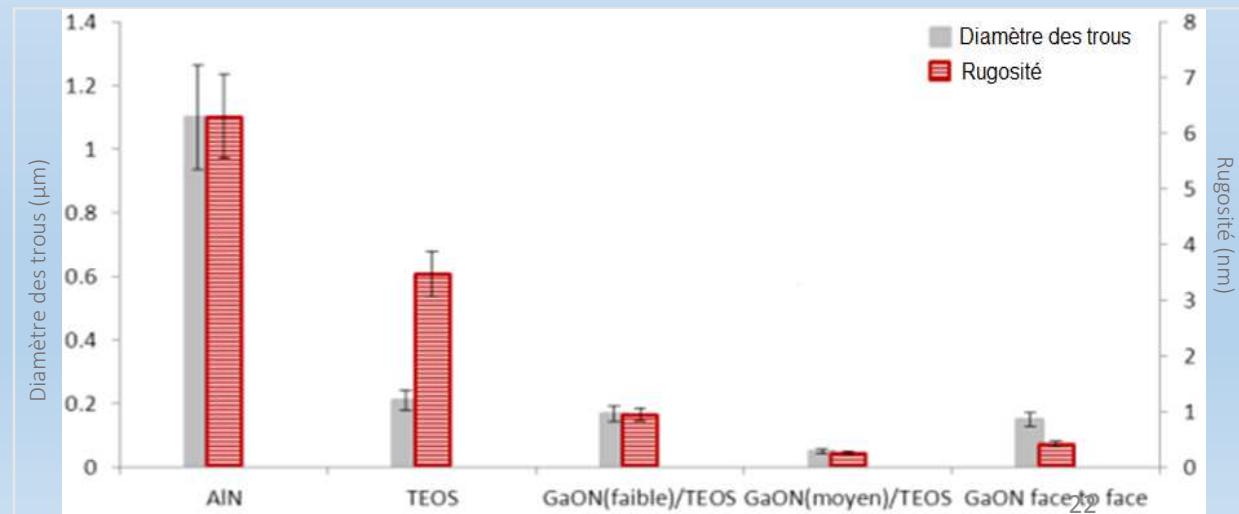
2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015



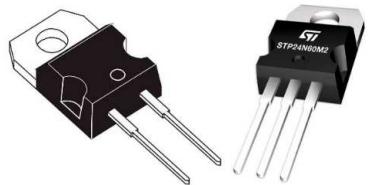
## Les défis:

➤ Un dopage localisé: Anneaux de garde.  
But: repousser les lignes de champs, éviter ou retarder le claquage,  $V_{br}$  plus grand.

