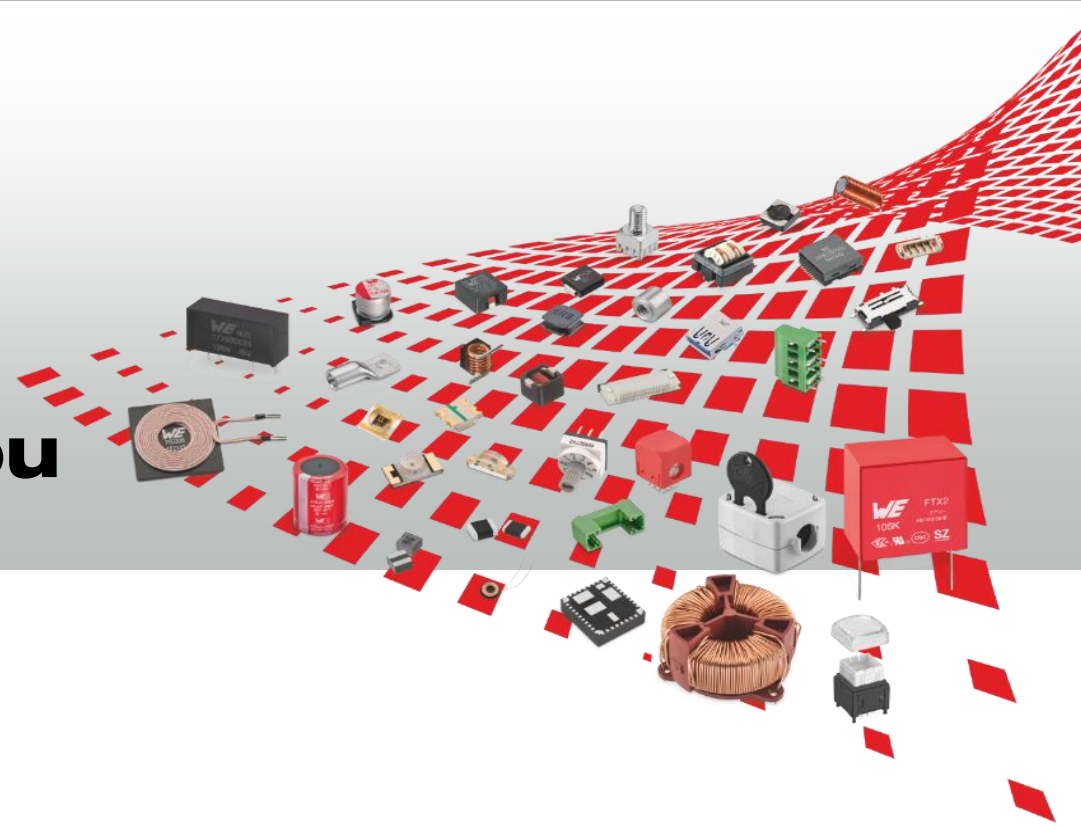


Quels composants passifs pour le GaN et le SiC

more
than you
expect



Sylvain LE BRAS
Ingénieur d'application
sylvain.lebras@we-online.com



Stéphane WAGNER
Responsable Grands
comptes Automobiles
stephane.wagner@we-online.com

