

L'électronique de puissance

**Un champ de valeur porteur
de grandes innovations**

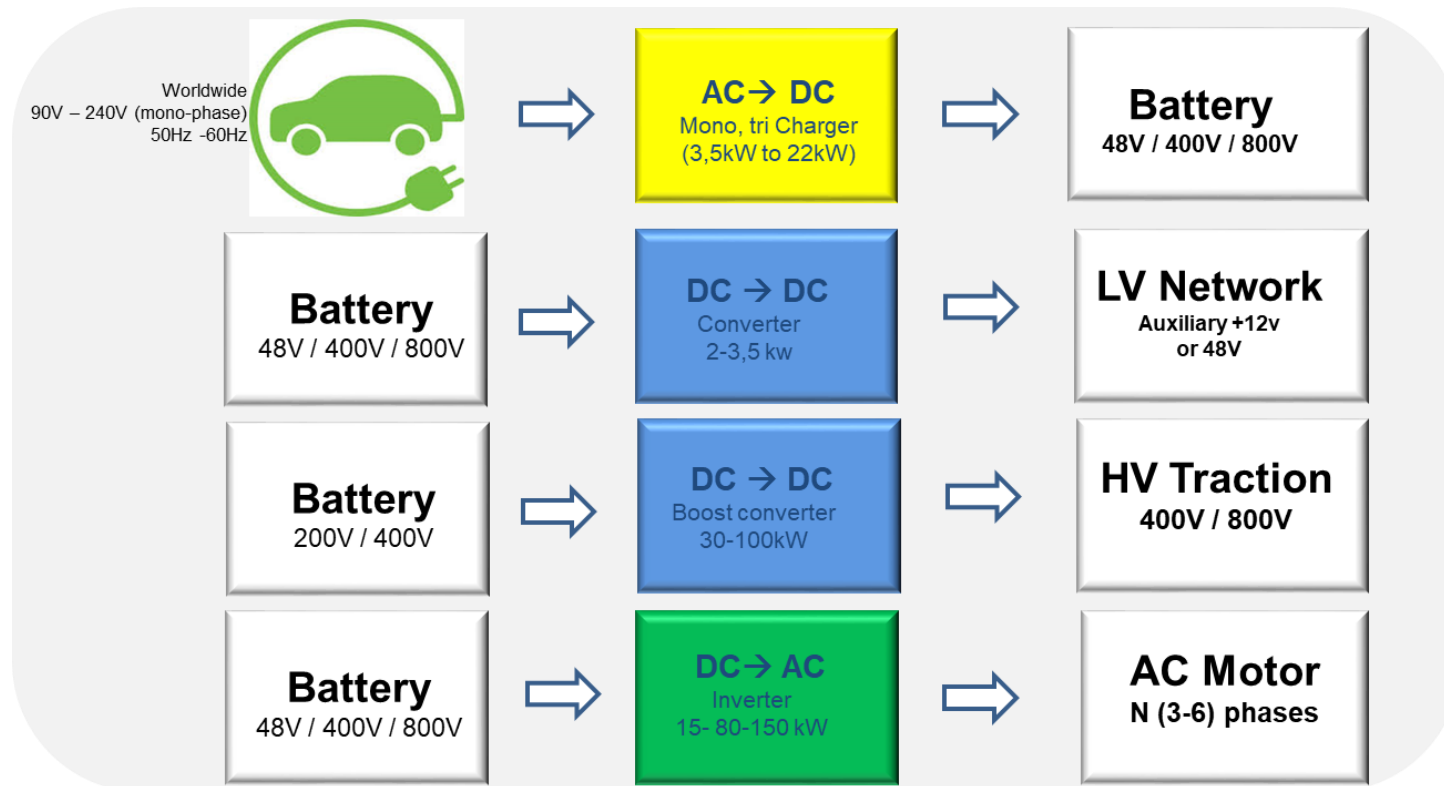
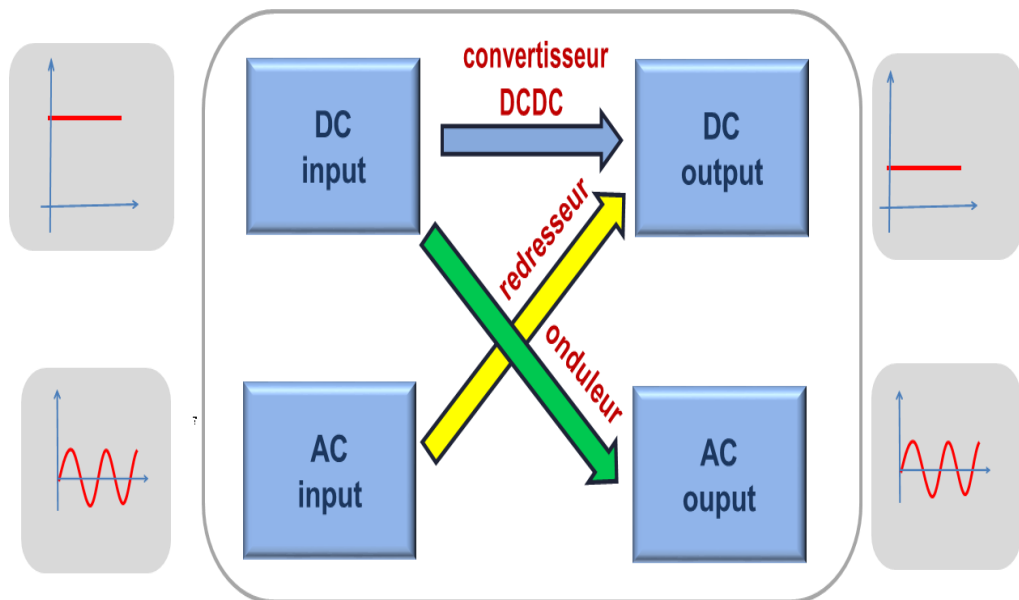
L'Électronique de puissance est un enjeu majeur

- L'électronique de puissance est un **champ de valeur structurant** (entre 300 et 1000€ par voiture)
→ il est **essentiel d'être au top** sur ces systèmes
- Secteur en pleine mutation : **volume x 7 et mutation technologique Wide Band Gap d'ici 2030**
→ c'est **maintenant** qu'il faut prendre les bons aiguillages
- La **France dispose de bons atouts** (acteurs industriels, labos de recherche) déjà **mobilisés**.



**Le plan de relance est l'opportunité pour localiser en France
Ambition : plus de 2.5 G€, soit 25% du business Europe 2030**

Quelque soit l'architecture (xEV), l'électronique de puissance gère les flux entre les sources d'énergie et les consommateurs

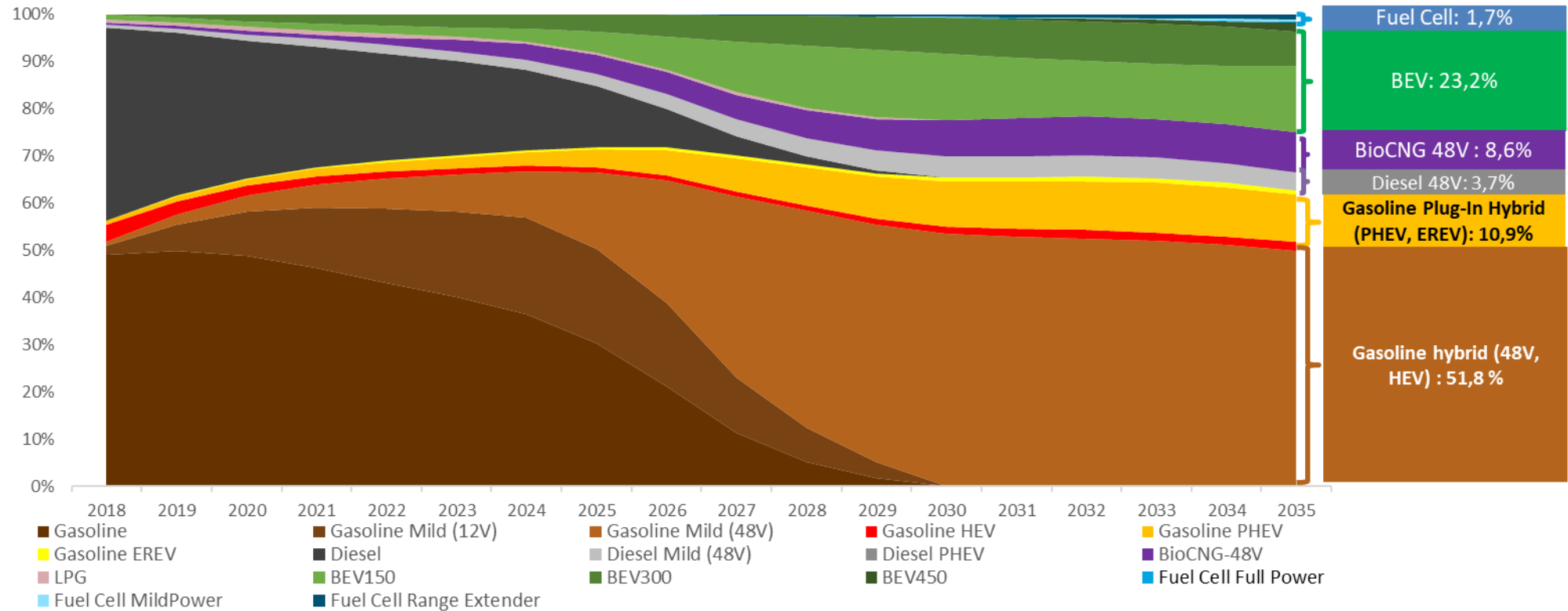


3 familles de produits principales:

- Chargeur embarqué : OBC
- Convertisseur DC-DC
- Onduleur

Le Véhicule Electrifié (xEV*): en Europe, 100% du marché électrifié avant 2030

48V HV

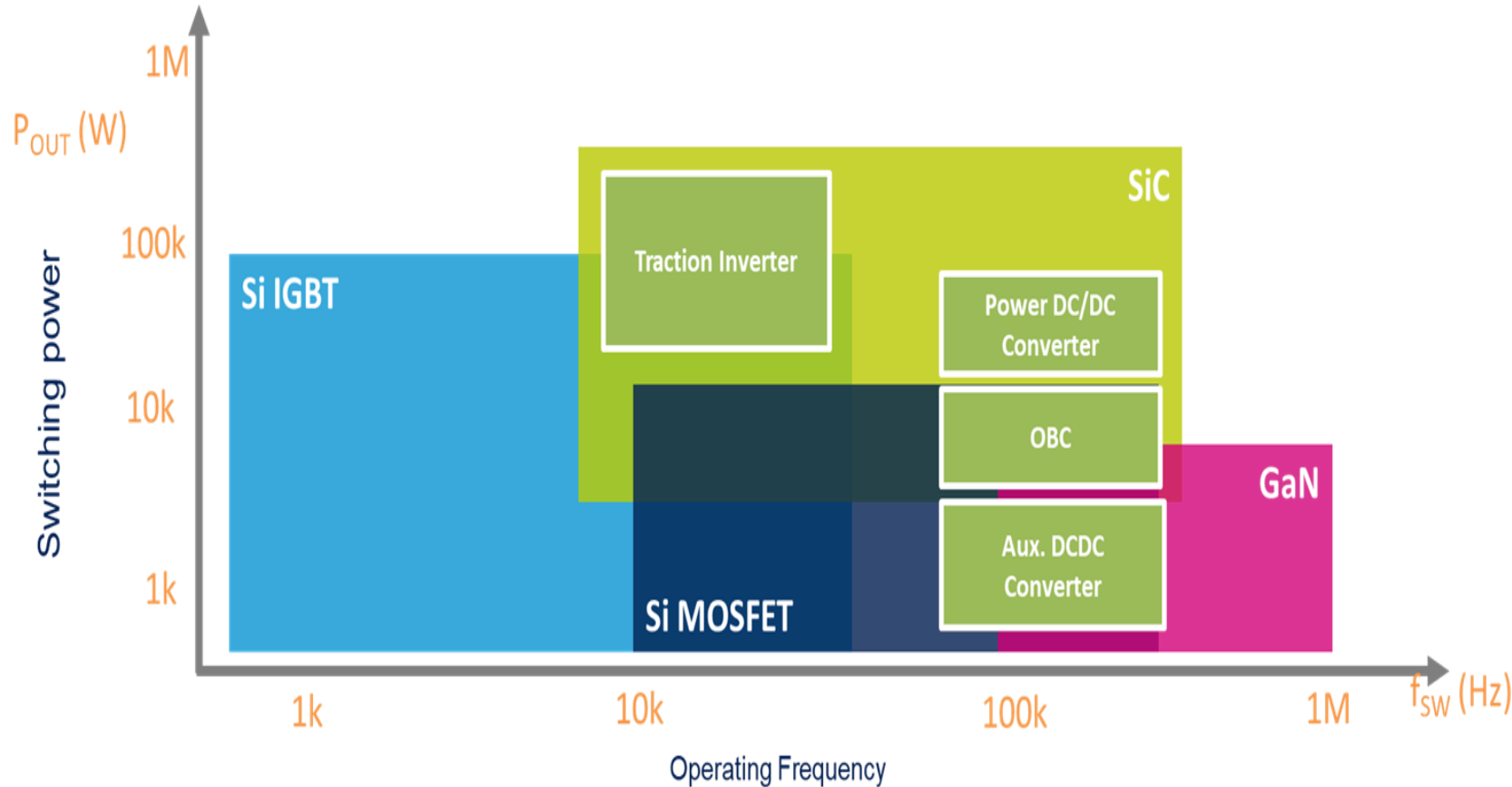


D'ici 2030,

- 100% du marché avec onduleur et DC/DC. Une part des 48V jusqu'à 60%.
- 1/3 du marché inclura un OBC en haute tension. Voltage dans la plage 400/800V

* xEV : mild hybride (mHEV), full hybride (HEV), hybride rechargeable (pHEV), véhicule électrique (BEV)

L'Electronique de Puissance va vivre une révolution technologique, les « WIDE BAND GAP », SiC et GaN viennent bousculer les solutions Silicium (IGBT et MOSFET)...



Un facteur essentiel de compétitivité pour l'Automobile...

	Electronique de puissance Valeur moyenne par véhicule(€)	Marché Europe	CA Europe (G€)
2020	110 €	13%	1.6 G€
2030	670 €	100%	10.5 G€