## ➤ Cap-layer



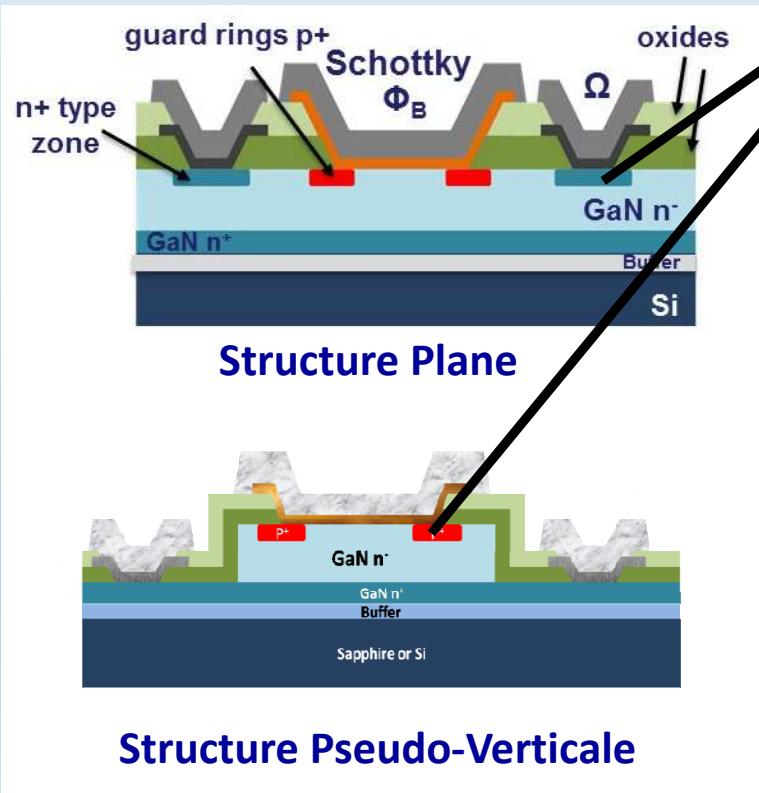
Composants de puissance



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

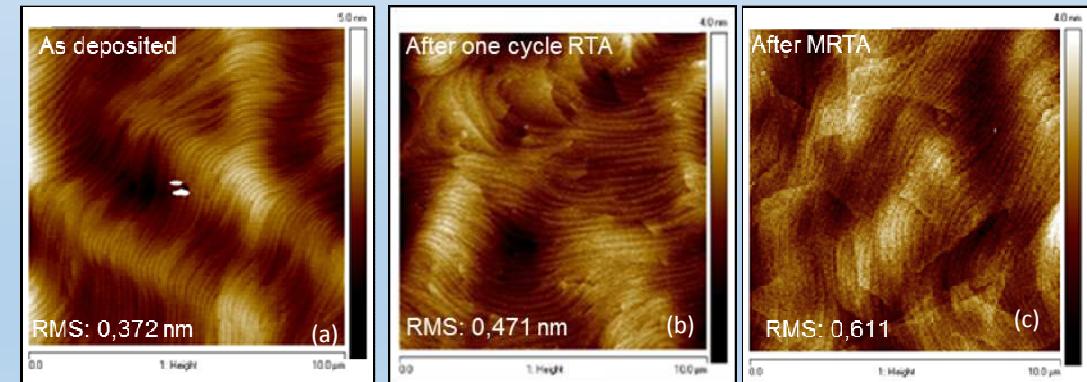
2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015



## Les défis:

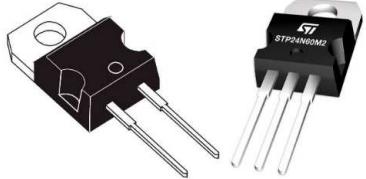
➤ Un dopage localisé: Anneaux de garde.  
But: repousser les lignes de champs, éviter ou retarder le claquage,  $V_{br}$  plus grand.

## ➤ Cap-layer

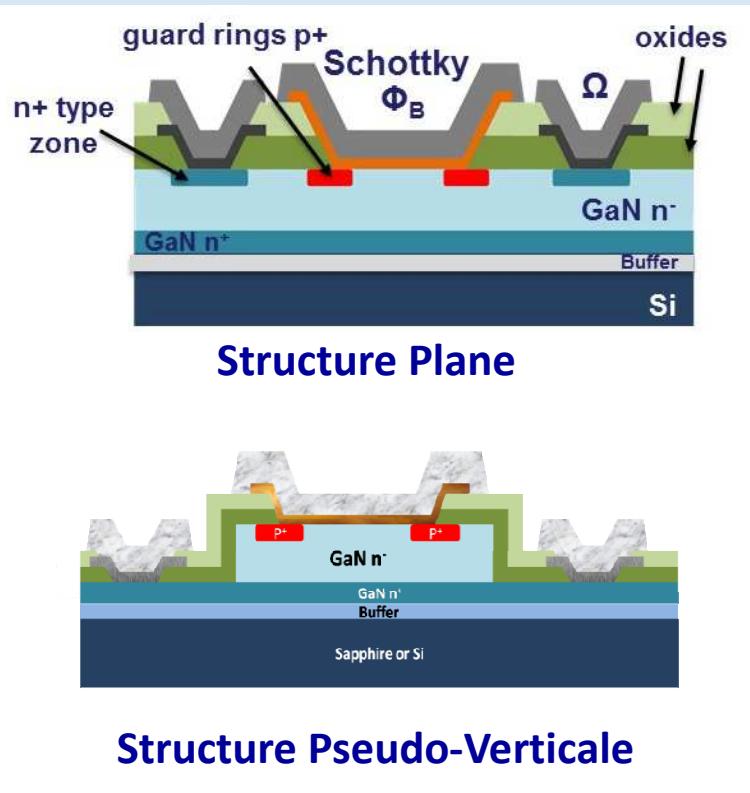


Images AFM  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  d'un échantillon AlN (a) non recuit, (b) après un cycle RTA et (c) après un multi cycle RTA

Composants de puissance



2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015



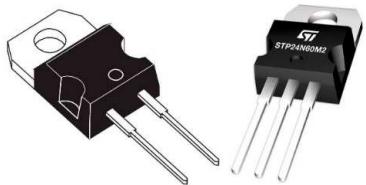
# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