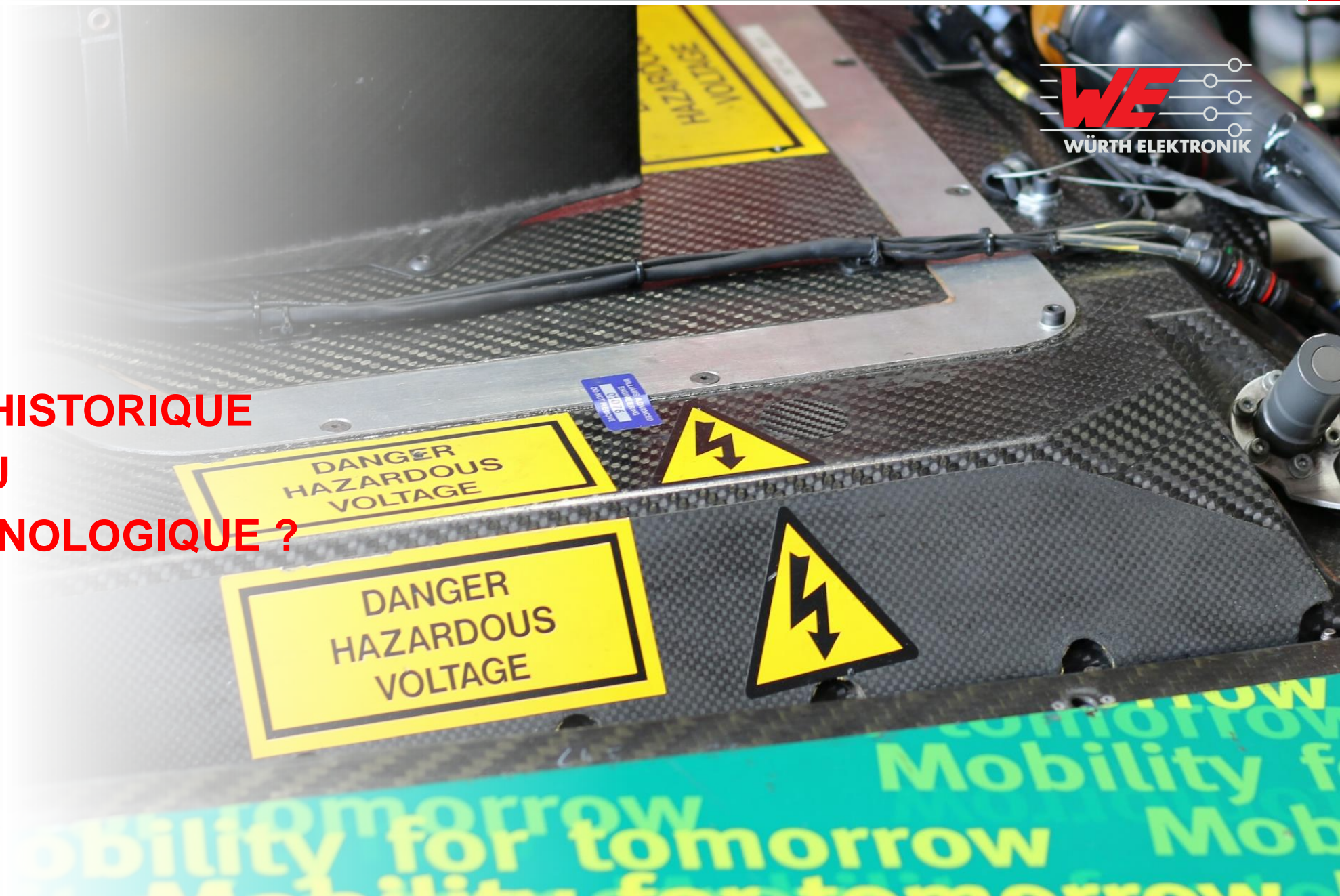
Quels composants passifs pour le GaN et le SiC ?