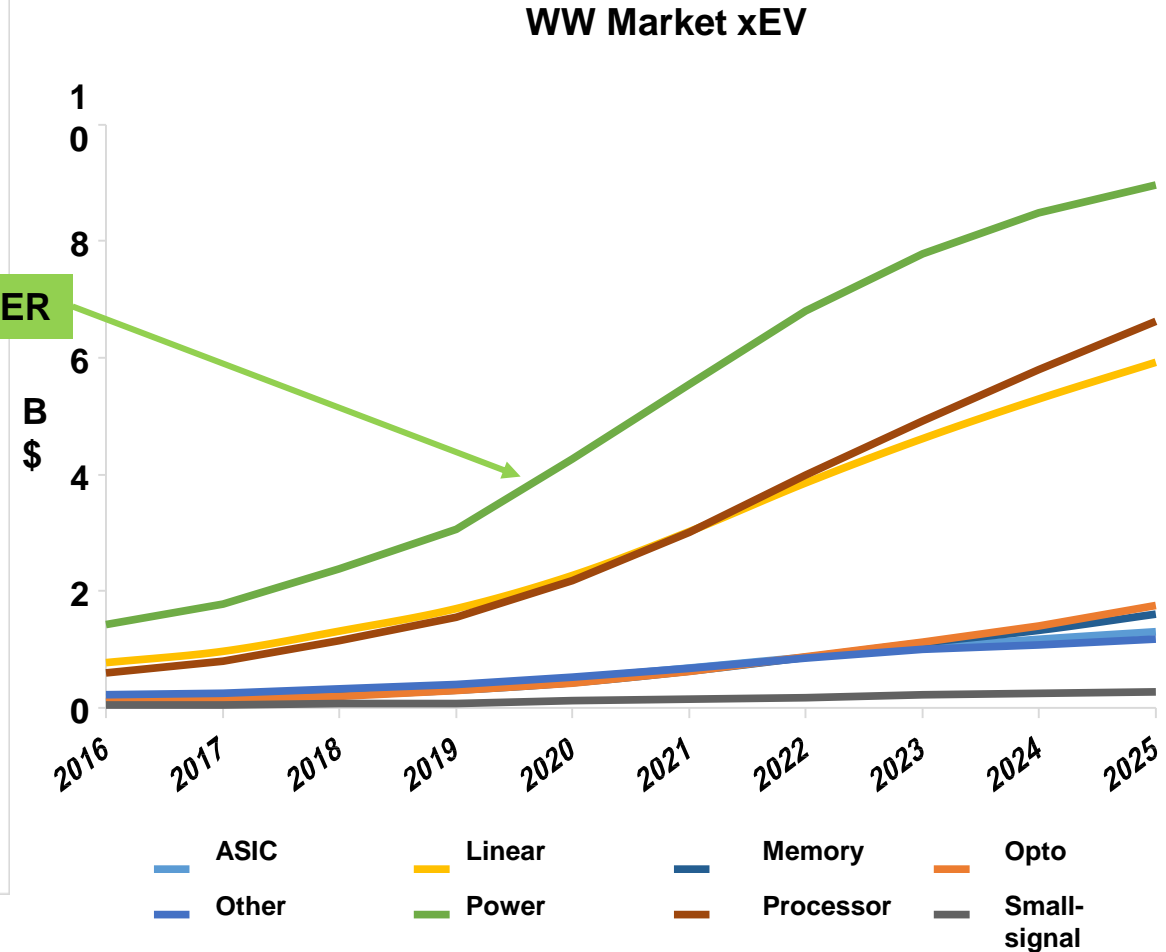
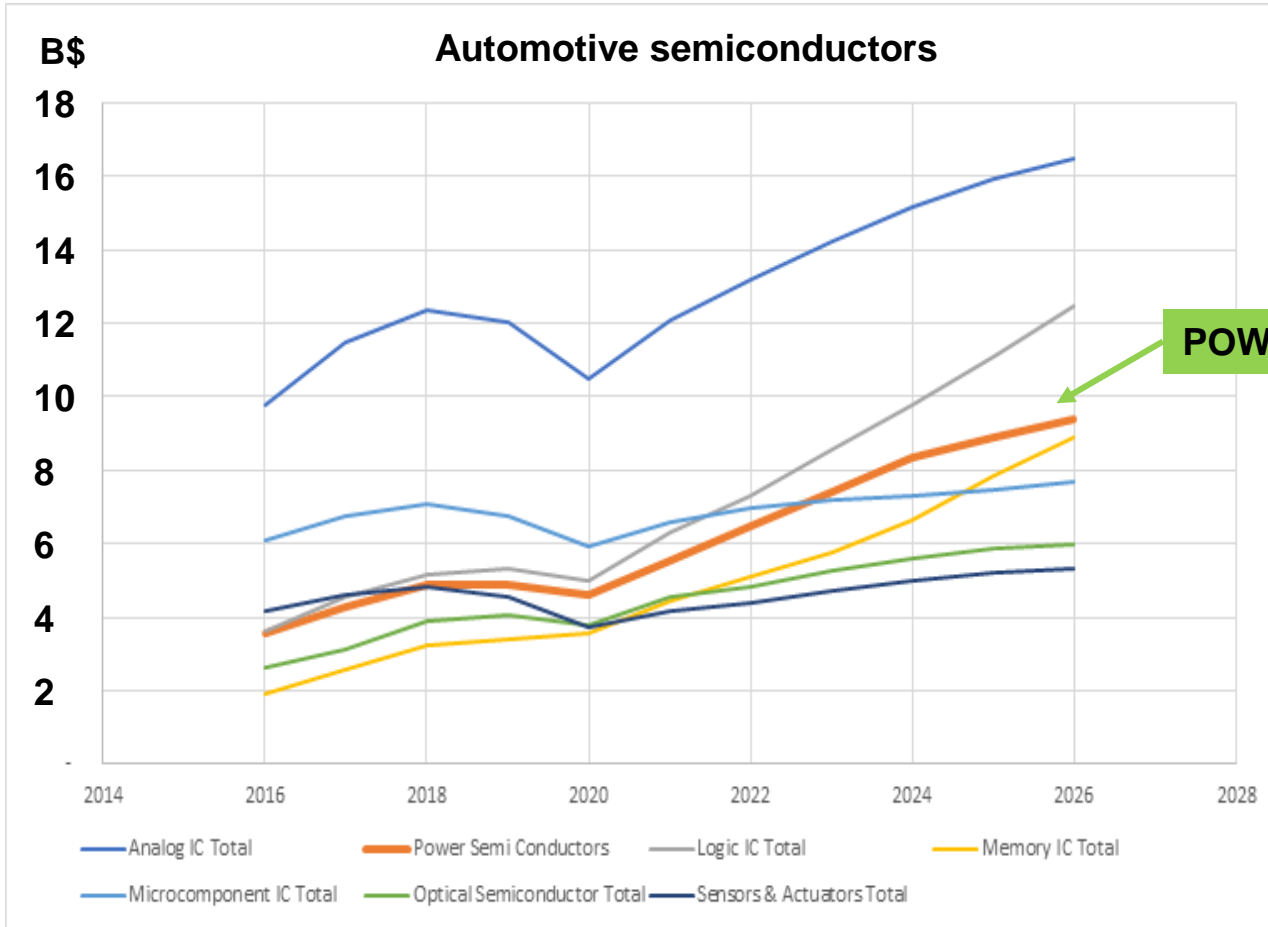
Ambition Fr : 2,5 G€

Le coût de l' Electronique de puissance représente pour un VE:

- 80% à 110% du coût d'un moteur essence complet

Potentiel de + 4 000 emplois R&D et Production en France en 2030
(filière automobile seule)

... et un marché essentiel pour la Filière Electronique

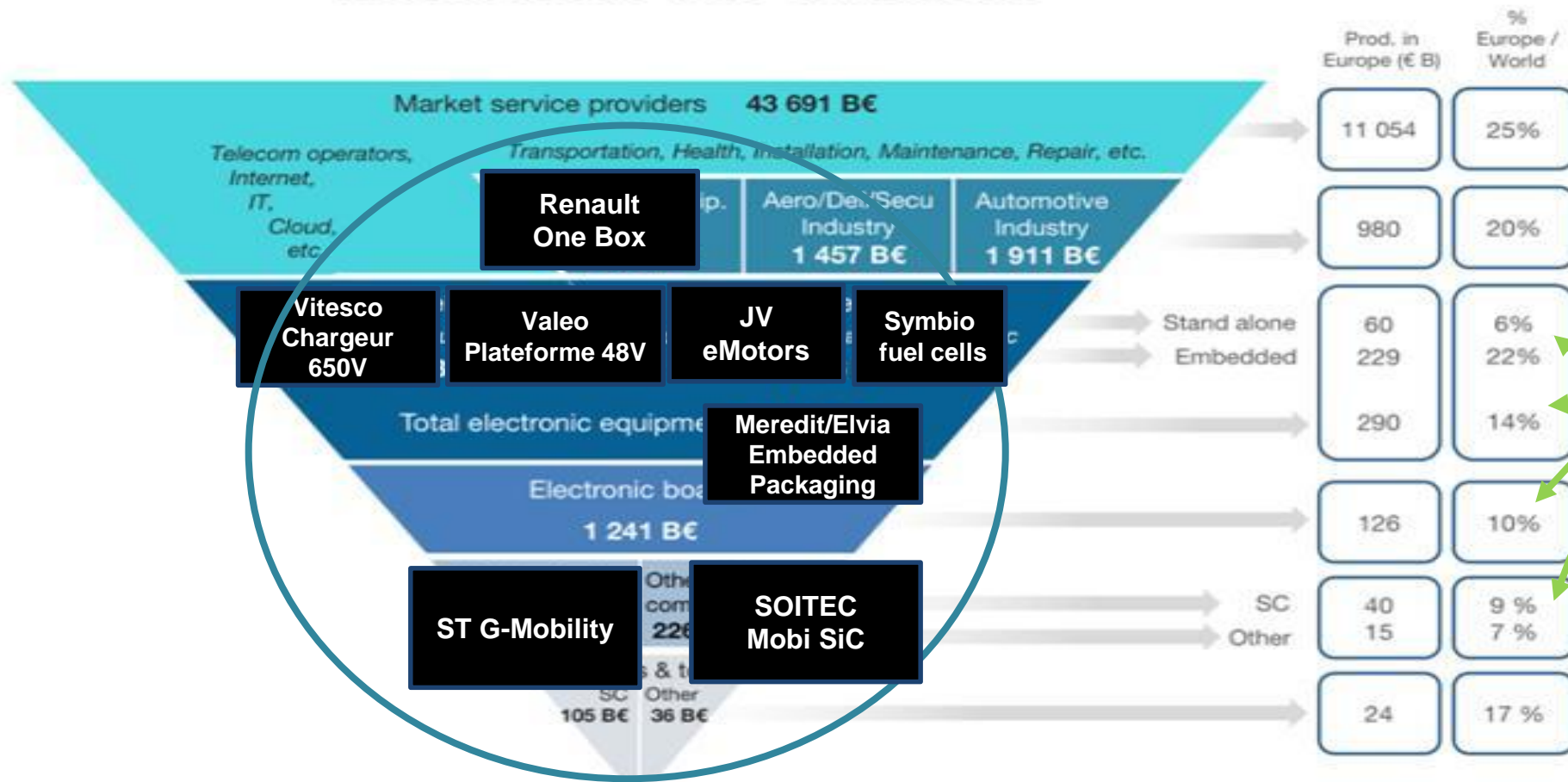


Source: Strategy Analytics

Vers une chaîne de valeur complète et compétitive en France...

