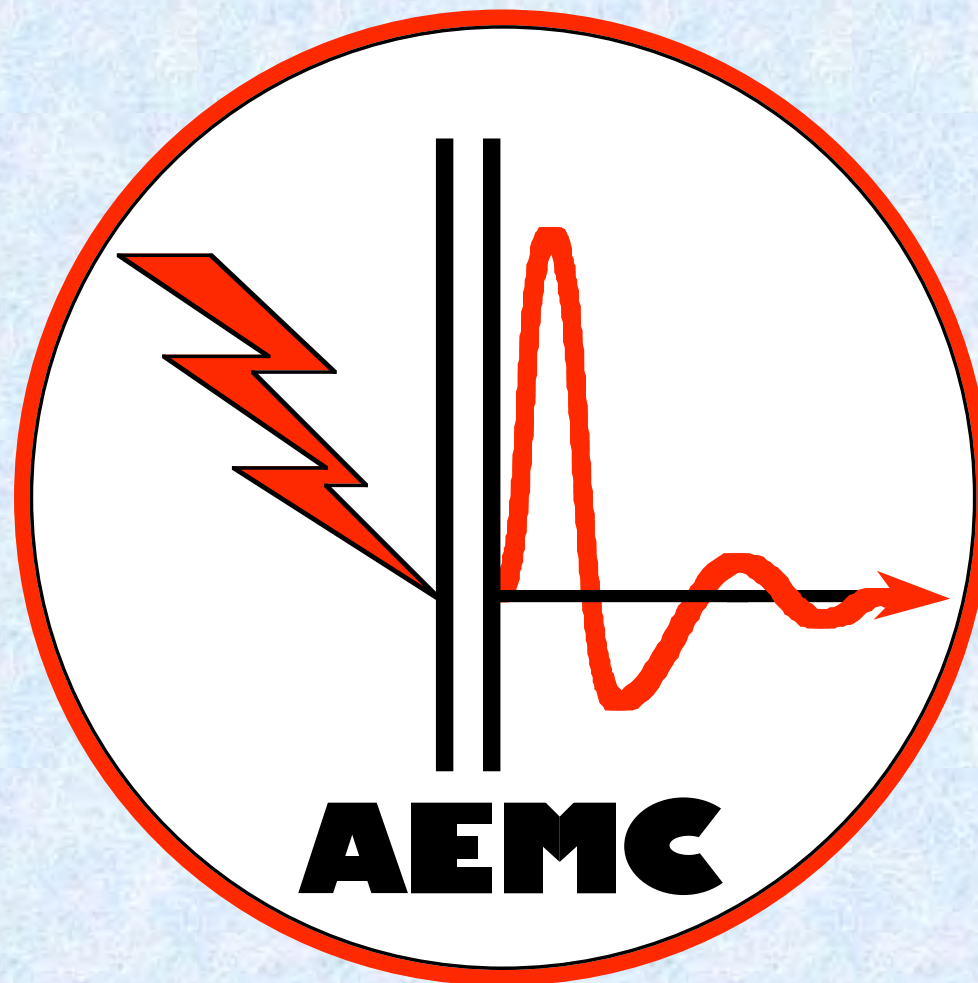


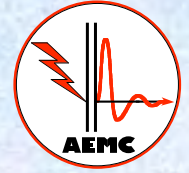
Les convertisseurs d'énergie



Influence de la taille d'un convertisseur sur sa CEM

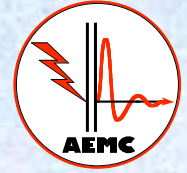
Alain CHAROY - (0033) 4 76 49 76 76 - a.charoy@aemc.fr

SOMMAIRE



- **Généralités sur les effets de la taille d'un convertisseur**
- **Influence de la taille d'un convertisseur sur ses émissions**
- **Influence de la taille d'un convertisseur sur son immunité**

L'«effet mammifère »

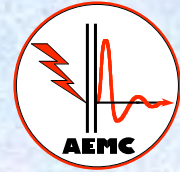


- **Pourquoi n'existe-t-il pas de minuscule mammifère ?**
 - Le plus petit mammifère est le pachyure étrusque (*Suncus etruscus* ou musaraigne de Mésopotamie). Il mesure 3,5 cm et pèse de 1,5 à 2 g.

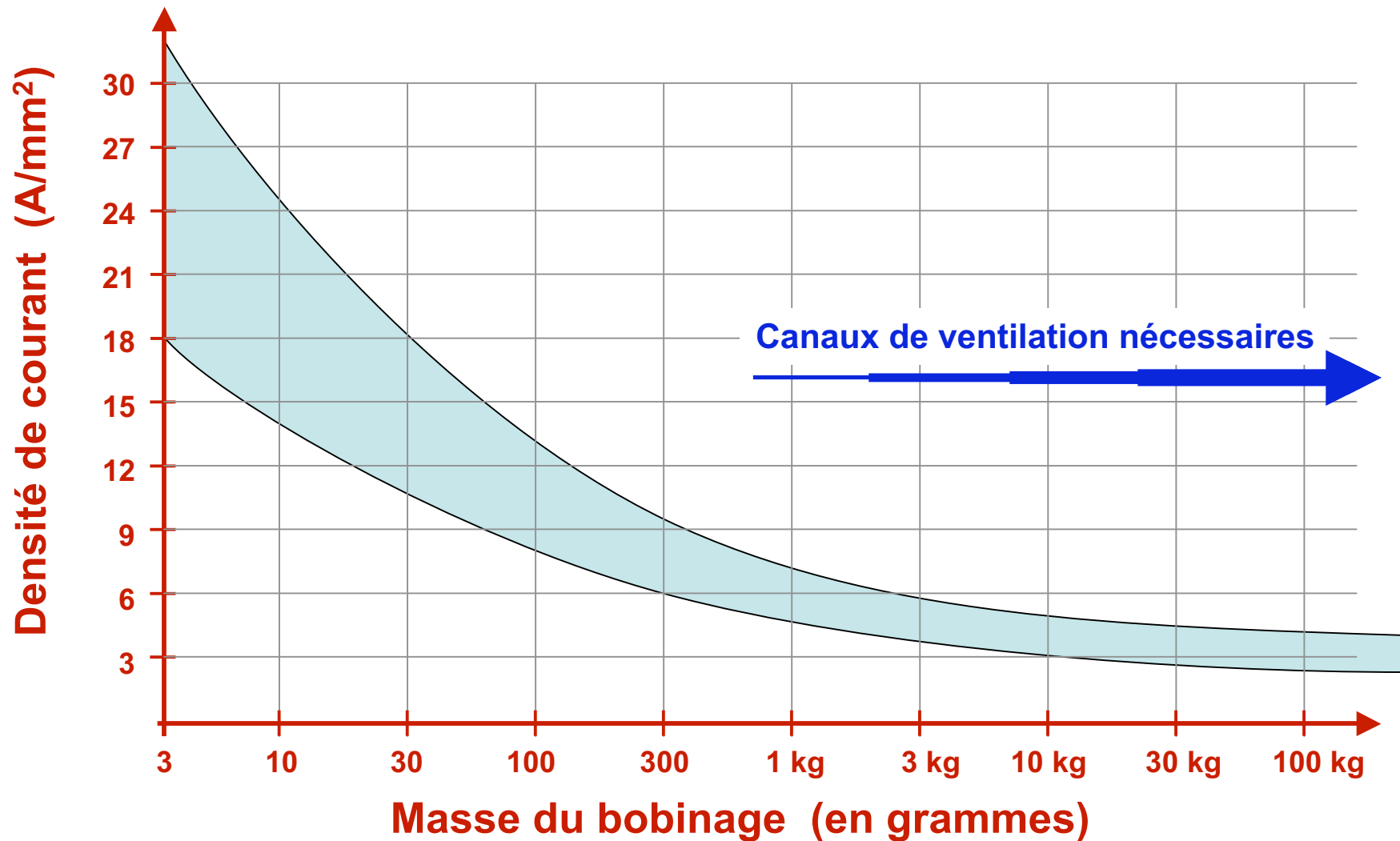


- **Les mammifères sont des animaux à sang chaud !**
 - L'énergie disponible est proportionnelle au volume, soit à D^3 .
 - Le refroidissement est proportionnel à la surface, soit à D^2 .
 - Pour rester en vie, les petits mammifères doivent beaucoup manger.
 - Un insecte est nécessairement un animal à sang froid.

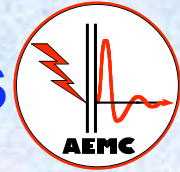
Conséquence de l'«effet mammifère »



La densité de courant eff. dans un bobinage en cuivre refroidi à air en convection naturelle dépend beaucoup de sa masse



Effet de peau et pertes supplémentaires



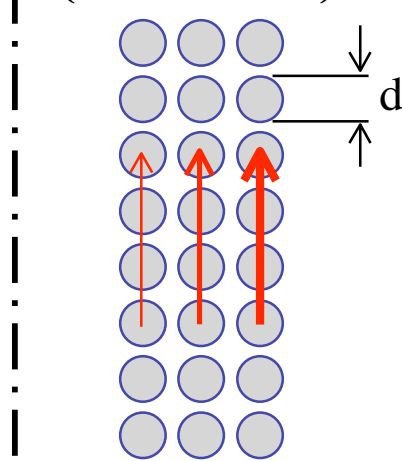
- Dans du cuivre, à 110°C, l'épaisseur de peau vaut (en μm):

$$\delta_{(\mu\text{m})} = \frac{77}{\sqrt{F_{\text{MHz}}}}$$

- Mais pour un fil bobiné, le champ magnétique de fuite augmente la résistance en alternatif à cause des « pertes supplémentaires »

Champ magnétique

(flux de fuite)



$$R_A \approx R_C \left[1 + \frac{1}{3k} \left(n \left(\frac{d}{\delta} \right)^2 \right)^2 \right]$$

R_A = résistance du bobinage en continu

R_C = résistance du bobinage en continu

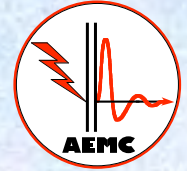
n = nombre total de spires de la bobine

k = nombre de couches de la bobine

$\delta (> d)$ = épaisseur de peau dans la même unité que d

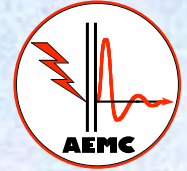
- Pour limiter les pertes supplémentaires un fil divisé (« de litz ») nécessite une parfaite égalité du flux embrassé par chaque fil.