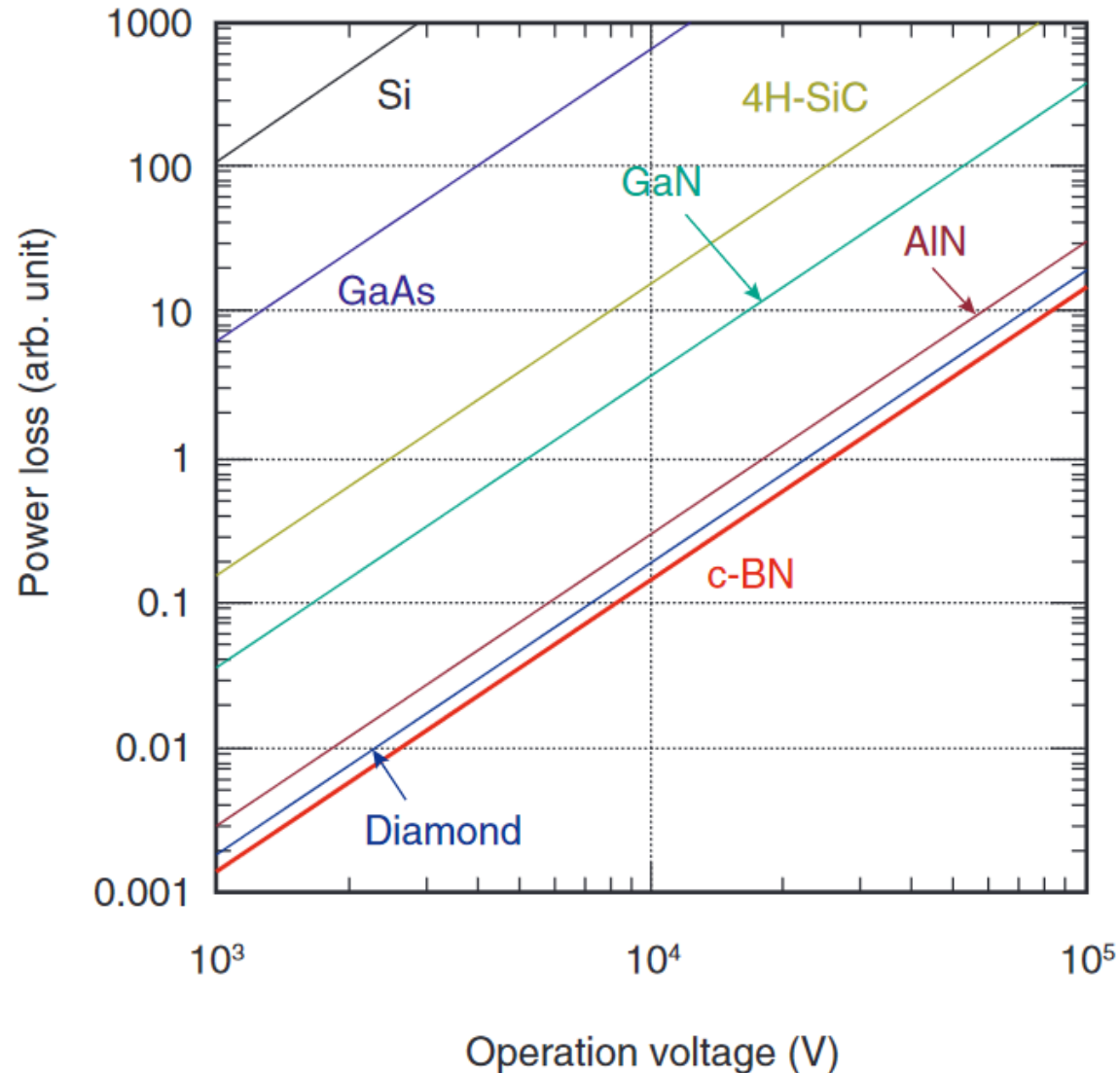
Quels composants passifs pour le GaN et le SiC

- Tendances historiques ou rupture technologique ?
 - Evolution des :
 - Technologie des interrupteurs à semi-conducteurs
 - Fréquences de découpage
 - Densité de puissance
 - Boîtiers des semi-conducteurs
 - Quels impacts sur les composants passifs
- Perspectives et Impacts
 - Composants passifs : Réemploi ou Révolution