12 projets parmi les 27 retenus dans le CORAM en lien avec électronique de puissance

World Electronic Value Chain in 2018

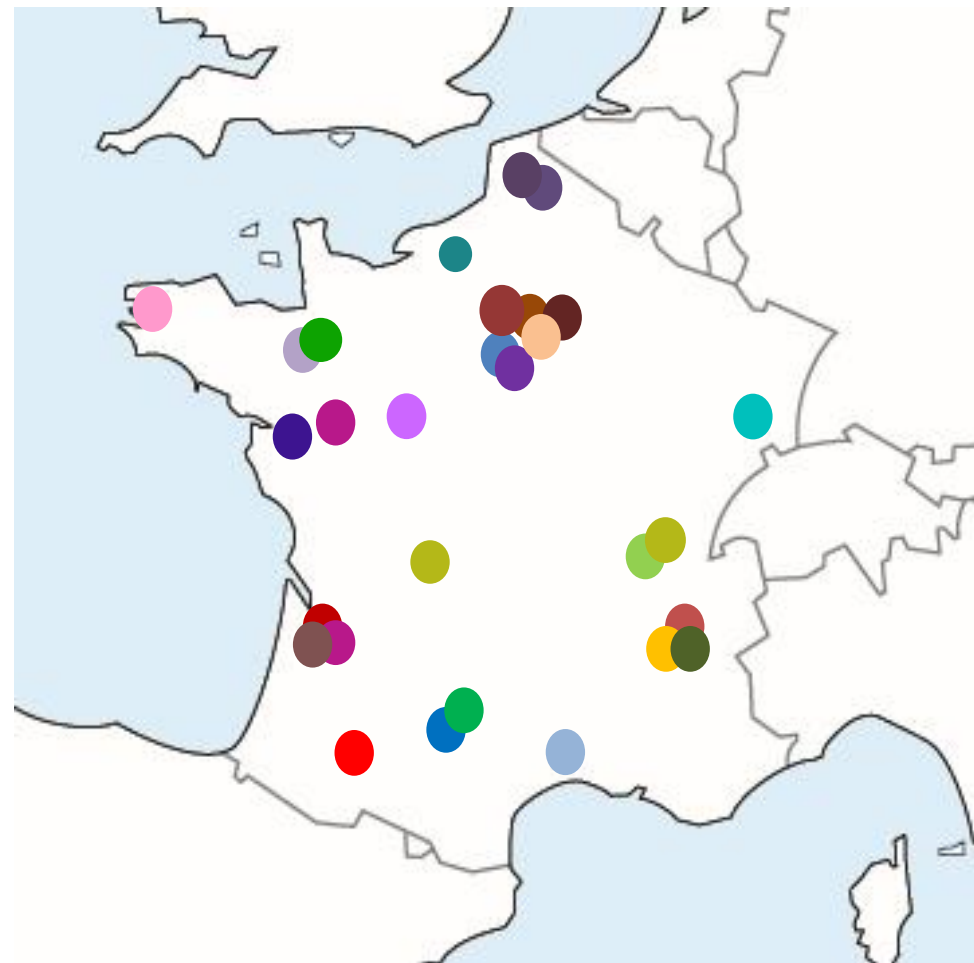


Maillons faibles

... et la France dispose d'atouts forts : Recherche et Industrie



 **23 Plants**
 **24 R&D centers**



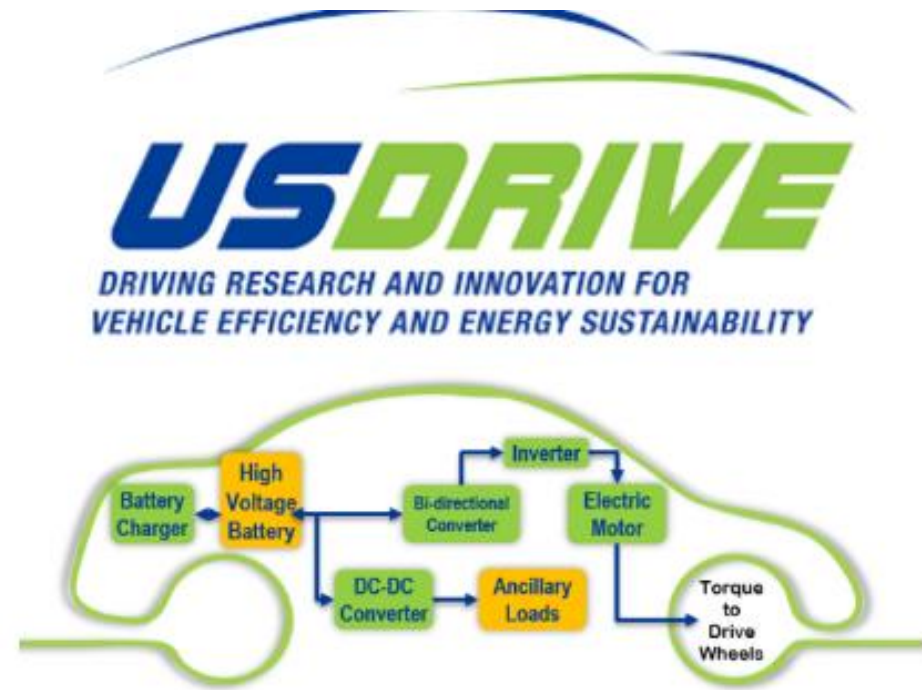
 **35 Research labs**
>800 researchers

La course à la performance est engagée!

On-Board Charger	2020	2025	Change
Cost, \$/kW	50	35	30% cost reduction
Specific power, kW/kg	3	4	33% weight reduction
Power density, kW/L	3.5	4.6	24% volume reduction
Efficiency	97%	98%	33% loss reduction

DC/DC Converter	2020	2025	Change
Cost, \$/kW	<50	30	40% cost reduction
Specific power, kW/kg	>1.2	4	70% weight reduction
Power density, kW/L	>3.0	4.6	50% volume reduction
Efficiency	>94%	98%	60% loss reduction

Traction Inverter	2020	2025	Change
Cost, \$/kW	8	6	25% cost reduction
Power density, kW/L	4.0	33	88% volume reduction



- Industry association for EV
- Analysis on each key electronic system of the price/performance needed:
 - For Consumers
 - For Automobile makers
 - Expressed as targets for the Tier 1's

L'ambition du programme est de viser l'excellence

➤ Excellence des produits :

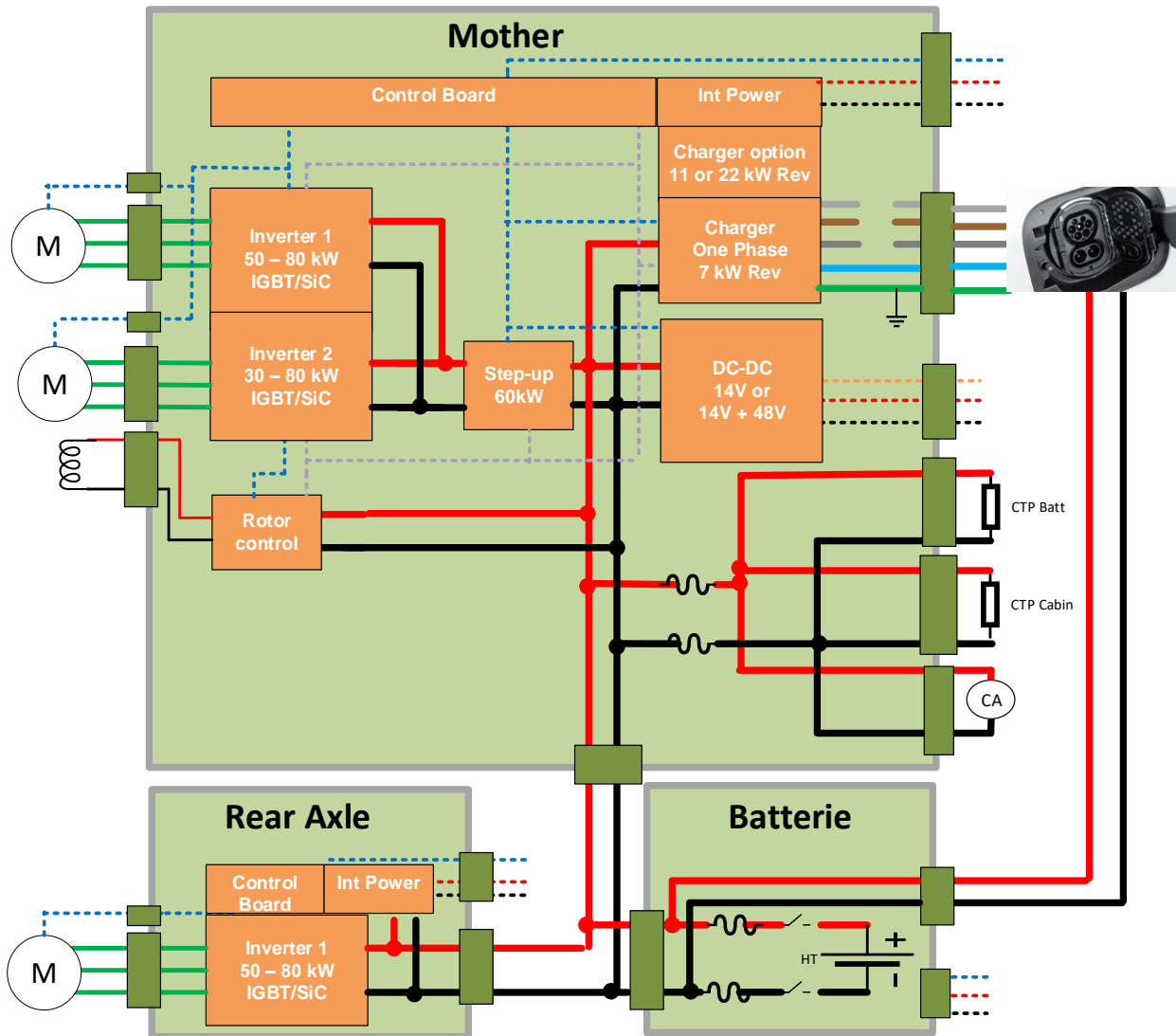
- gagner plus de 30% en compacité
- gagner plus de 3 points en rendement
- Simplifier les systèmes : refroidissement par convection, par exemple
- Réaliser le ratio valeur/coût le meilleur du marché