Puissance volumique



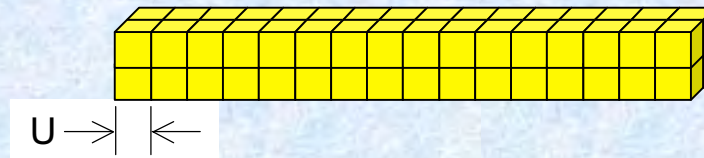
- L'effet mammifère - défavorable aux fortes puissances - est quelque peu compensé par la réduction relative des circuits de commande, peu variables avec la puissance. L'amélioration du rendement avec la puissance est un autre facteur agissant dans le même sens.
- La densité de puissance d'un convertisseur à découpage refroidi par air ambiant est de l'ordre de **500 Watts par litre jusque vers 100 W** décroissant à **200 W par litre vers 10 kW**. Elle diminue à moins de **100 W/litre au-delà de 100 kW**, surtout si plusieurs étages sont en cascade (PFC, chargeur de batteries et onduleur).
- Ces valeurs peuvent **tripler** s'il n'y a pas d'isolement galvanique, avec des composants spéciaux ou avec refroidissement par fluide.
- Puissance volumique et rendement d'un convertisseur à résonance sont comparables à ceux d'une alimentation classique à PWM.

Géométries optimales



- Pour une bonne **rigidité diélectrique** :

Grandes **distances d'isolement** et **lignes de fuite**

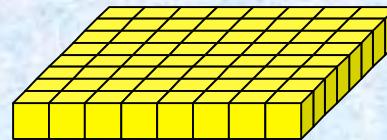


$$\text{Diagonale} = 16,2.U$$

$$S_{\text{externe}} = 136.U^2$$

- Pour un bon **refroidissement** :

Grande **surface d'échange**

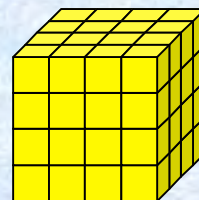


$$\text{Diagonale} = 11,4.U$$

$$S_{\text{externe}} = 160.U^2$$

- Pour une bonne **CEM** :

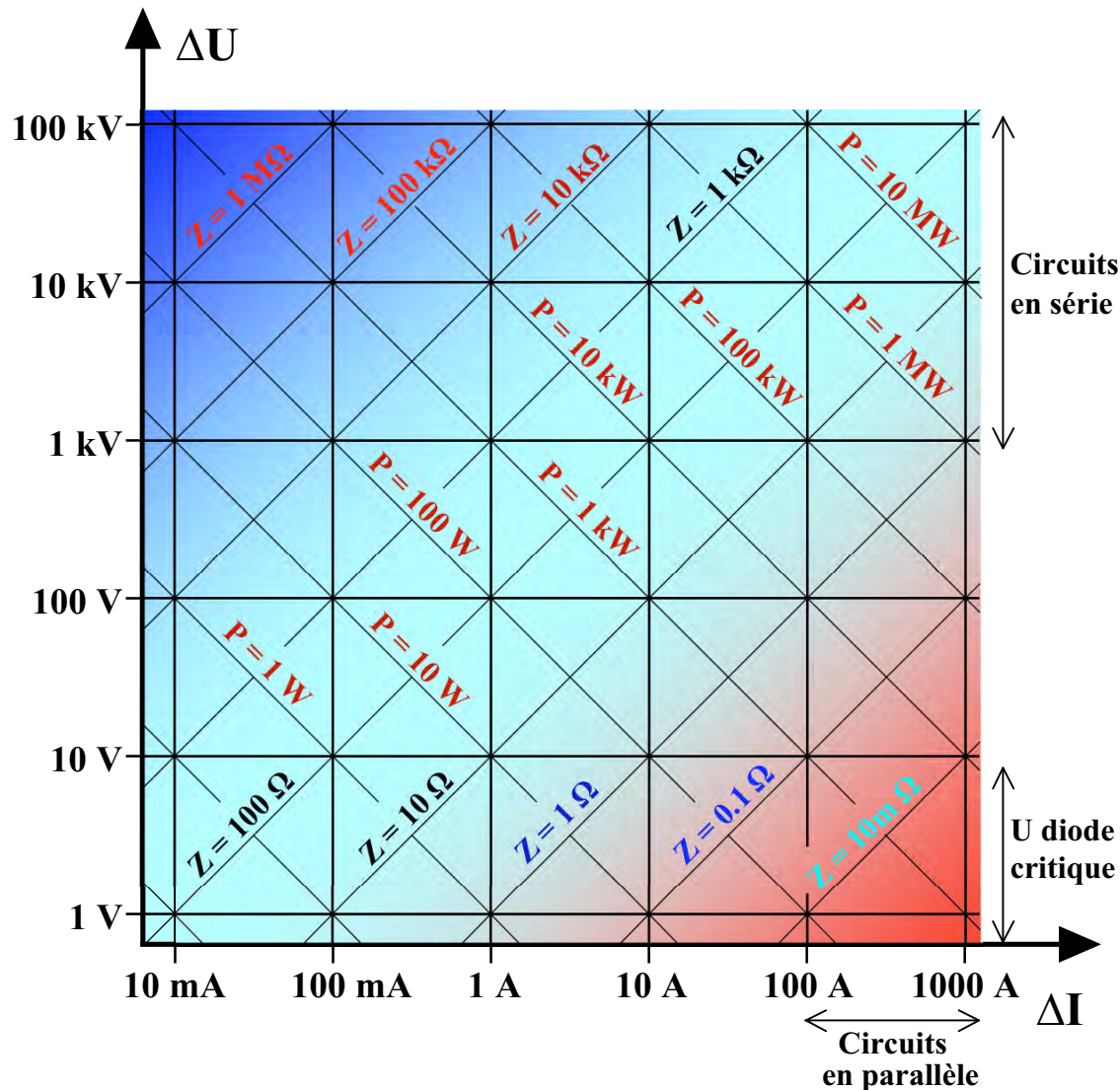
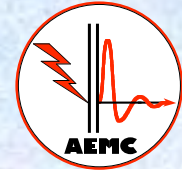
Petites **surfaces de boucles** et **câblages courts**



$$\text{Diagonale} = 6,9.U$$

$$S_{\text{externe}} = 96.U^2$$

l'impédance dynamique de commutation



Sévérité croissante

Zone à haute impédance

Le Champ E domine:

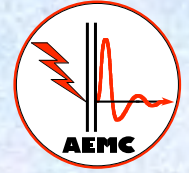
- Réduire les **capacités** parasites
- Limiter longueurs à fort $\Delta U / \Delta t$
- Choisir de faibles ϵ_r (air)
- Mettre des circuits en série

Sévérité croissante

Zone à basse impédance

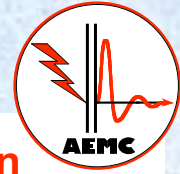
Le Champ H domine:

- Réduire **ESR** et **ESL**
- Limiter **S** boucles à fort $\Delta I / \Delta t$
- Choisir structures « sandwich »
- Mettre des circuits en parallèle

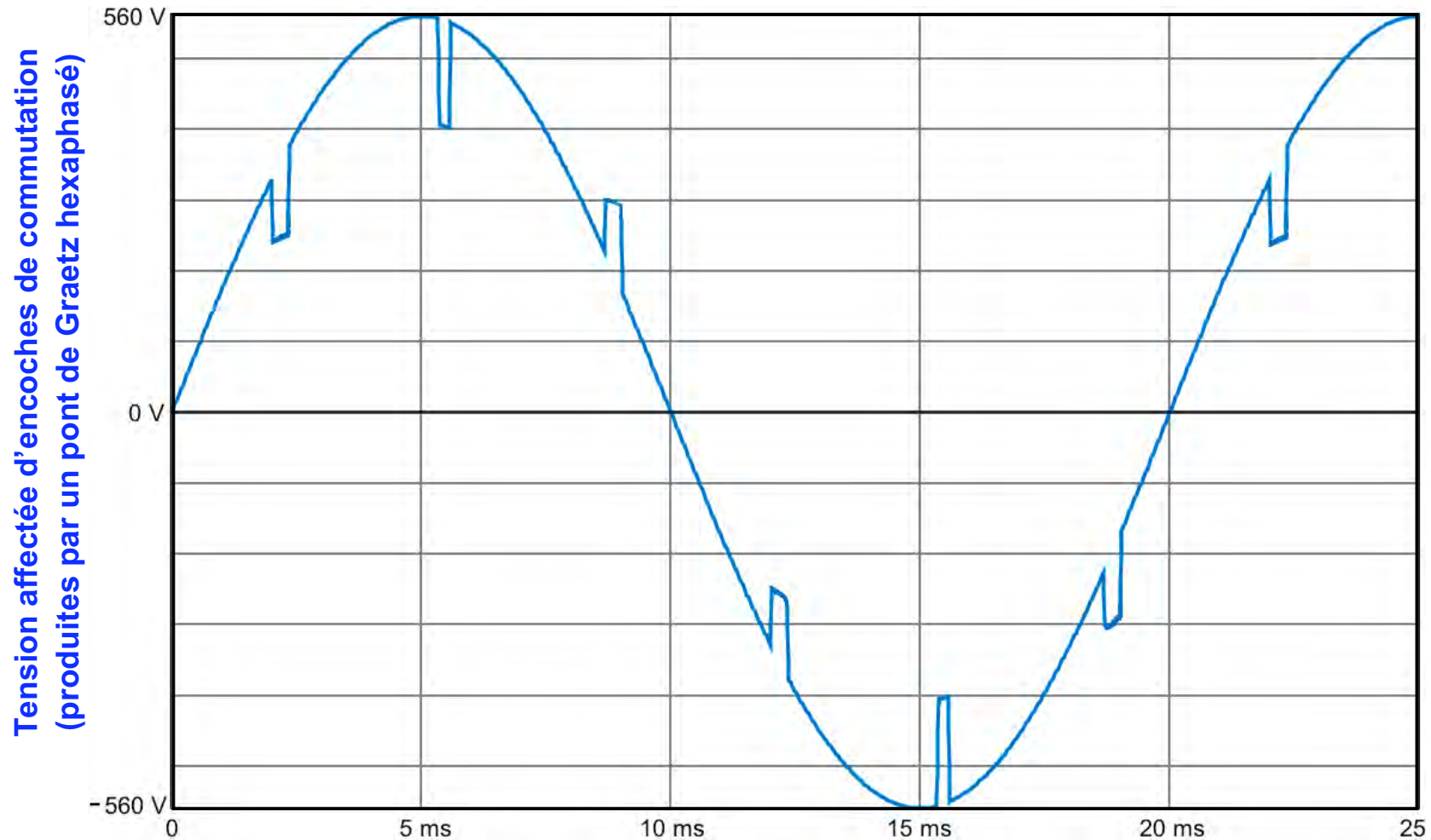


- Généralités sur les effets de la taille d'un convertisseur
- **Influence de la taille d'un convertisseur sur ses émissions**
- Influence de la taille d'un convertisseur sur son immunité

Faut-il craindre les harmoniques ?