**TENDANCES HISTORIQUE
OU
RUPTURE TECHNOLOGIQUE ?**



Evolution des technologies d'interrupteurs à semi-conducteurs



« Si » Silicium :
Transistor Bipolaires / Si-MOSFET / IGBT

« GaAs » Arséniure de Gallium :
pHEMT

« 4H-SiC » Carbure de Silicium
SiC MOSFET

« GaN » Nitrure de Gallium :
Gan-FET

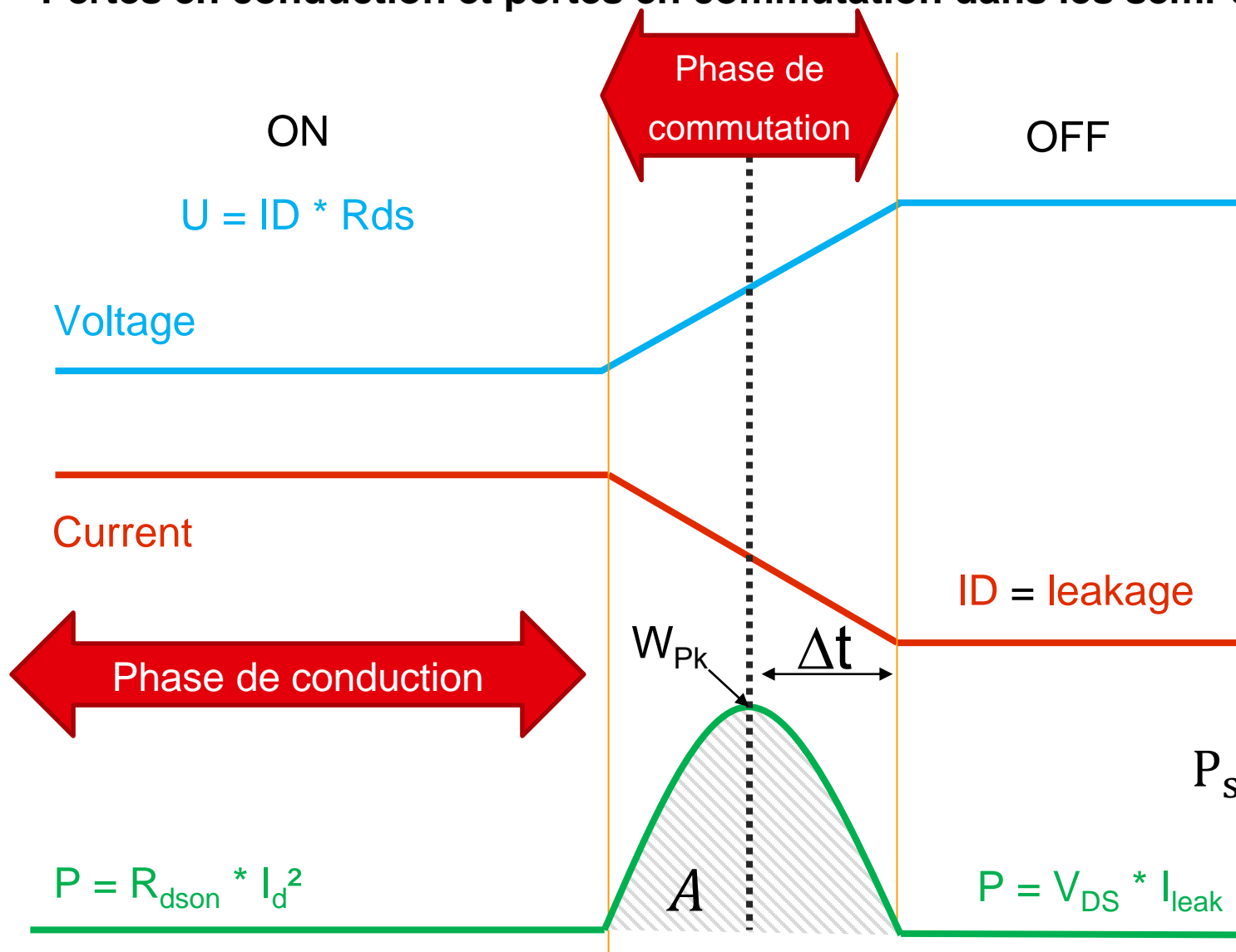
« Nitrure D'aluminium »

« Nitrure De Bore Cubique »



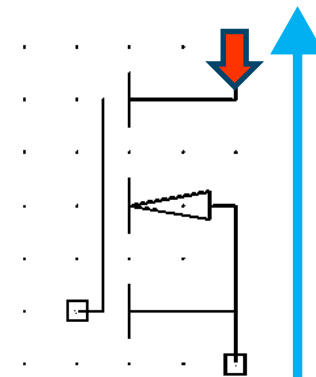
Evolution des fréquences de découpage

Pertes en conduction et pertes en commutation dans les semi-conducteurs



Exemple d'application

- $V = 20 \text{ V}$
- $i = 4 \text{ A}$
- $\Delta t = 100 \text{ ns}$
- $F_{sw} = 500 \text{ kHz}$