➤ Excellence des process :

- Conception modulaire et standardisée pour minimiser les tickets d'entrée
- Process de fabrication compétitifs en France
- Cycle de vie optimal pour minimiser l'impact environnemental

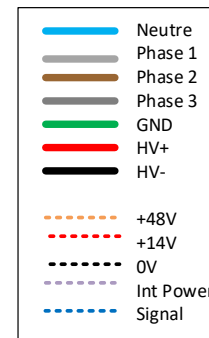
L'ambition est d'avoir toutes les raisons de localiser en France

Exemple du projet Renault « One Box » (CORAM 2020)

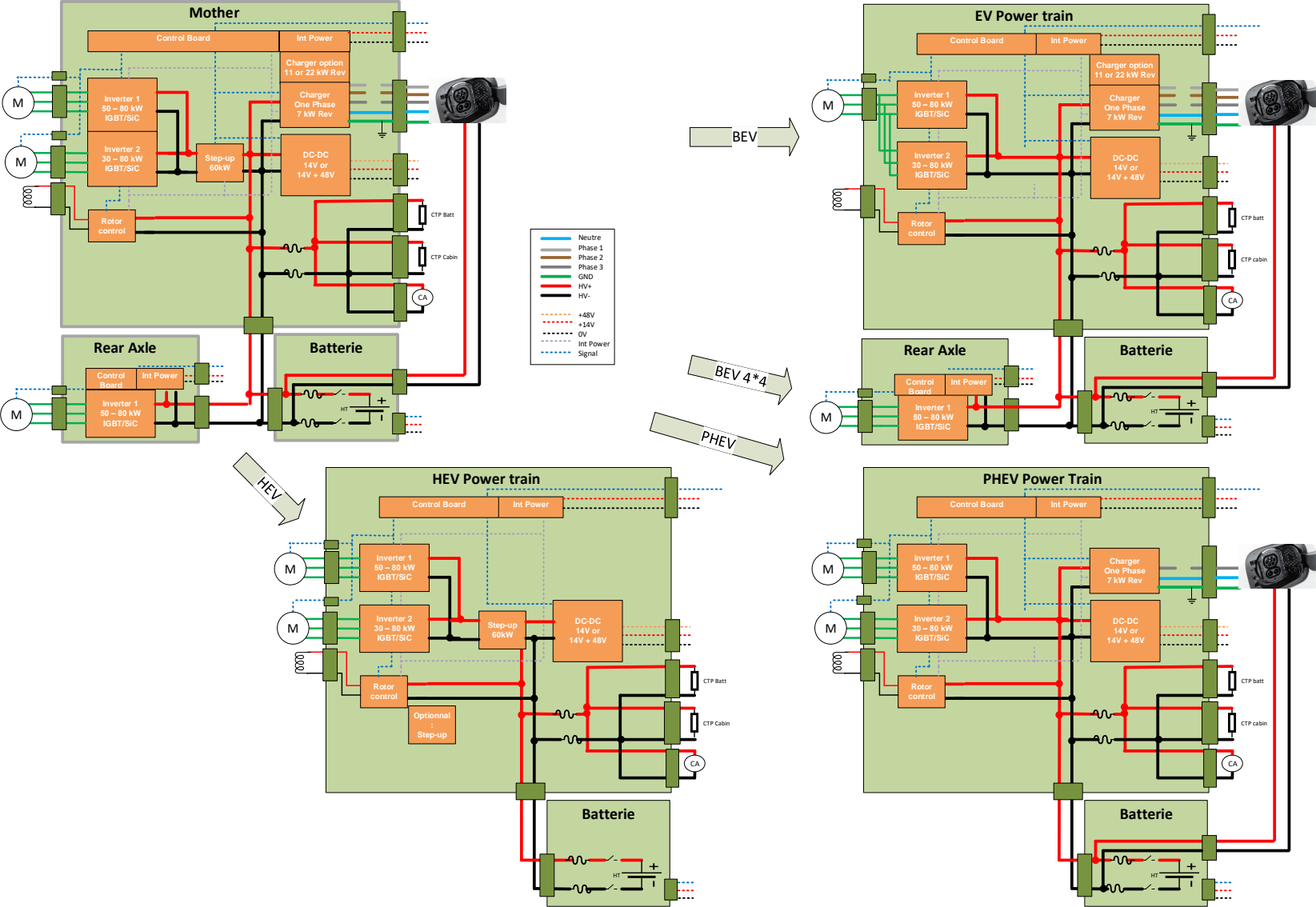


OBJECTIFS AMBITIEUX

- **Compacité => - 30 % volume ***
- **A haut rendement (cibles à 95 % chargeur, 96 % DCDC, et 98.5 % onduleurs)**
- **Abordables (-30 % coût *)**
- **Standardisée (conception et industrialisation)**



Et sa déclinaison sur toutes les applications xEV



La performance système : optimum requiert excellence des actifs, des passifs, PCB, Busbars, refroidissement...



Power Supply with Silicon



Power Supply with GaN



Compact bus bar for EV application

Bus bar assembly for power distribution in EV application

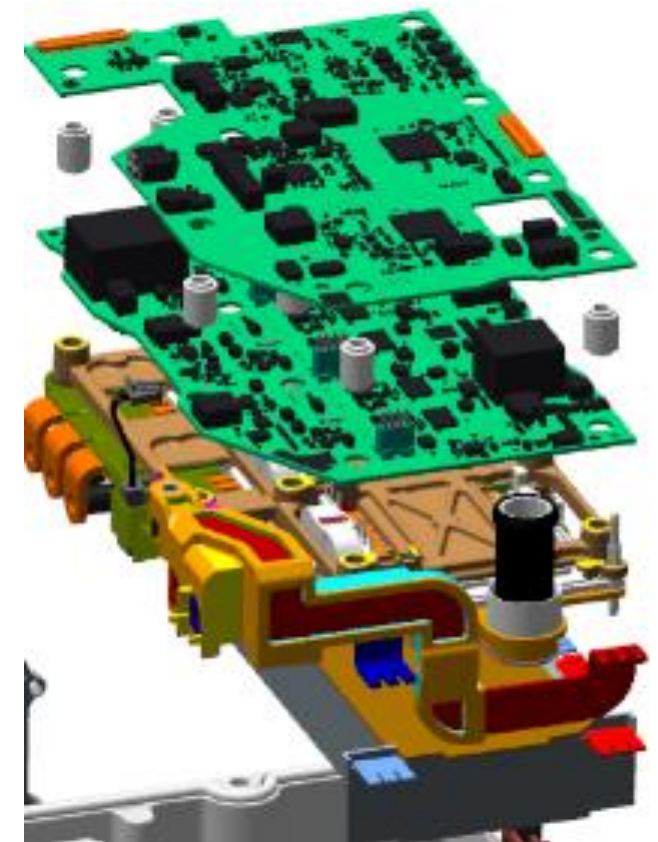


Monitoring bus bar examples for battery connections

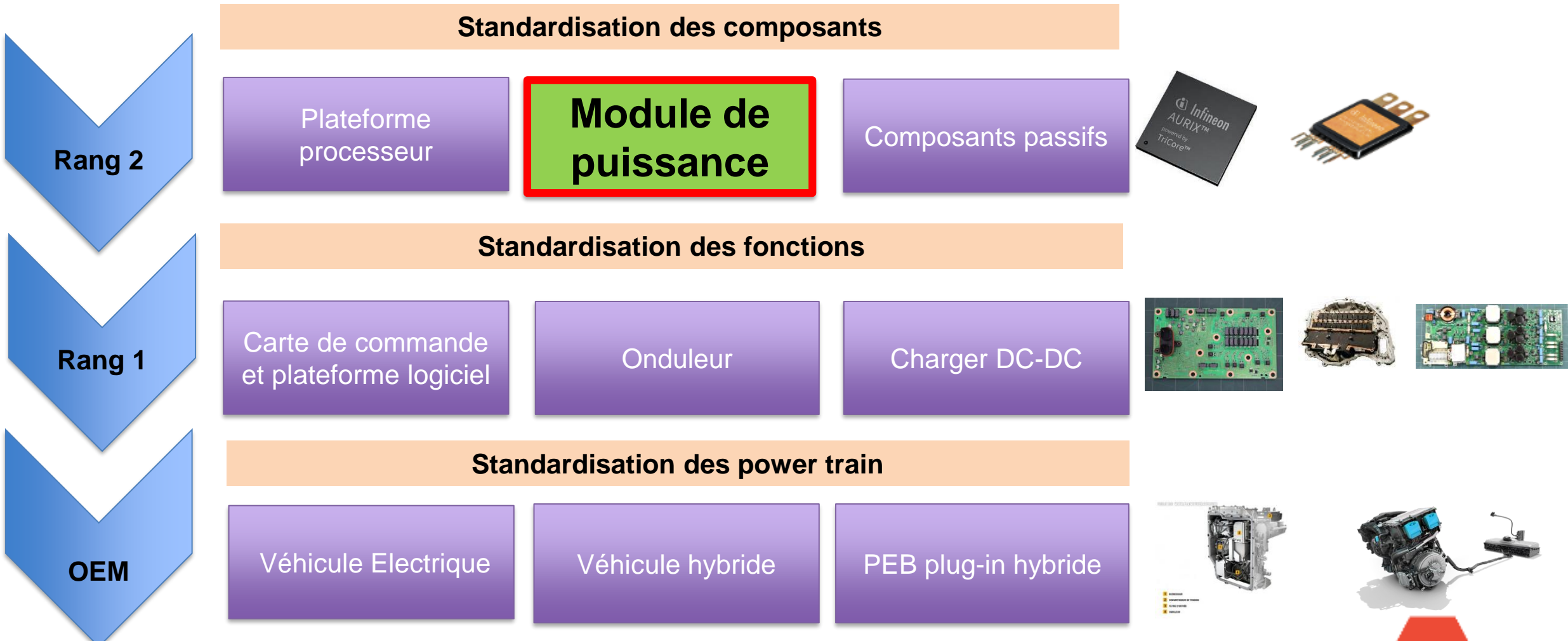


FisherLink™: Laser welded Low-inductance [bus bar-cap] connection for SiC DC-Link