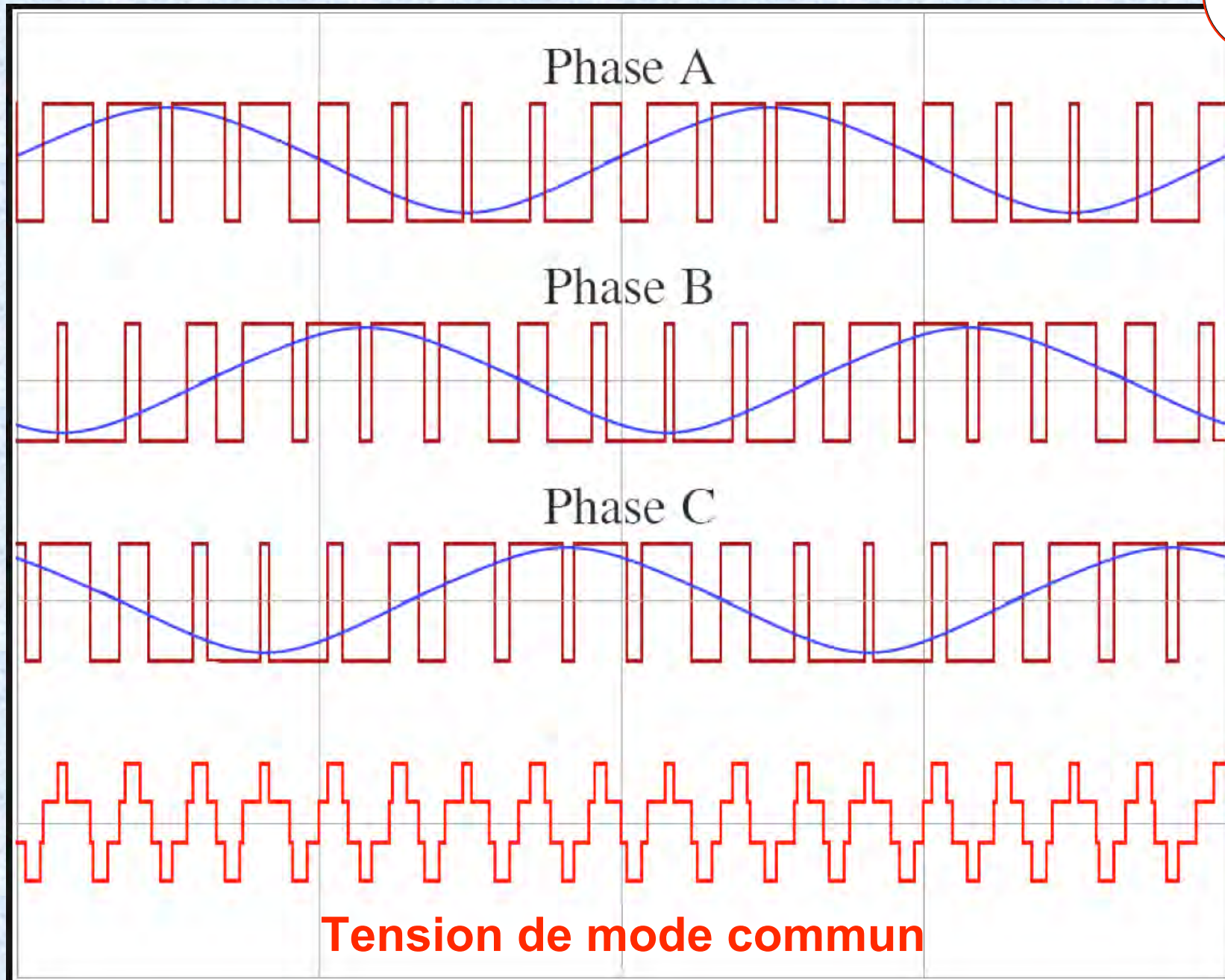
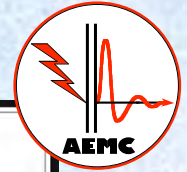


Les **courants harmoniques** en eux-mêmes sont inoffensifs ; seule la **distorsion de la tension** réseau qu'ils créent peut poser des problèmes aux gros moteurs.

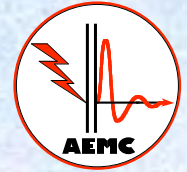


En environnement industriel, seules les **charges non linéaires très puissantes** (surtout les **ponts de Grætz hexaphasés** ou **mixtes**) sont à prendre en compte.

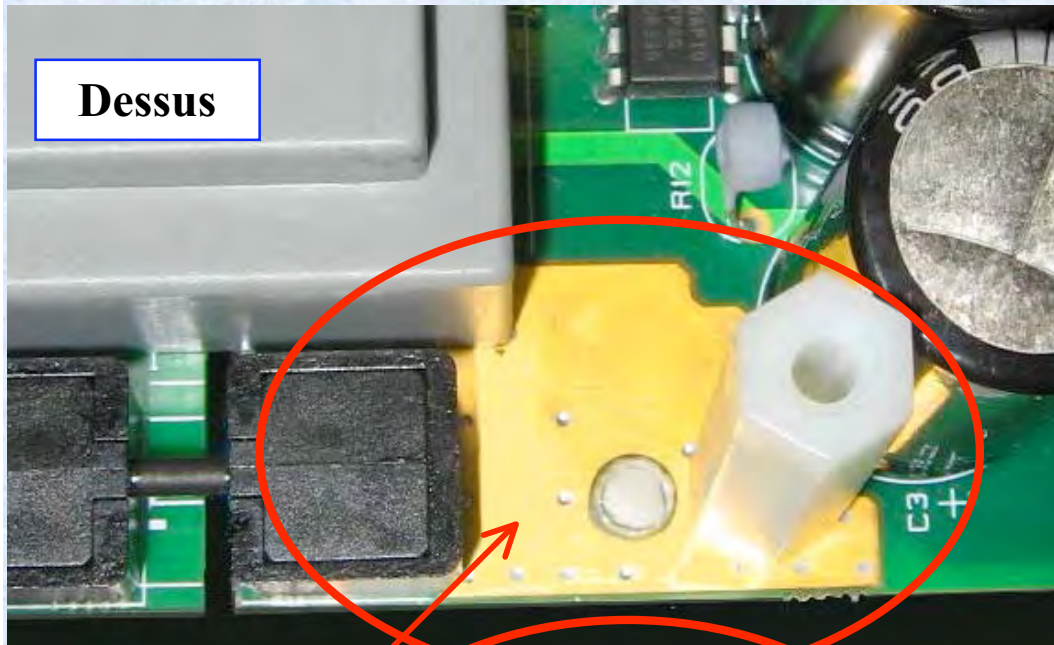
L'origine du mode commun en triphasé



Effet de bord d'un petit convertisseur



Dessus

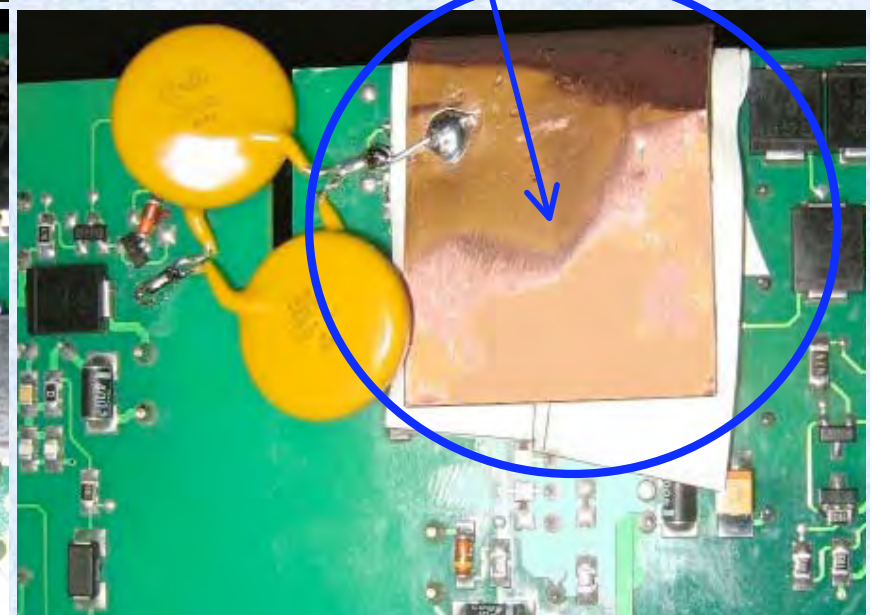
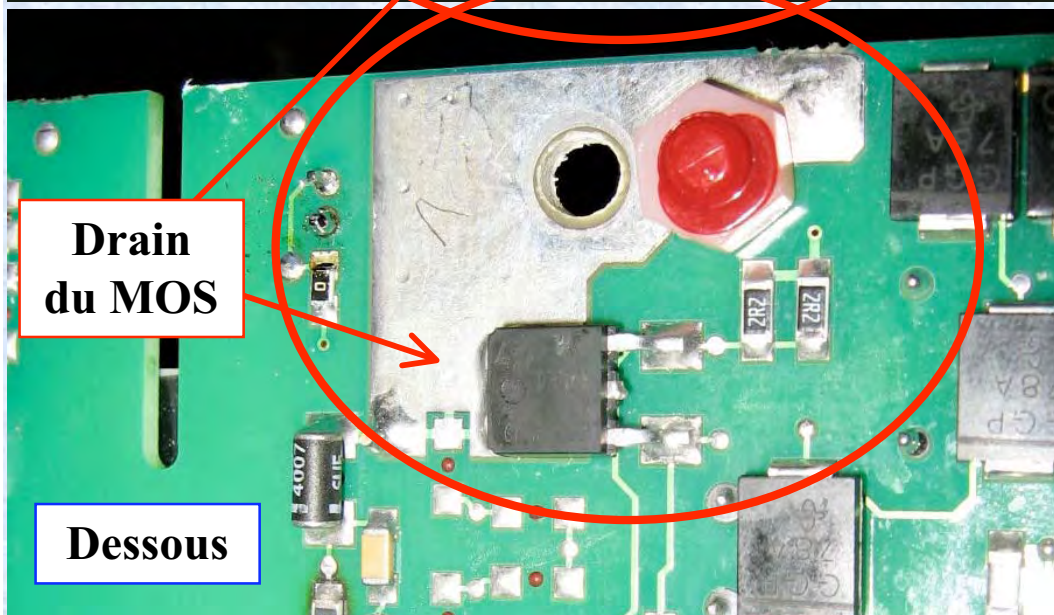


Placer les « zones chaudes » au centre de la carte, si possible en couche interne, les entourer par une piste de 0 V primaire, ou ajouter un écran électrostatique.