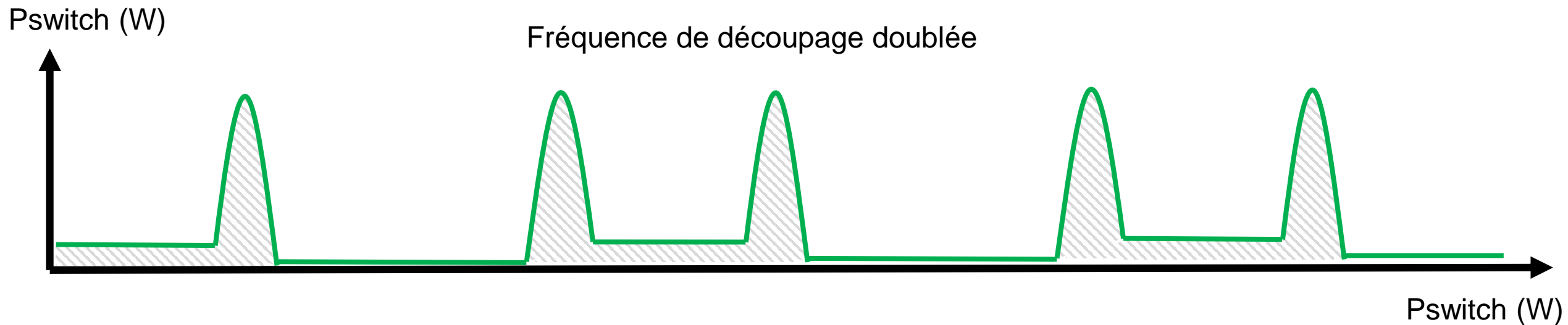
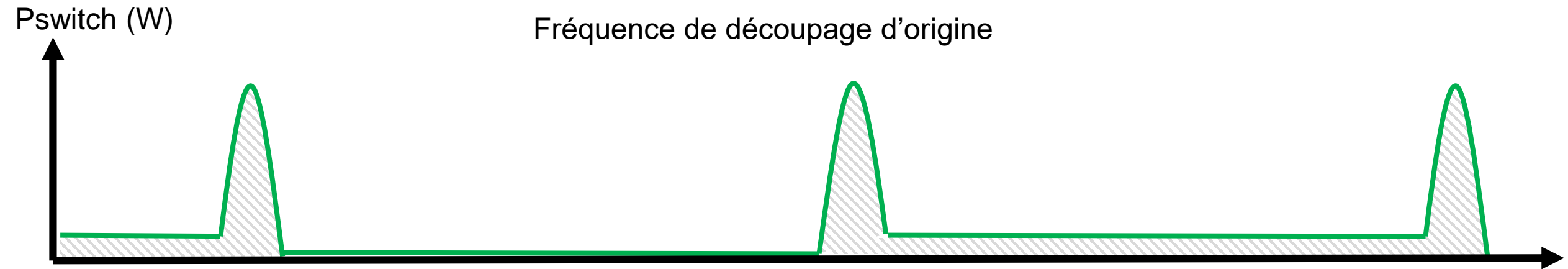
$$A = \frac{4}{3} \times \Delta t \times W_{PK}$$

$$P_{switching} = 2 \times F_{sw} \times \frac{4}{3} \times \Delta t \times W_{PK}$$