- Extremely low inductance $<9\text{nH}$
- Up to $+20\%$ capacitance in a given volume



La standardisation est un axe essentiel pour la compétitivité : la PFA a fait le choix de se concentrer sur le module de puissance



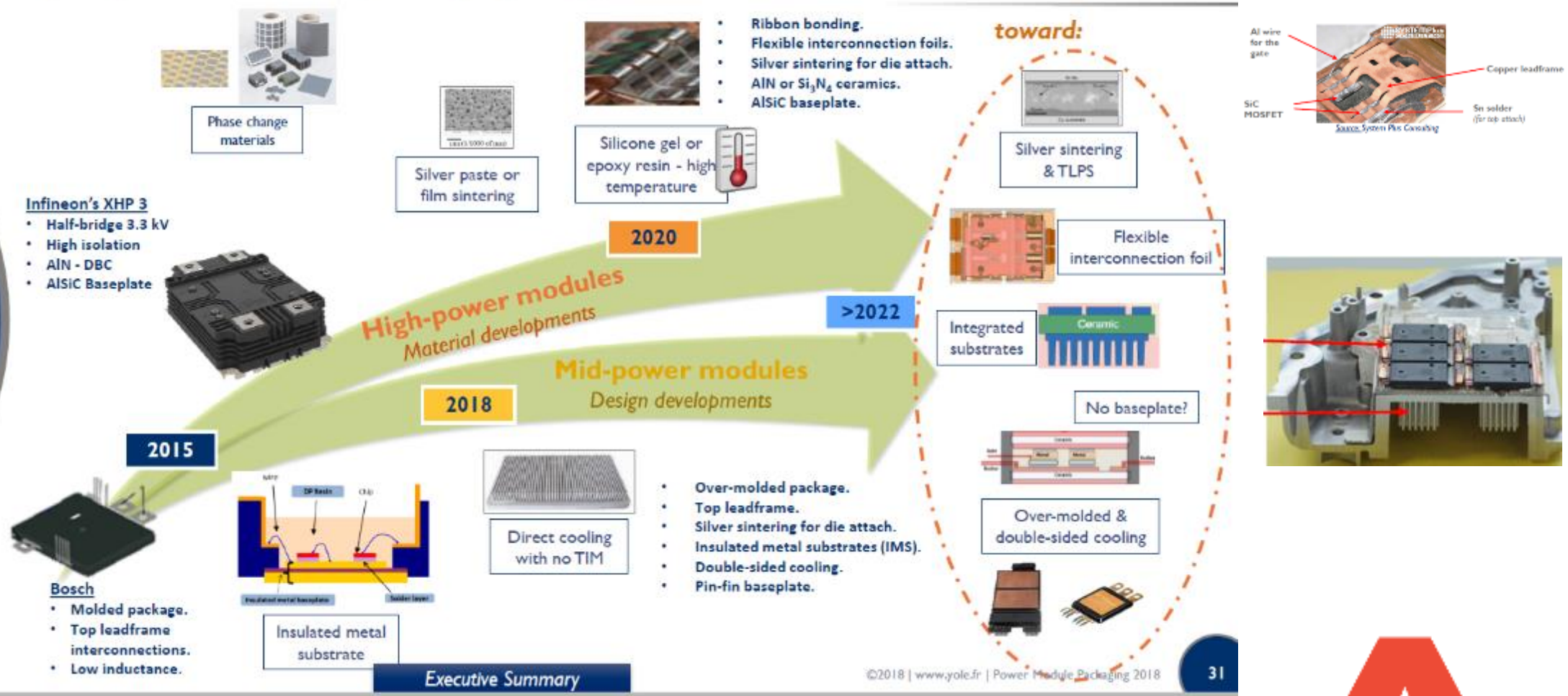
Le module de puissance : >30 % de la valeur d'un onduleur

Les modules de puissance en pleine révolution!

GLOBAL TRENDS FOR POWER MODULE PACKAGING

Roadmap of power module packaging design

In the future, power modules will be reshaped entirely, with material or design changes depending on the power level targeted.



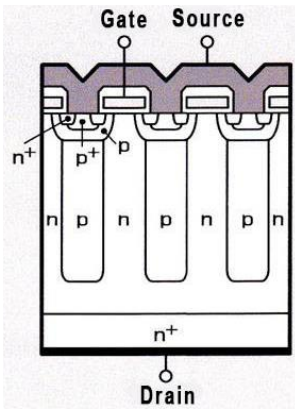
Les wide band gap change radicalement la donne

Wide bandgap : champ électrique ($>200\text{V}/\mu\text{m}$) environ 10x haut que le Si

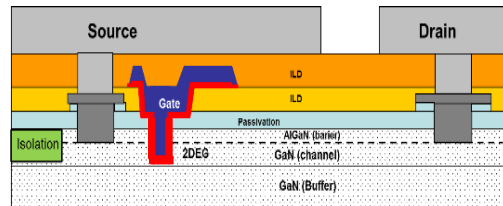
HEMT : High electron mobility Transistor ($2000\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) \rightarrow switch à très haute fréquence

Forte augmentation de la densité de courant (\rightarrow compacte et efficient) :

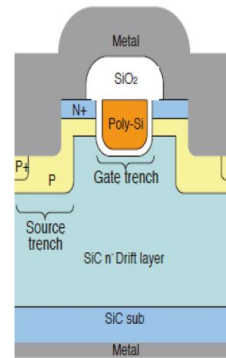
IFX Coolmos C7
 $20\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$



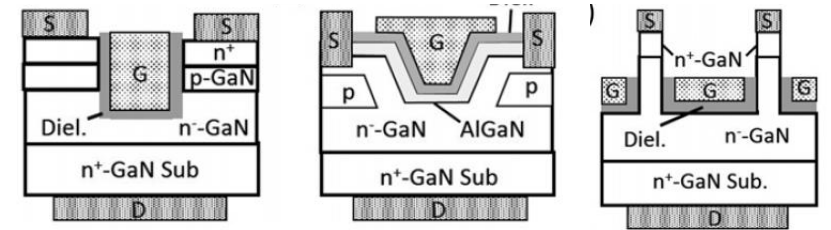
GaN HEMT lateral
(CEA)
 $5\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$



MOS SiC trench
(Rohm)
 $4\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$

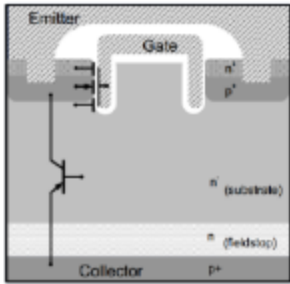


MOS GaN vertical (Academic Research) :
 $1\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$

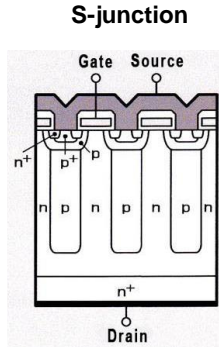


Les wide band gap et leur potentiel futur

IGBT / Si Mosfet

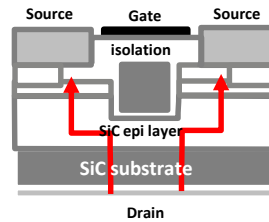


IGBT gate : Shema from Infineon



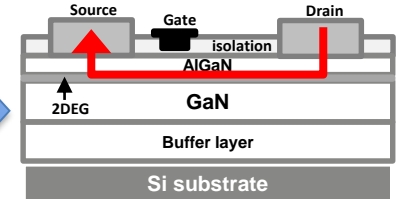
Silicium to SiC :
 Better efficiency and power density
 => CO2 reduction
 => Volume reduction

SiC Mosfet



SiC to Gan
 Higher frequency and lower Wafer Cost
 => Cost reduction
 => Volume reduction