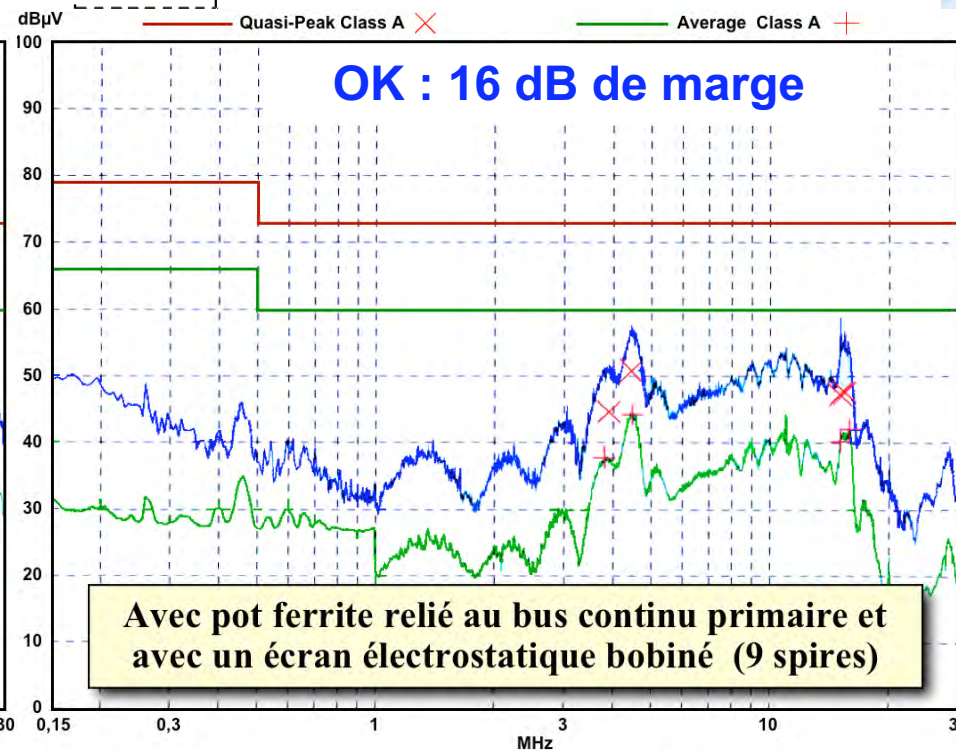
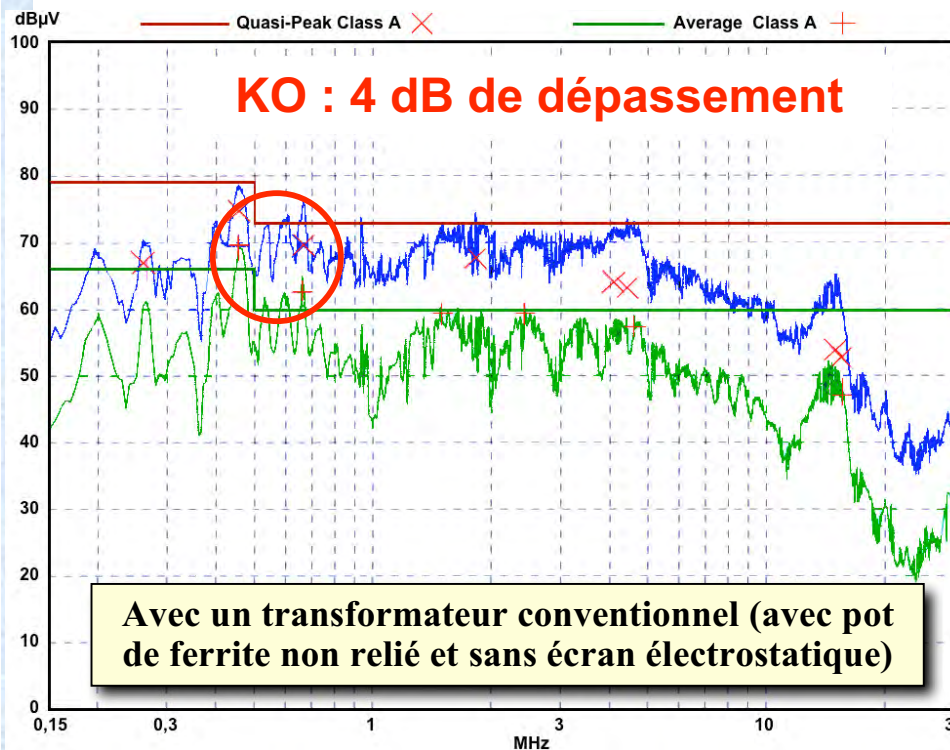
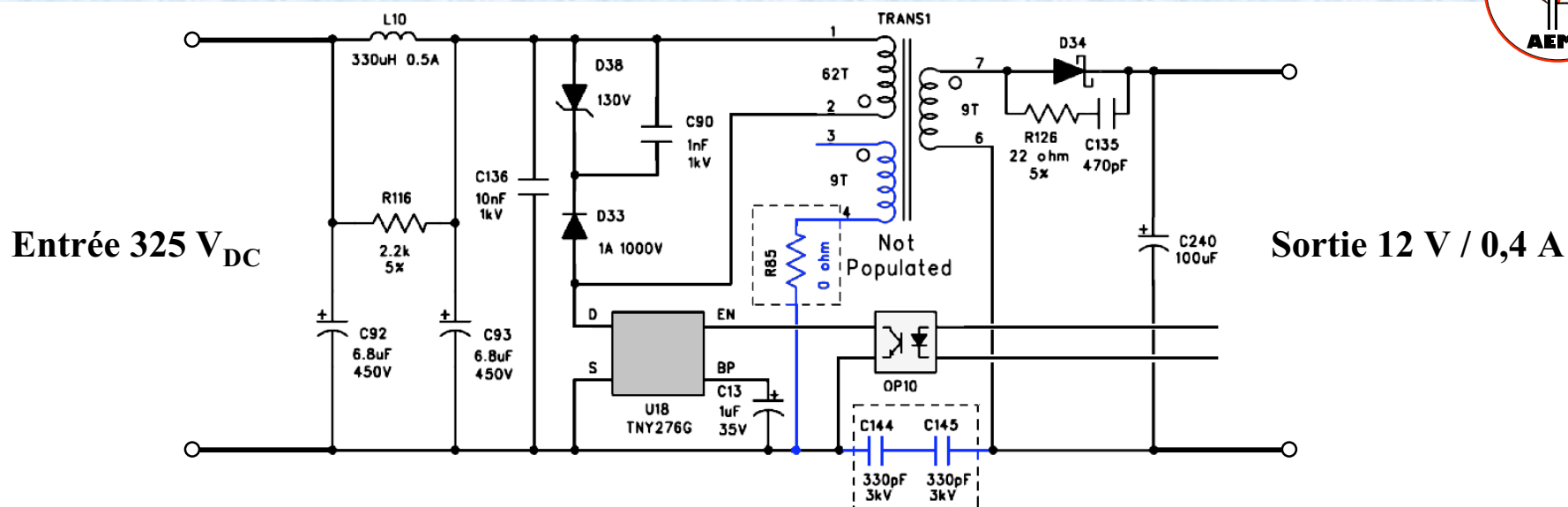
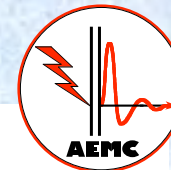
Ecran électrostatique relié au 0 V primaire

Drain du MOS

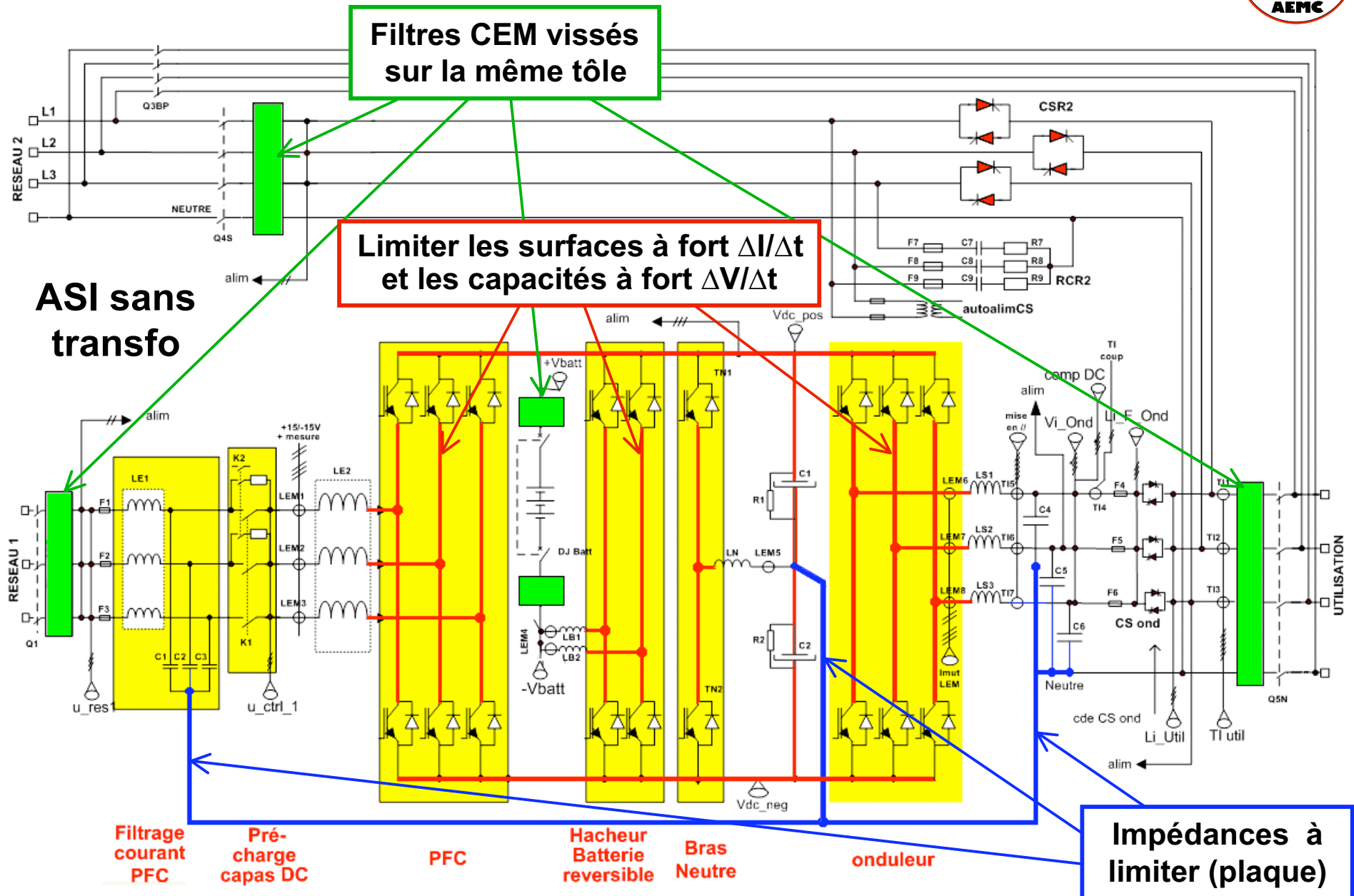
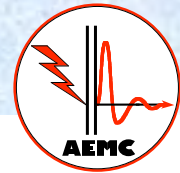
Dessous