$$P_{switching} = 2,67 \text{ W}$$

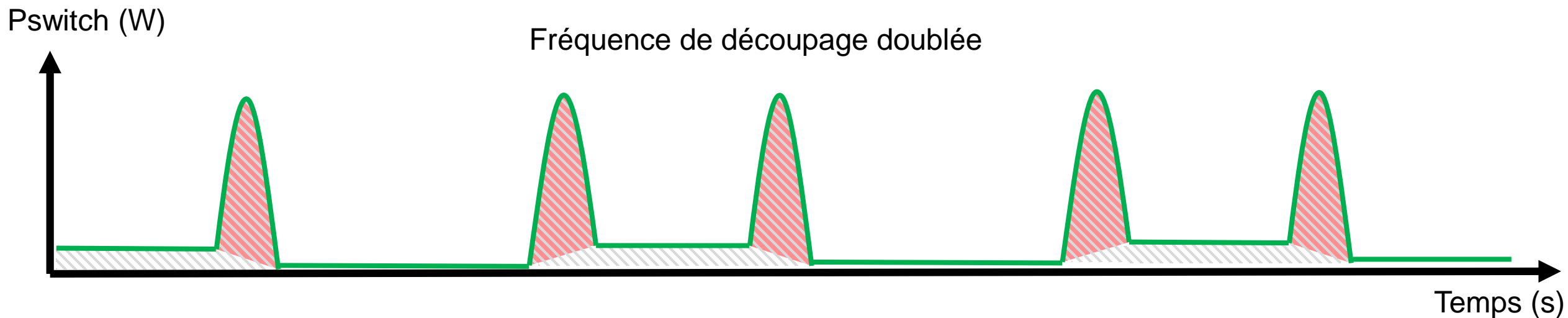
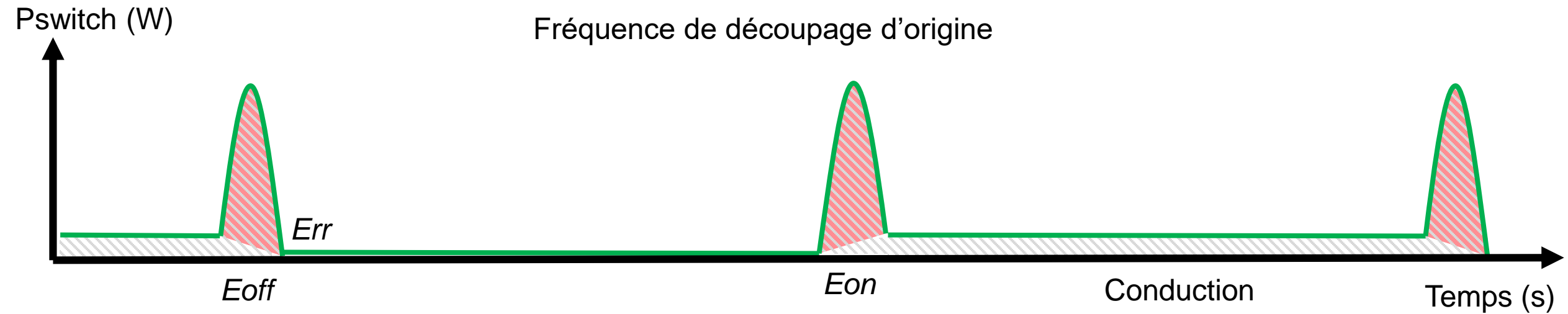
Evolution des fréquences de découpage