GaN



- Inverter low power

- Step-up
- Inverter for high power

- Charger
- DC/DC



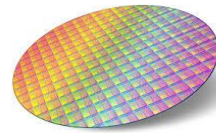
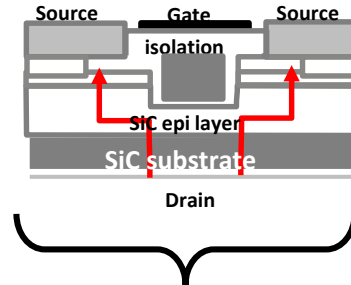
FE Inverter SiC evolution



Power supply Si to Gan evolution

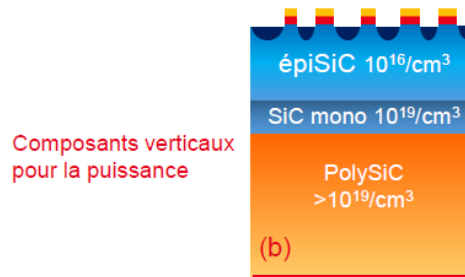
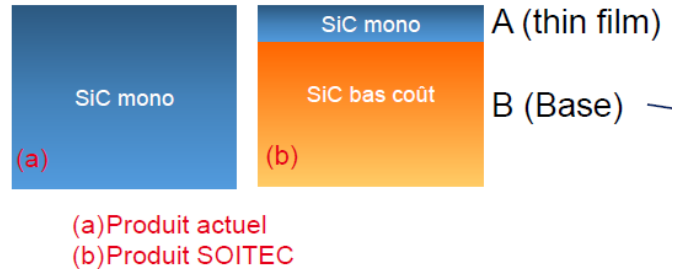
SiC : impératif de réduire le gap en coût avec Si

- To move to bigger wafers :



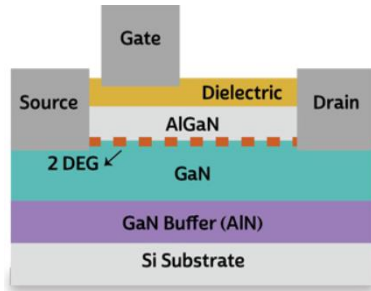
6 inches to 8 inches and beyond

- Other actions as “smart cut”



GaN : impératif du « normally-off » et qualification automobile

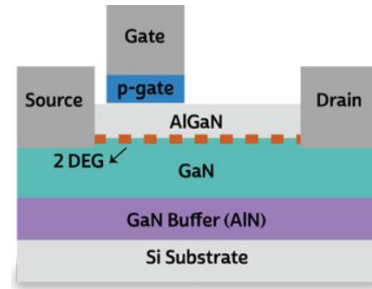
D-Mode GaN HemT (Normally-On device)



- + : Robust design
8" available process
- : Normally On Device



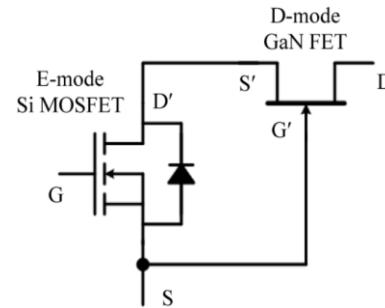
E-Mode GaN HemT (Normally Off device)



- + : Normally off Device
=> Application oriented
- : Risk on Gate Isolation
6" available process



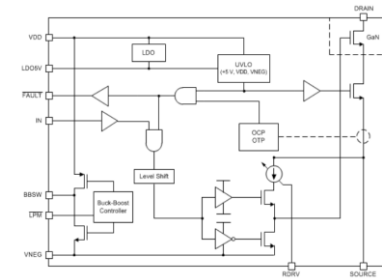
D-Mode GaN with LV Si MOSFET in Cascode



- + : Normally off circuit,
control via Si MOSFET Gate
=> Application oriented
- : 2 chips Solution
Speed of GaN limited by Si MOSFET



D-Mode GaN with LV Si MOSFET in Cascode + integrated driver

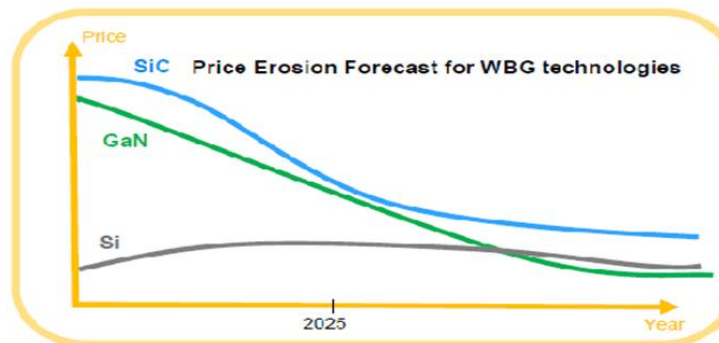


- + : Normally off circuit,
with integrated driver
=> Application oriented
- : 2 chips Solution



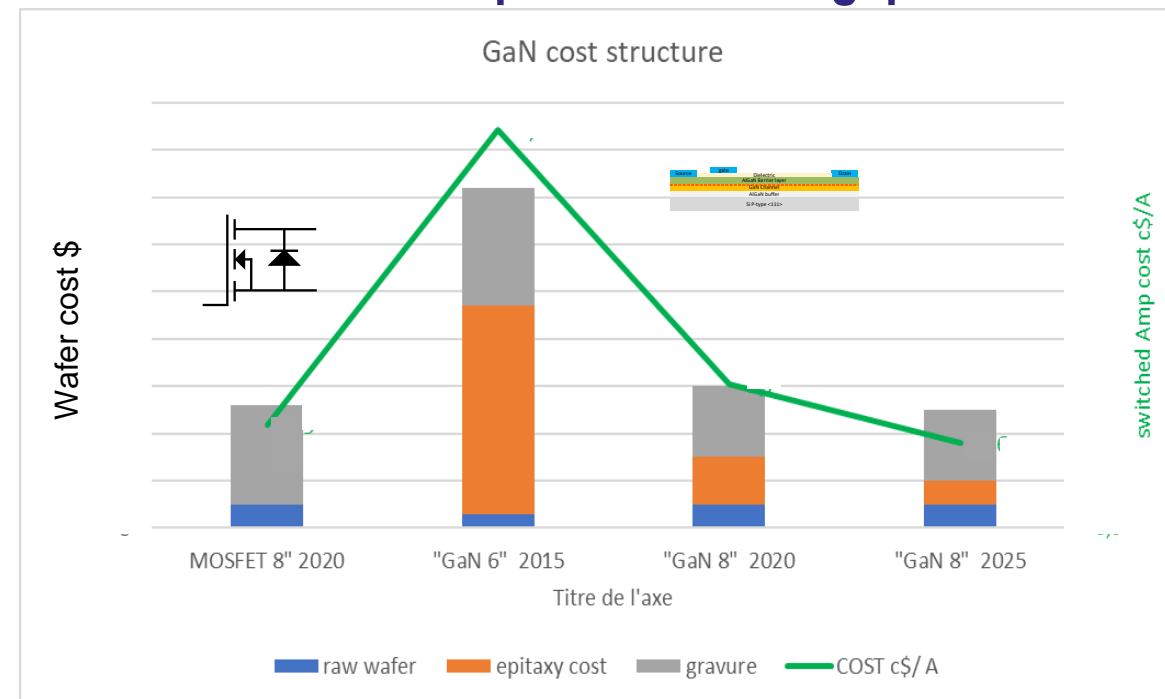
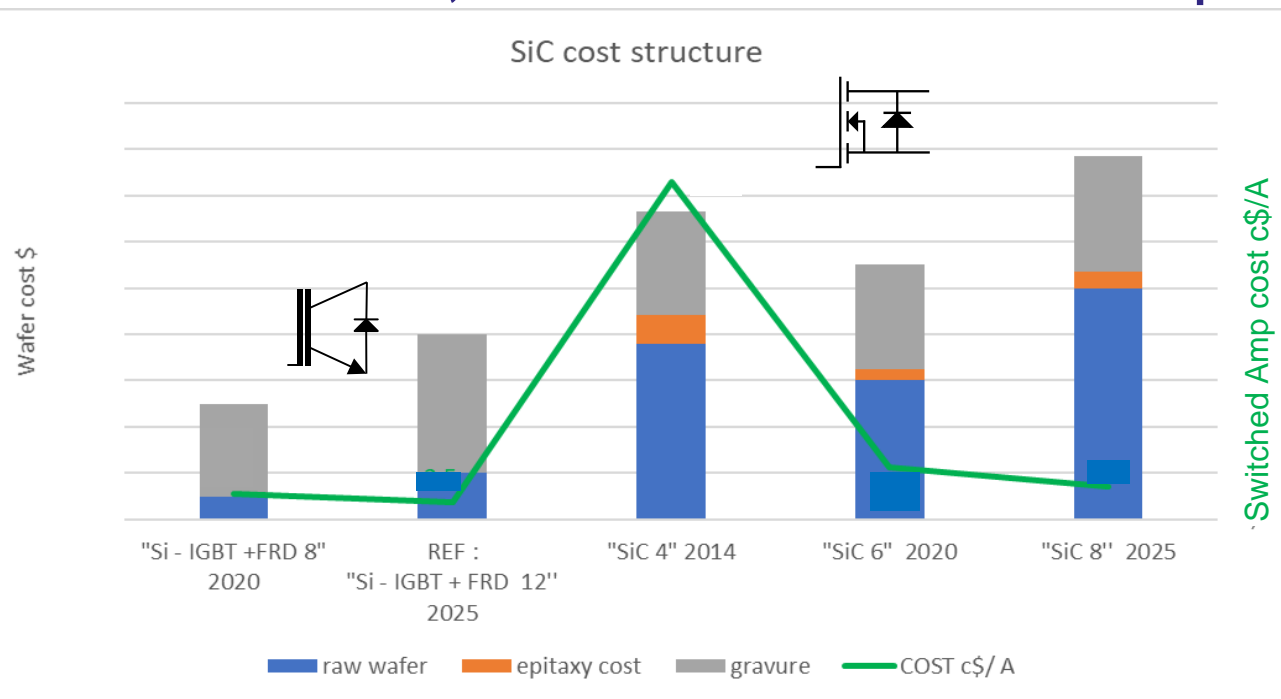
Potentiel important de réduction de coût des WBG ⇔ Si