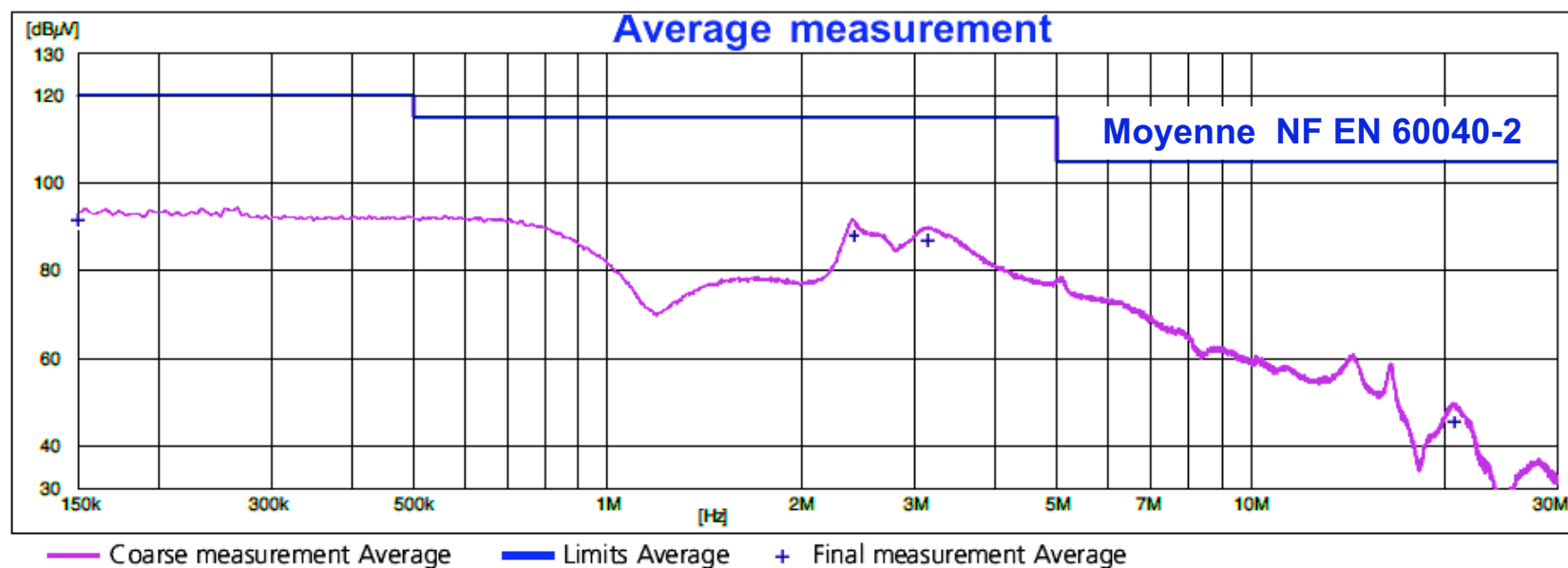
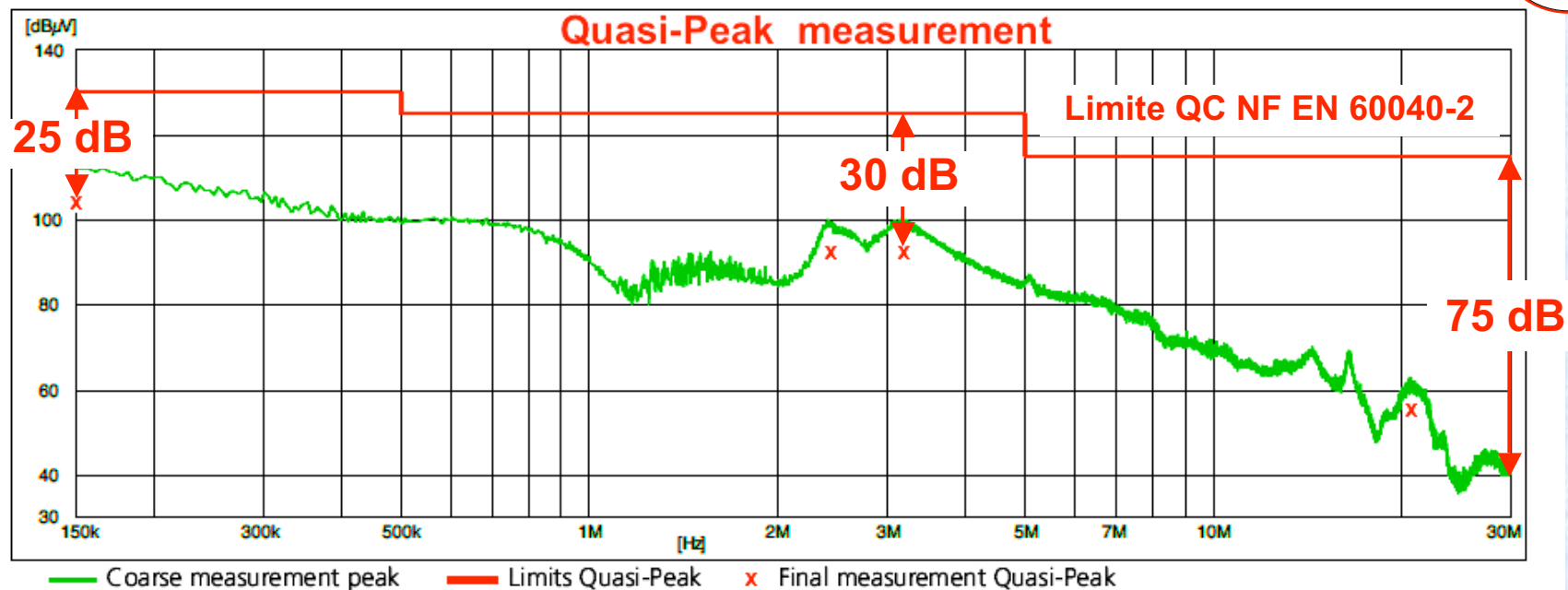
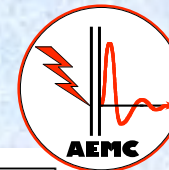
Petite alimentation sans inductance de MC



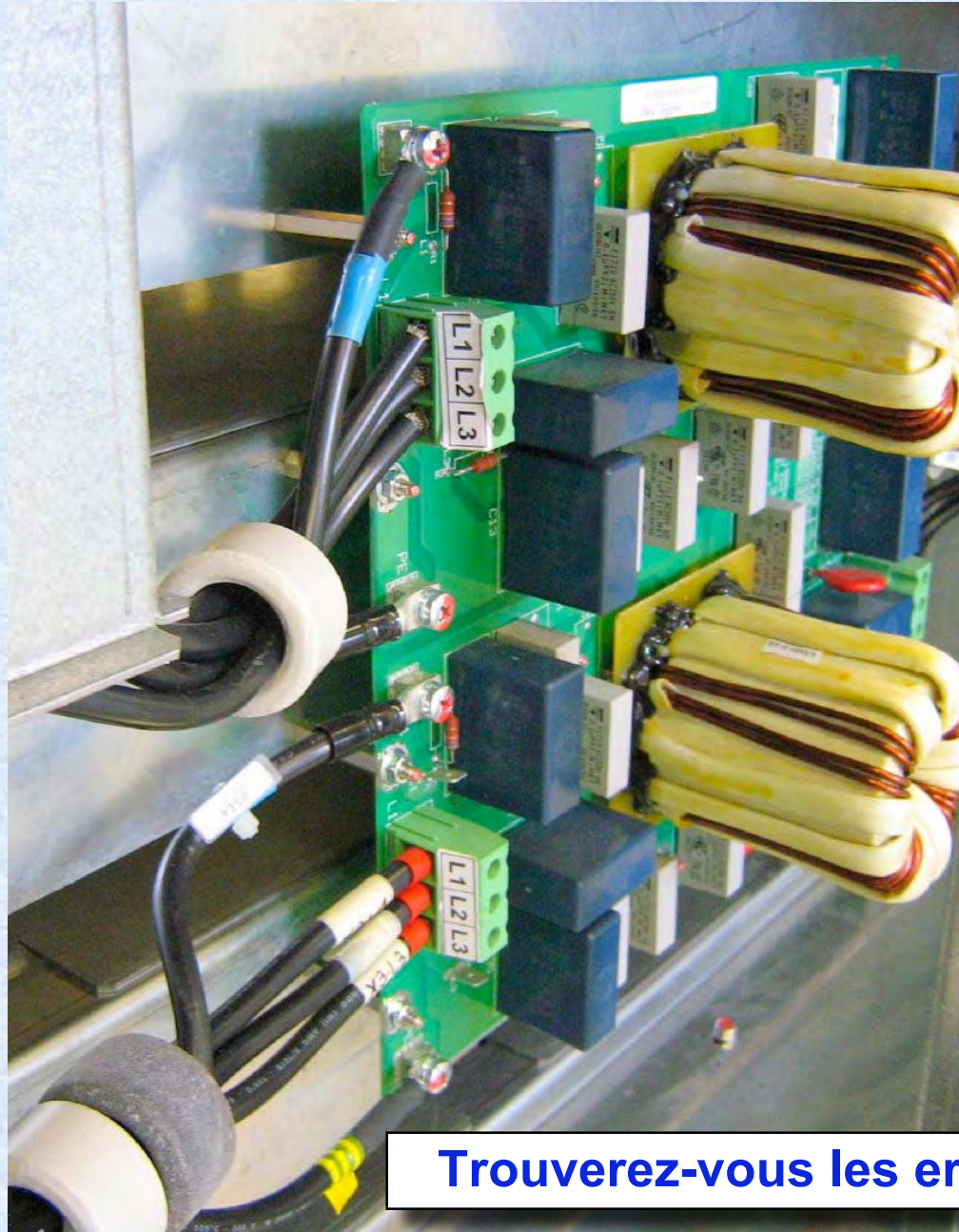
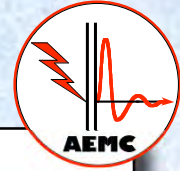
Points critiques des gros convertisseurs



Niveaux acceptables pour P = 300 kVA



Les problèmes des gros filtres CEM



Un convertisseurs puissant travaille à courant élevé (donc à Z faible).