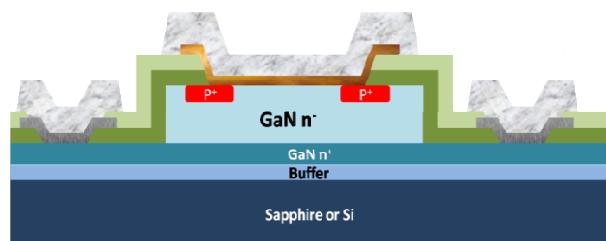
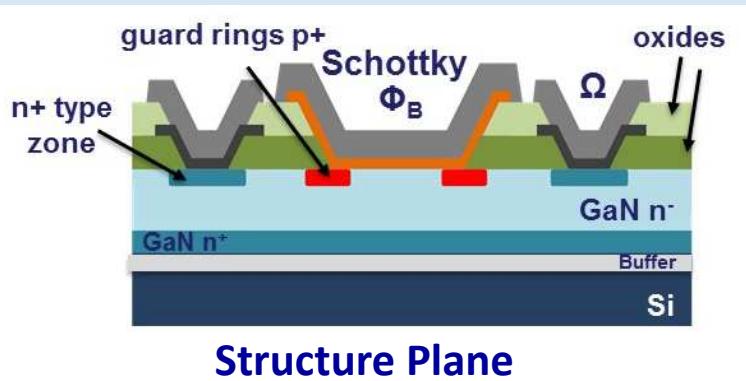
## Les défis:

Etapes	Validation
Croissance du GaN	✓
Gravure du GaN	✓
Contacts Ohmique et Schottky	✓
Traitements de surface, attaques chimiques ou physique	✓
Passivation	✓
Dopage localisé	✓

Composants de puissance



2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015

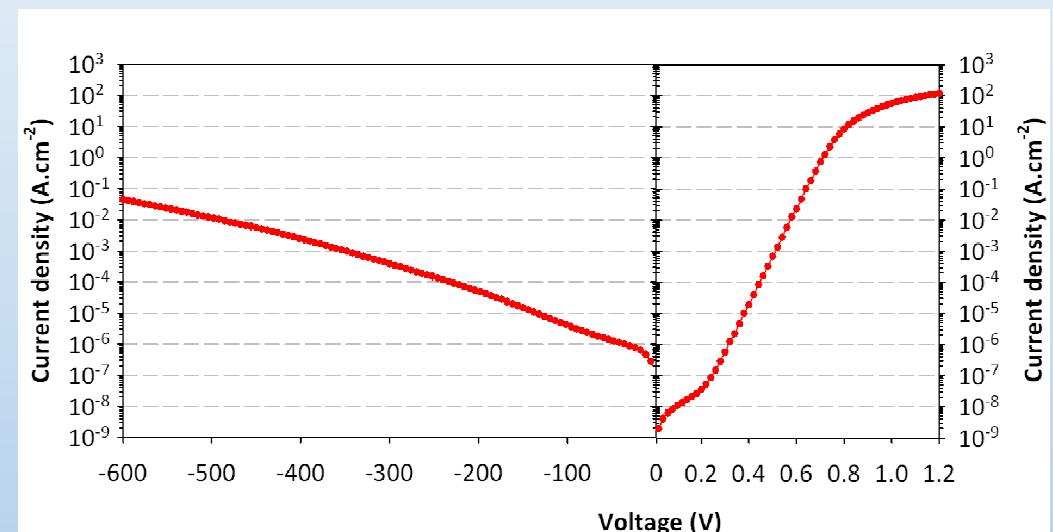


Structure Pseudo-Verticale

# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

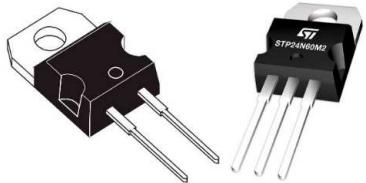
## Les défis:



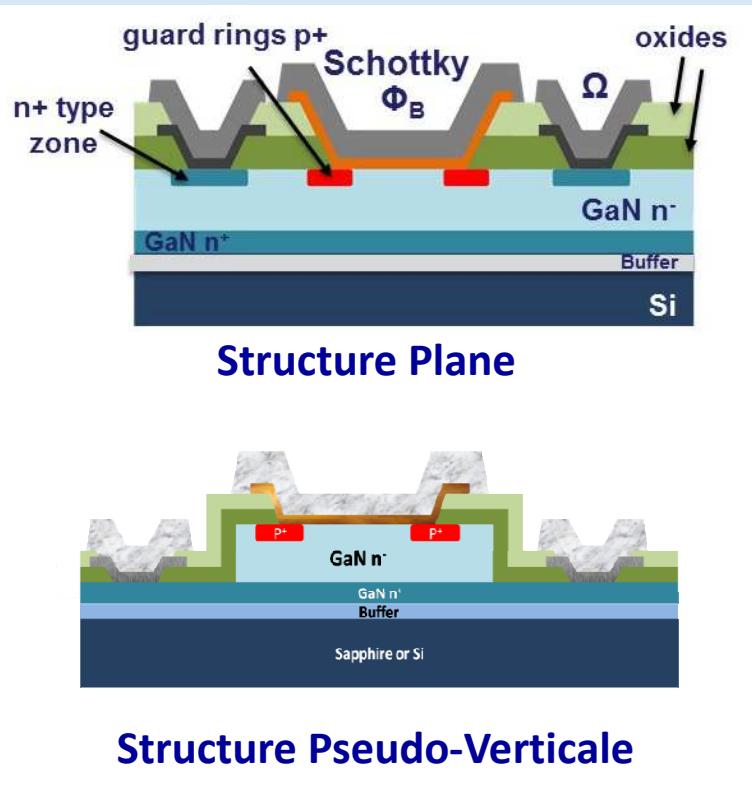
La diode Schottky a les caractéristiques attendues

- ⇒ Caractéristiques en directe:
  - ⇒  $V_{BR} \approx 600V$  et correct  $\Phi_B = 1,1\text{eV}$  and  $n=1,09$
  - ⇒  $I_r @ 600V$  trop élevé (compare au SiC)

Composants de puissance



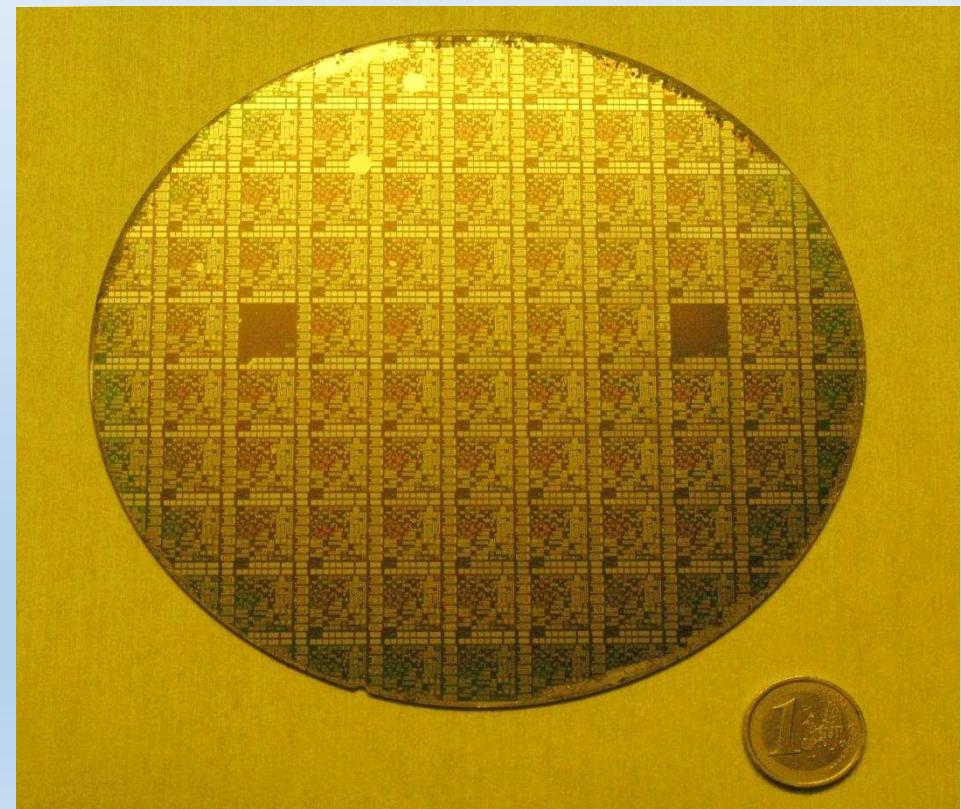
2 projets nationaux:  
G2REC et TOURS 2015



# La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC  
Véhicules hybrides  
Conversion photovoltaïque

Les défis:



→ First wafer GaN/Si 6" !!



## *Composants de puissance sur matériaux « grand gap »:*

*Intérêts, applications et développements en cours pour le GaN*

Séminaire technologique sur l'électronique de puissance

ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Enjeux et solutions innovantes d'un marché en plein essor

Jeudi 12 juin 2014

à Polytech' Saint-Nazaire