La courbe d'apprentissage est engagée:



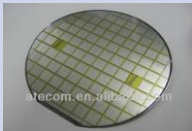






Le coût de l'Ampère commuté du GaN va devenir inférieur à celui des MOSFET

Pour les onduleurs, les IGBT resteront moins chers que le SiC au niveau du composant mais le gap se réduit



Le GT standardisation du programme a évalué les possibilités de localisations performantes en France

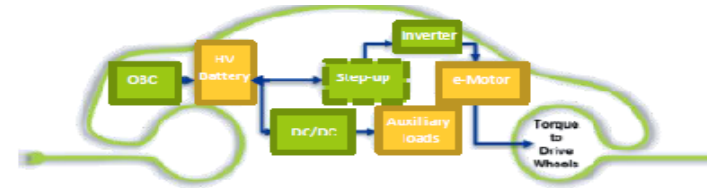
Composants Module de Puissance

	Puce SiC,IGBT,Gan	Substrat	Soldering / Sintering	Bases plates	Housing + connections	Gel	Molding
							
Production possible en France	Puces GAN => ST	Non : leader existant	Oui à développer	Oui à développer	Oui à développer	Non : leader existant	Oui développer

Assemblage Module de Puissance

	Gel filled Power module	Overmolded 1 switch small	Overmolded 1-3 Phase	Die in PCB (Charger/DC-DC)	Pas Automobile	Support / Labos
						
Production possible en France	oui : Valeo, Vitesco, Thales ?	Non : pas de plus value / back end Asie	oui : Valeo, Vitesco, Thales ?	Que si nouveaux fournisseurs de PCB		

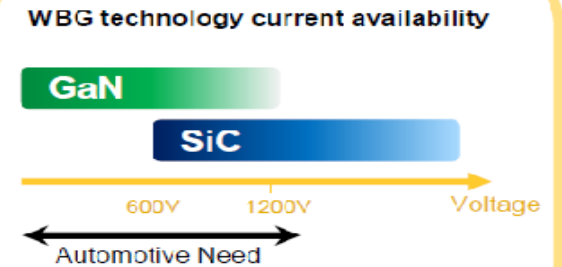
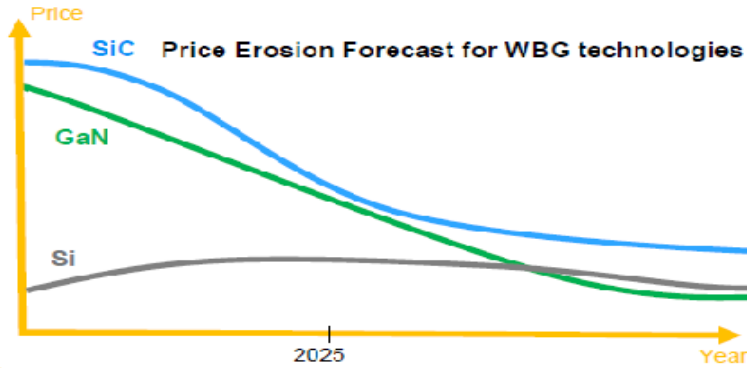
La transformation est très rapide et il faut aller très vite :



Weight reduction !



WBG brings clear advantage in terms of **Size**, **Efficiency** and **system level Cost**



	Today	2020	2025 +
OBC	Si	SiC	GaN
DC/DC	Si	SiC?	GaN
Step - up	Si	SiC	GaN
Inverter	Si	SiC	?

WBG adoption in EV/HEV

La mutation technologique vers SiC et GaN va se produire avant 2030
Chacune de ces technologie aura son domaine privilégié

En synthèse

Enjeux automobile :

- **autonomie et/ou gains en CO2** ⇔ **>30%** de réduction des pertes des onduleurs
- **compacité** : **> 30%** du volume de ces objets
- **compétitivité** : faire face à la menace chinoise ⇔ **-50% BEV et -30% HEV/PHEV** en coût
- **programme national** des deux filières automobile et électronique : **industrie Française opérationnelle dès 2025-2026.**

En synthèse

Enjeux automobile :

- **autonomie et/ou gains en CO2** ⇔ >30% de réduction des pertes des onduleurs
- **compacité** : > 30% du volume de ces objets
- **compétitivité** : faire face à la menace chinoise ⇔ -50% BEV et -30% HEV/PHEV en coût
- **programme national** des deux filières automobile et électronique : **industrie Française opérationnelle dès 2025-2026.**

La stratégie : pousser à fond la mutation vers les WBG avec enjeu de souveraineté (Chine en embuscade)

- **onduleurs haute tension (>48V)** : privilégier le **SiC** ⇔ adapté haute puissance et plage de fréquence suffisante
- **chargeurs embarqués et DC/DC** : privilégier le **GaN** ⇔ très haute fréquence et capacité de puissance suffisante
- **onduleurs basse tension <48V** : considérer le **GaN** ⇔ capacité puissance et plage de fréquence suffisantes

En synthèse

Enjeux automobile :

- autonomie et/ou gains en CO2 \Leftrightarrow >30% de réduction des pertes des onduleurs
- compacité : > 30% du volume de ces objets
- compétitivité : faire face à la menace chinoise \Leftrightarrow -50% BEV et -30% HEV/PHEV en coût
- programme national des deux filières automobile et électronique : **industrie Française opérationnelle dès 2025-2026.**

La stratégie : pousser à fond la mutation vers les WBG avec enjeu de souveraineté (Chine en embuscade)

- onduleurs haute tension (>48V) : privilégier le **SiC** \Leftrightarrow adapté haute puissance et plage de fréquence suffisante
- chargeurs embarqués et DC/DC : privilégier le **GaN** \Leftrightarrow très haute fréquence et capacité de puissance suffisante
- onduleurs basse tension <48V : considérer le **GaN** \Leftrightarrow capacité puissance et plage de fréquence suffisantes

Les priorités des percées technologiques :

- **au niveau système** : aucun maillon faible pour réduire l'optimisation des WBG \Leftrightarrow avoir des passifs, busbars, PCB, refroidissement, etc... optimisés pour usage des SiC et GaN
- **SiC** : réduire le gap de coût entre Si (IGBT) et SiC \Leftrightarrow vers des wafers $\geq 8''$ et production compétitive en Europe.
- **GaN** : deux axes incontournables \Leftrightarrow « normally off » optimal (E-mode ?) et qualification automobile au plus vite.
- **Process** : priorité n°1 de minimiser l'empreinte carbone sur l'ensemble du LCA \Leftrightarrow Electricité décarbonée en France

En synthèse

Enjeux automobile :

- **autonomie et/ou gains en CO2** ⇔ >30% de réduction des pertes des onduleurs
- **compacité** : > 30% du volume de ces objets
- **compétitivité** : faire face à la menace chinoise ⇔ -50% BEV et -30% HEV/PHEV en coût
- **programme national** des deux filières automobile et électronique : **industrie Française opérationnelle dès 2025-2026.**

La stratégie : pousser à fond la mutation vers les WBG avec enjeu de souveraineté (Chine en embuscade)

- **onduleurs haute tension (>48V)** : privilégier le **SiC** ⇔ adapté haute puissance et plage de fréquence suffisante
- **chargeurs embarqués et DC/DC** : privilégier le **GaN** ⇔ très haute fréquence et capacité de puissance suffisante
- **onduleurs basse tension <48V** : considérer le **GaN** ⇔ capacité puissance et plage de fréquence suffisantes

Les priorités des percées technologiques :

- **au niveau système** : aucun maillon faible pour réduire l'optimisation des WBG ⇔ avoir des passifs, busbars, PCB, refroidissement, etc... optimisés pour usage des SiC et GaN
- **SiC** : réduire le gap de coût entre Si (IGBT) et SiC ⇔ vers des wafers $\geq 8''$ et production compétitive en Europe.
- **GaN** : deux axes incontournables ⇔ « normally off » optimal (E-mode ?) et qualification automobile au plus vite.
- **Process** : priorité n°1 de minimiser l'empreinte carbone sur l'ensemble du LCA ⇔ Electricité décarbonée en France



Merci pour votre attention