Les inductances pour courant fort sont volumineuses et coûteuses.

On préfère donc utiliser (si possible) des condensateurs de forte valeurs.

Les condensateurs de fortes valeurs sont fatalement de grosse taille.

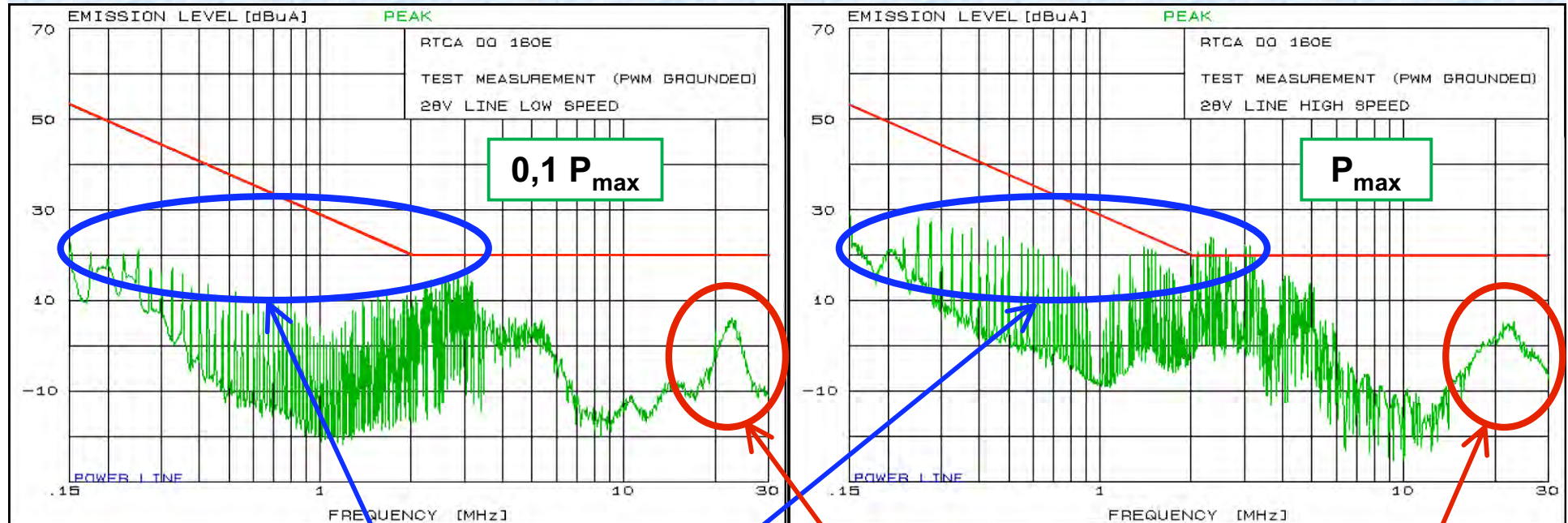
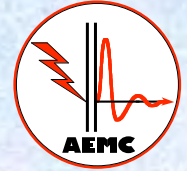
Tout composant de grosse taille (L ou C) est médiocre en HF (c_p ou L_s).

Limiter les impédances en série avec les C par un CIP maîtrisé et une très faible inductance de mise au châssis.

Une Tôle de Référence de Potentiel est nécessaire à un gros filtre CEM.

Trouverez-vous les erreurs de ce filtre ?

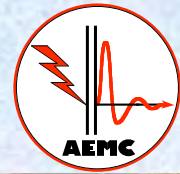
Les émissions selon la puissance



Augmentation du niveau en BF avec le courant commuté (MD)

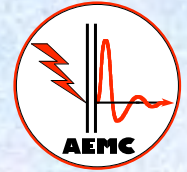
Peu d'effet en HF sur la résonance en MC

Rayonnement des gros convertisseurs

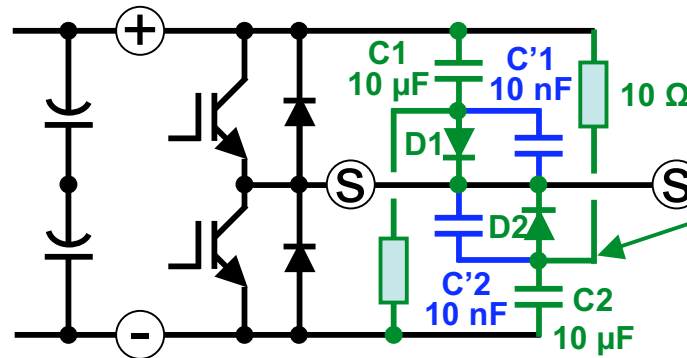


Contrairement aux petites alimentations, un gros convertisseur peut rayonner plus en polarisation horizontale qu'en verticale

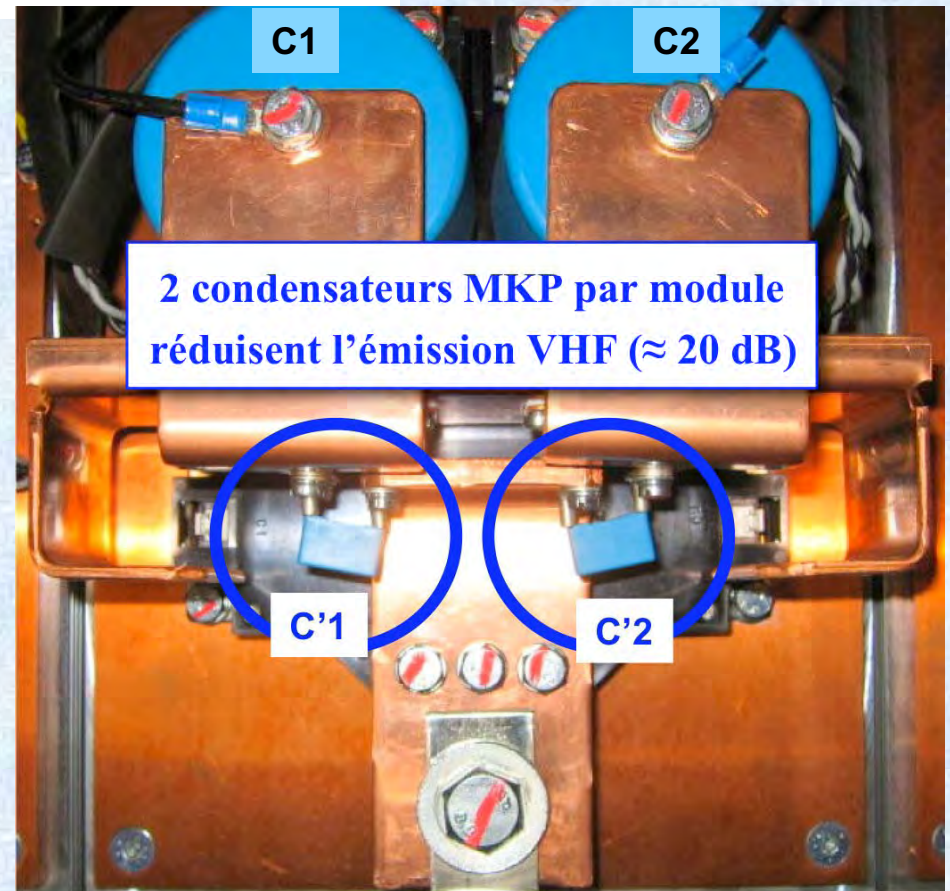
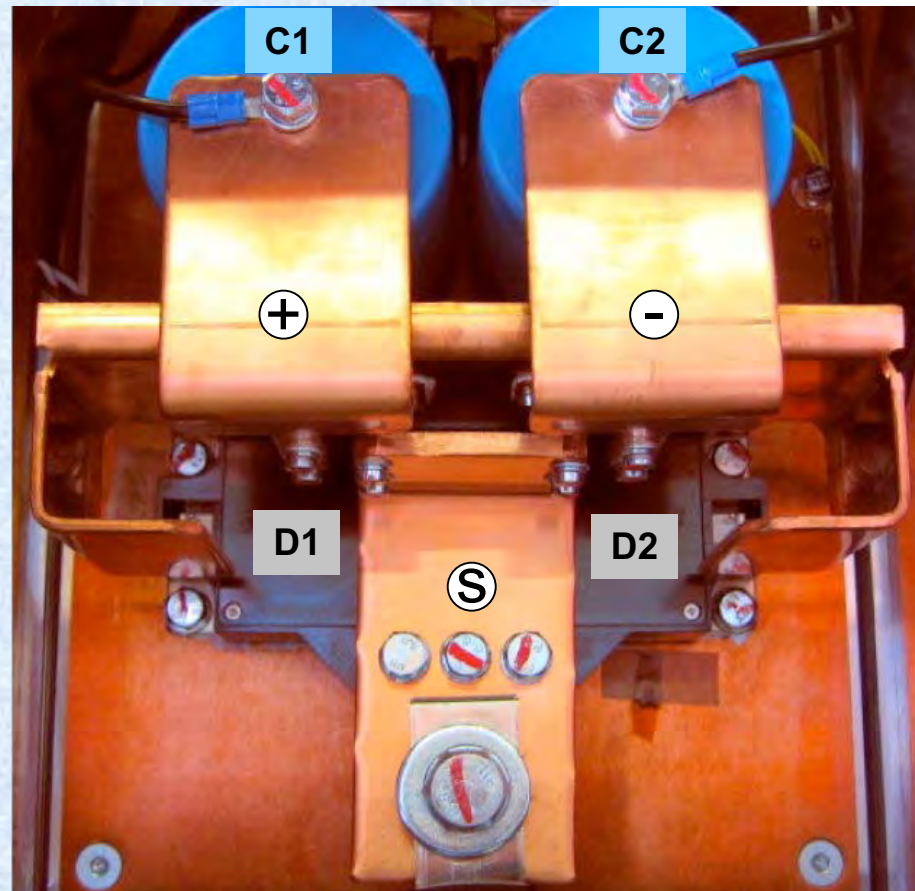
Réduire le rayonnement des IGBT