Pertes en conduction et pertes en commutation dans les semi-conducteurs



Evolution des fréquences de découpage

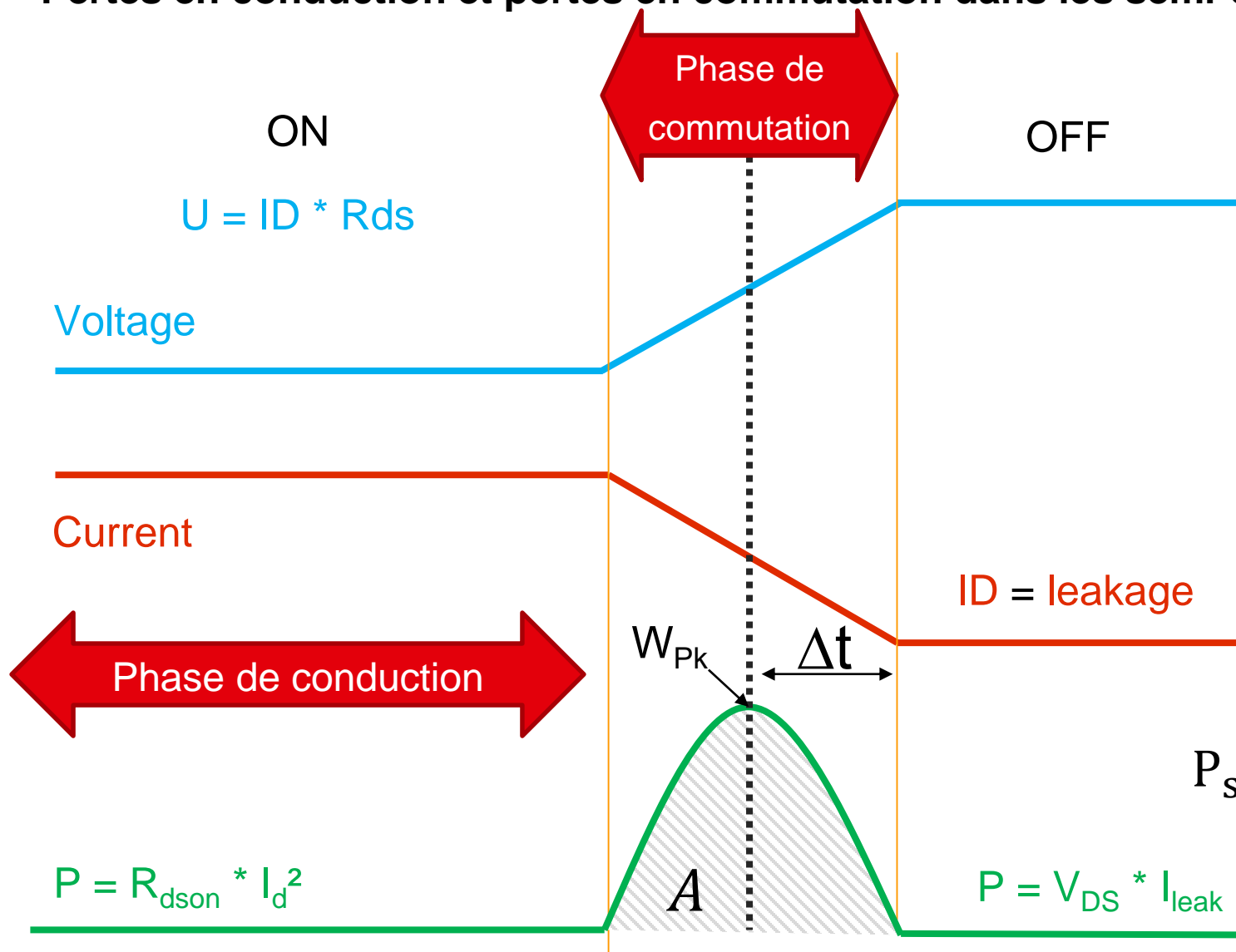
Pertes en conduction et pertes en commutation dans les semi-conducteurs





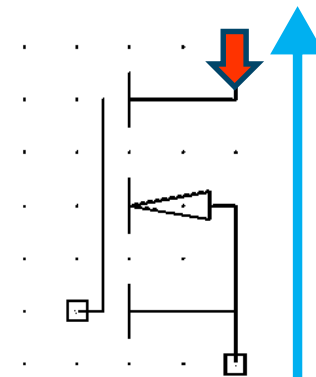
Evolution des fréquences de découpage

Pertes en conduction et pertes en commutation dans les semi-conducteurs



Exemple d'application

- $V = 20 \text{ V}$
- $i = 4 \text{ A}$
- $\Delta t = 100 \text{ ns}$
- $F_{sw} = 500 \text{ kHz}$