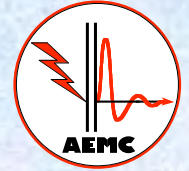


Réduire le bruit VHF des diodes inverse et du circuit d'aide des gros modules IGBT



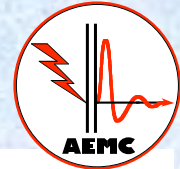
Circuit d'aide à faibles pertes anti-surtension au blocage des diodes





- Généralités sur les effets de la taille d'un convertisseur
- Influence de la taille d'un convertisseur sur ses émissions
- **Influence de la taille d'un convertisseur sur son immunité**

Attention à l'immunité des optocoupleurs...



CNY17
Vishay Semiconductors
Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection

Agilent CNY17-x
Phototransistor Optocoupler
High Collector-Emitter
Voltage Type

TOSHIBA CNY17-2, CNY17-3, CNY17-4
TOSHIBA Photocoupler GaAs Ired & Photo-Transistor

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR
PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLED

DESCRIPTION
The CNY17 series consists of a Gallium Arsenide (GaAs) IRED coupled with an NPN phototransistor.

FEATURES

- CNY17-1/2/3 are available in white package by specifying -M suffix (e.g. CNY17-2-M)
- UL recognized (File # E90700)
- VDE recognized
- 102407 for white package -Add option V for white package (e.g., CNY17-2V-M)
- File #102407 -Add option 300 for black package (e.g., CNY17-2-300)
- File #04756
- Current transfer ratio in select groups
- High BV_{CEO}—70V minimum

APPLICATIONS

- Power supply regulators
- Digital logic inputs
- Microprocessor inputs
- Appliance sensor systems

SCHEMATIC



Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T _{STG}	All	-55 to +150	°C
Operating Temperature	T _{OP}	All	-55 to +100	°C
Lead Solder Temperature	T _{SOL}	All	260 for 10 sec.	°C
Total Device Power Dissipation @ 25°C (LED plus detector)				
Derate Linearly From 25°C	P _D	-M	250	mW
		non-M	260	
		-M	2.04	mW/°C
		non-M	3.50	
EMITTER				
Continuous Forward Current	I _F	-M	80	mA
Reverse Voltage	V _R	All	5	V
Forward Current - Peak (1 µs pulse, 300 pps)	I _{F(PK)}	-M	1.5	A
		non-M	3.0	
LED Power Dissipation 25°C Ambient				
Derate Linearly From 25°C	P _D	-M	120	mW
		non-M	135	
		-M	1.41	mW/°C
		non-M	1.8	
DETECTOR				
Detector Power Dissipation @ 25°C				
Derate Linearly from 25°C	P _D	-M	150	mW
		non-M	200	
		-M	1.76	mW/°C
		non-M	2.67	

Le gain d'un **optocoupleur linéaire** varie en température et diminue au cours du temps.

Aucune fiche technique ne définit, même typiquement, son CMRR en fréquence !

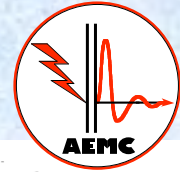
Attention aux **optocoupleurs linéaires** d'un convertisseur qui génère des perturbations asynchrones (souvent par son redresseur) avec le découpage régulé. **Il n'y a aucun problème pour la régulation d'un petit convertisseur (type DC - DC) pour lequel les perturbations sont synchrones.**

Même un bon **optocoupleur numérique** n'est garanti en $\Delta V/\Delta t$ que jusque **15 kV/µs**

Parameter	Symbol	Min	Typ.*	Max.	Units	Test Conditions
Output High Level Common Mode Transient Immunity	CM _H	15	30		kV/µs	T _A = 25°C, I _F = 10 to 16 mA, V _{CM} = 1500 V, V _{CC} = 30 V
Output Low Level Common Mode Transient Immunity	CM _L	15	30		kV/µs	T _A = 25°C, V _{CM} = 1500 V, V _F = 0 V, V _{CC} = 30 V
* typical values at T _A = 25°C						

« Gate Drive Optocoupler » HCPL 3120

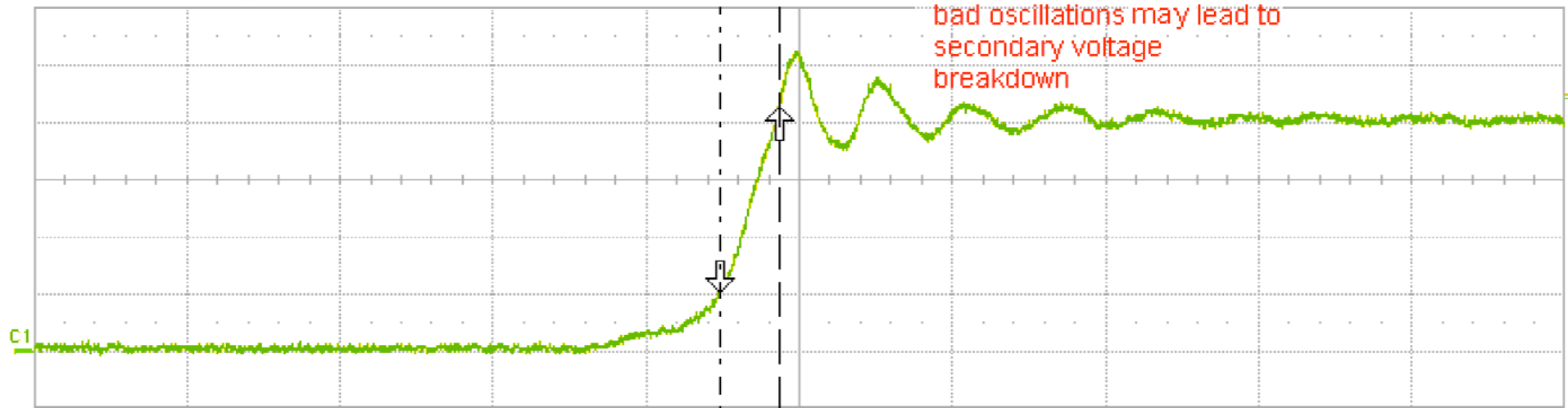
Limiter raisonnablement les $\Delta V / \Delta t$



Diode overvoltage on the inverter IGBT 200A CM Mitsubishi 24A

Ron = 6.2ohm

Roff = 3.3ohm



C1 DC1M
200 V/div
-600.0 V ofst
 Δy 632.4 V

**630 V en 19 ns équivaut à $\Delta V / \Delta t = 33 \text{ kV}/\mu\text{s}$
Cette pente est au moins 2 fois trop forte**

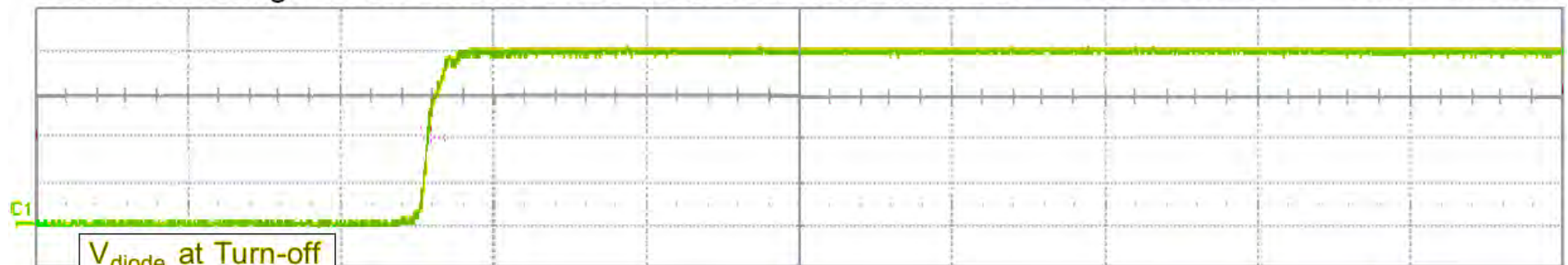
Timebase 0 ns
50.0 ns/div
5.00 kS 10 GS/s
Trigger C1 DC
Normal 896 V
Edge Positive

X1= -25.9 ns X2= -6.5 ns ΔX = 19.4 ns

Diode overvoltage on the inverter IGBT 200A CM Mitsubishi 24A

Ron = 10ohm

Roff = 6.2ohm

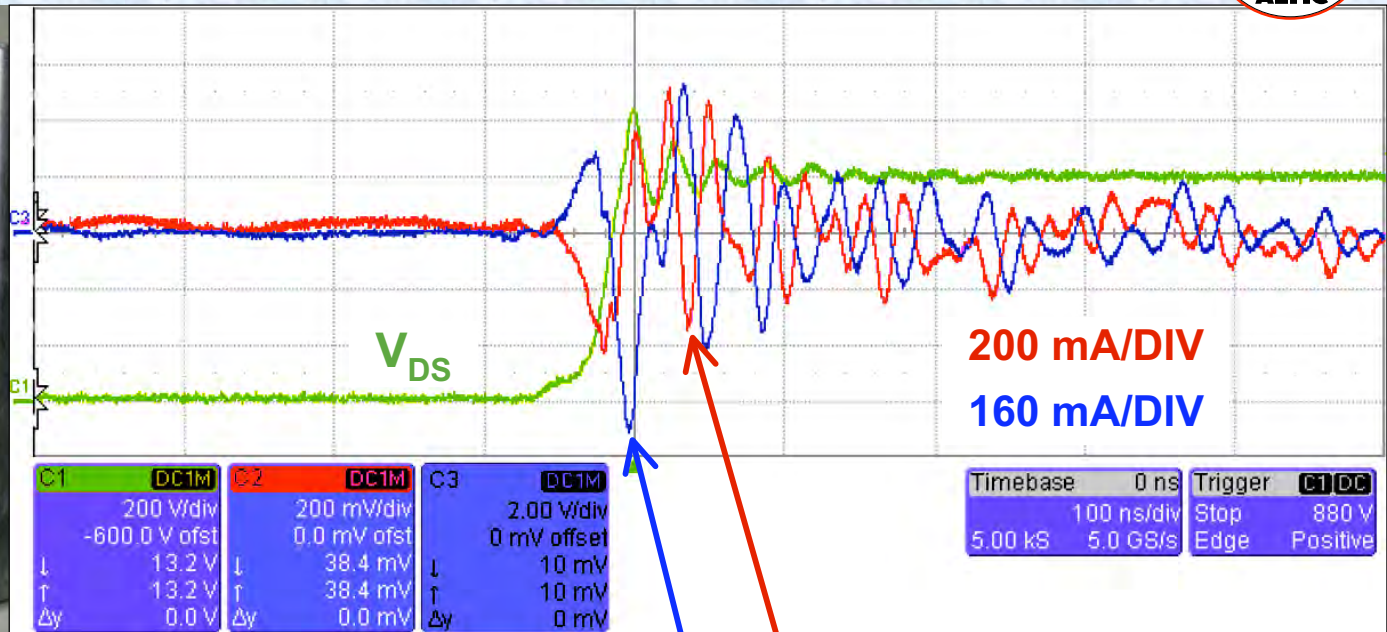
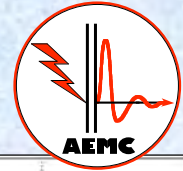


C1 DC1M
200 V/div
 Δy -66 V

Cette pente, de 12 à 15 $\text{kV}/\mu\text{s}$, est optimale

Timebase 0.00 μs
500 ns/div
25.0 kS 5.0 GS/s
Trigger C1 DC
Stop 784 V
Edge Positive

Courant de MC dans un gros convertisseur



Pince à bande large : $Z_t = 1 \Omega$ (de 30 kHz à 100 MHz)

Pince courant sensible : $Z_t = 12 \Omega$ (de 5 à 230 MHz)

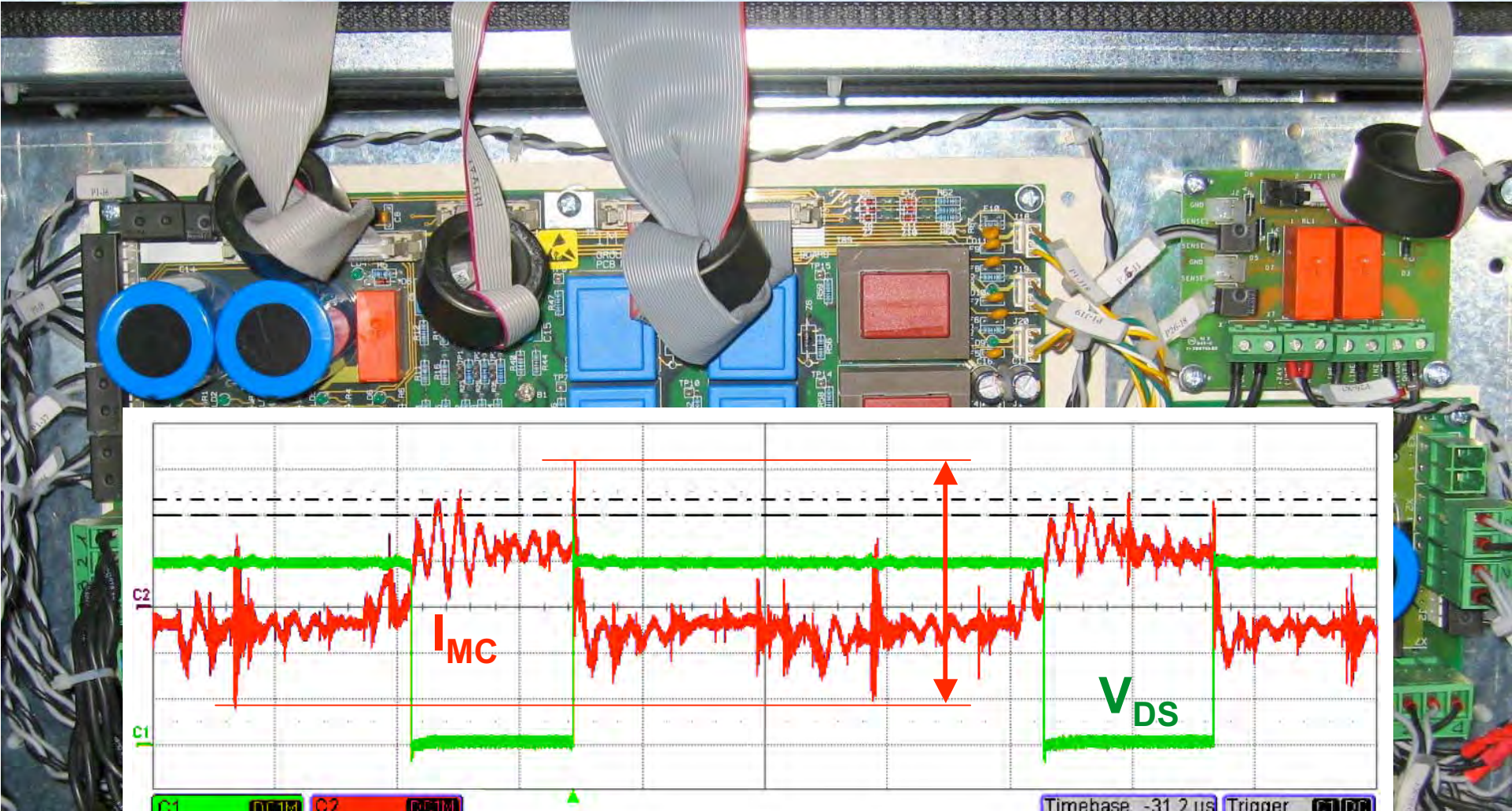
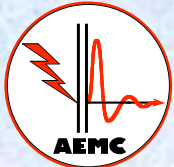
Recommandation CEM :

I_{MC} sur commande IGBT : < 5 A crête à crête

I_{MC} sur tout autre câble : < 2 A crête à crête

Marge CEM confortable : 0,2 fois ces valeurs

Corrections CEM en mise au point

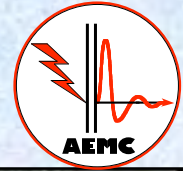


C1	DC1M	C2	DC1M
200 V/div	200 mV/div	200 mV/div	200 mV/div
-600.0 V ofst	0.0 mV ofst	0.0 mV ofst	0.0 mV ofst
---- 1.064 kV	---- 464 mV	---- 464 mV	---- 464 mV
---- 998 V	---- 398 mV	---- 398 mV	---- 398 mV
Δy -66 V	Δy -66 mV	Δy -66 mV	Δy -66 mV

$I_{MC} < 1 \text{ A}$ crête-crête
(sur la plus « sale » des nappes)

Timebase -31.2 μs	Trigger C1 DC
20.0 μs/div	Stop 878 V
1.00 MS	5.0 GS/s
	Edge Positive

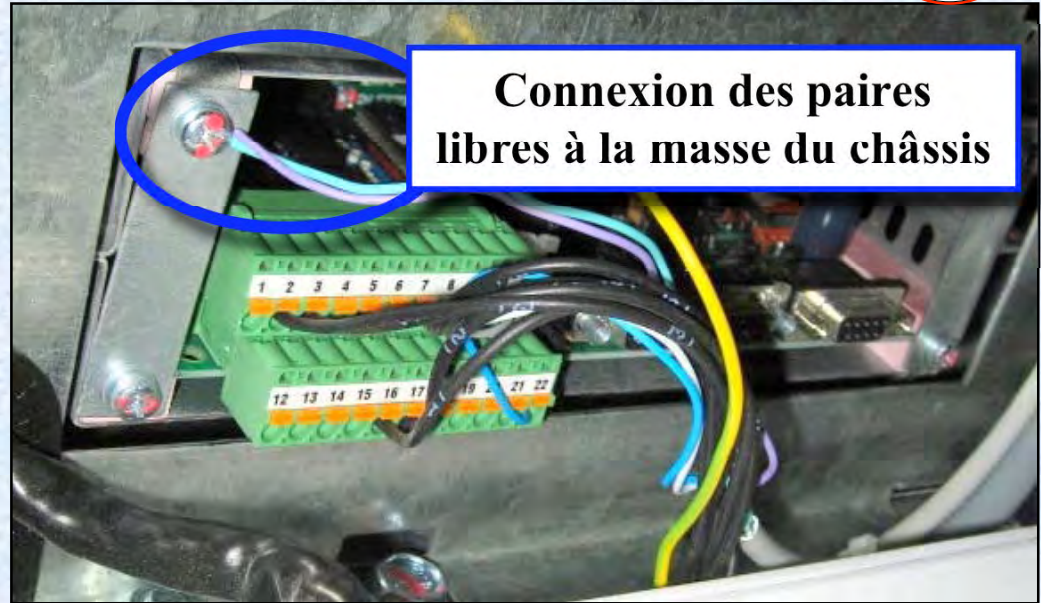
Corrections CEM sur site



Tores de ferrite à fort μ_r
sur câbles non blindés



Connexion des paires
libres à la masse du châssis



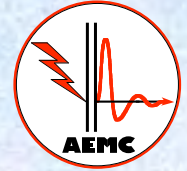
Connexion directe de l'écran des
câbles blindés à la masse du châssis



Liaisons équipotentielles
supplémentaires entre baies



CONCLUSIONS



- **La CEM des convertisseurs d'énergie reste simple**
- **Les petits convertisseurs posent peu de problèmes CEM**
 - Bien que les coûts de leur CEM avoisinent 20%
- **Les gros convertisseurs (> 100 A) sont plus délicats :**
 - Ne pas se contenter de respecter leur norme produit
 - Les choix CEM initiaux sont critiques
 - Les nappes inter-cartes sont vulnérables
 - La modélisation reste illusoire au-delà de 10 MHz
 - Les corrections tardives sont délicates et coûteuses...
 - Bien que le coût variable de leur CEM n'atteigne pas 5%