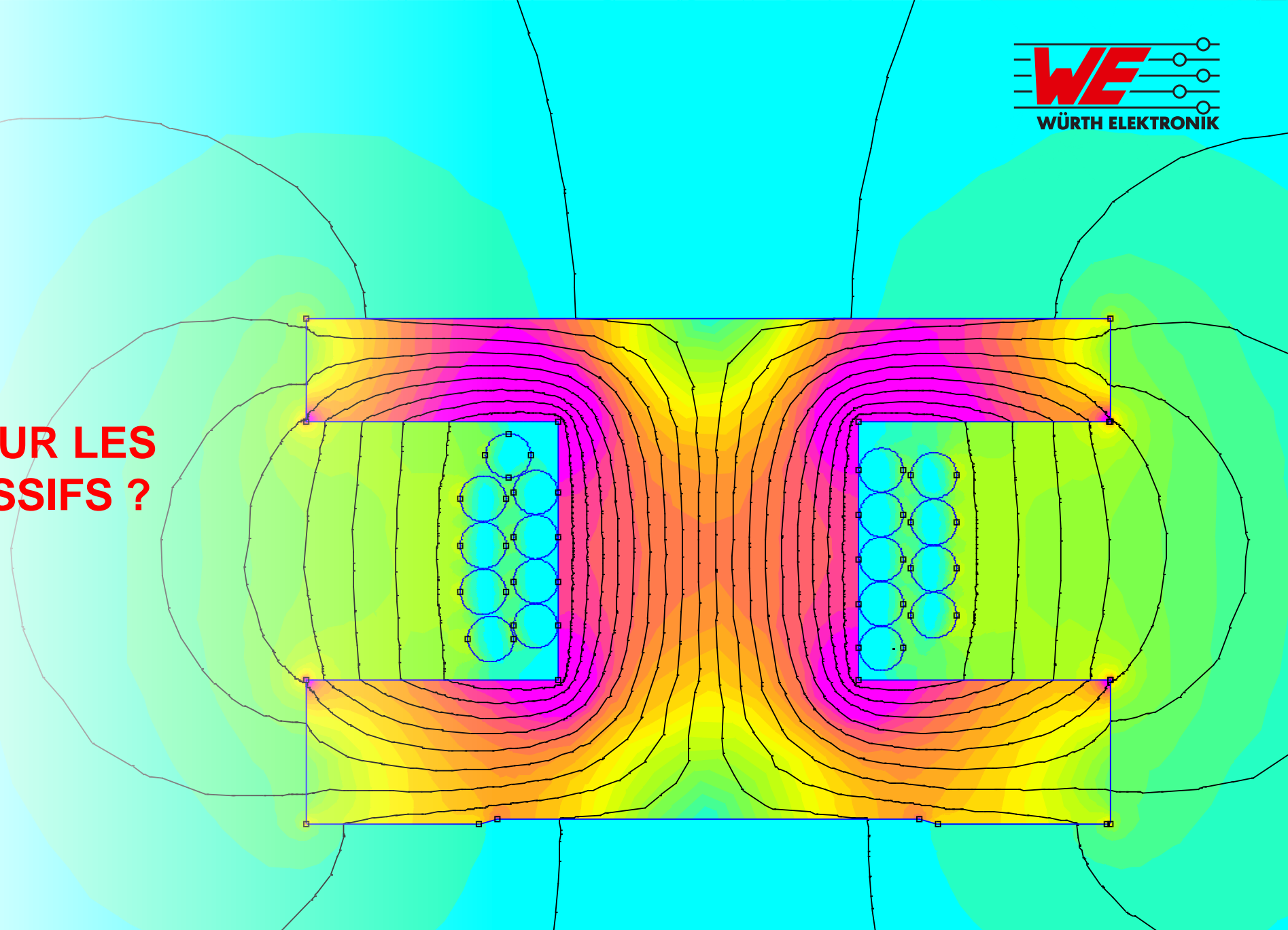


$$A = \frac{4}{3} \times \Delta t \times W_{PK}$$

$$P_{switching} = 2 \times F_{sw} \times \frac{4}{3} \times \Delta t \times W_{PK}$$

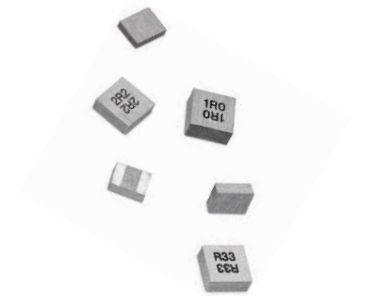
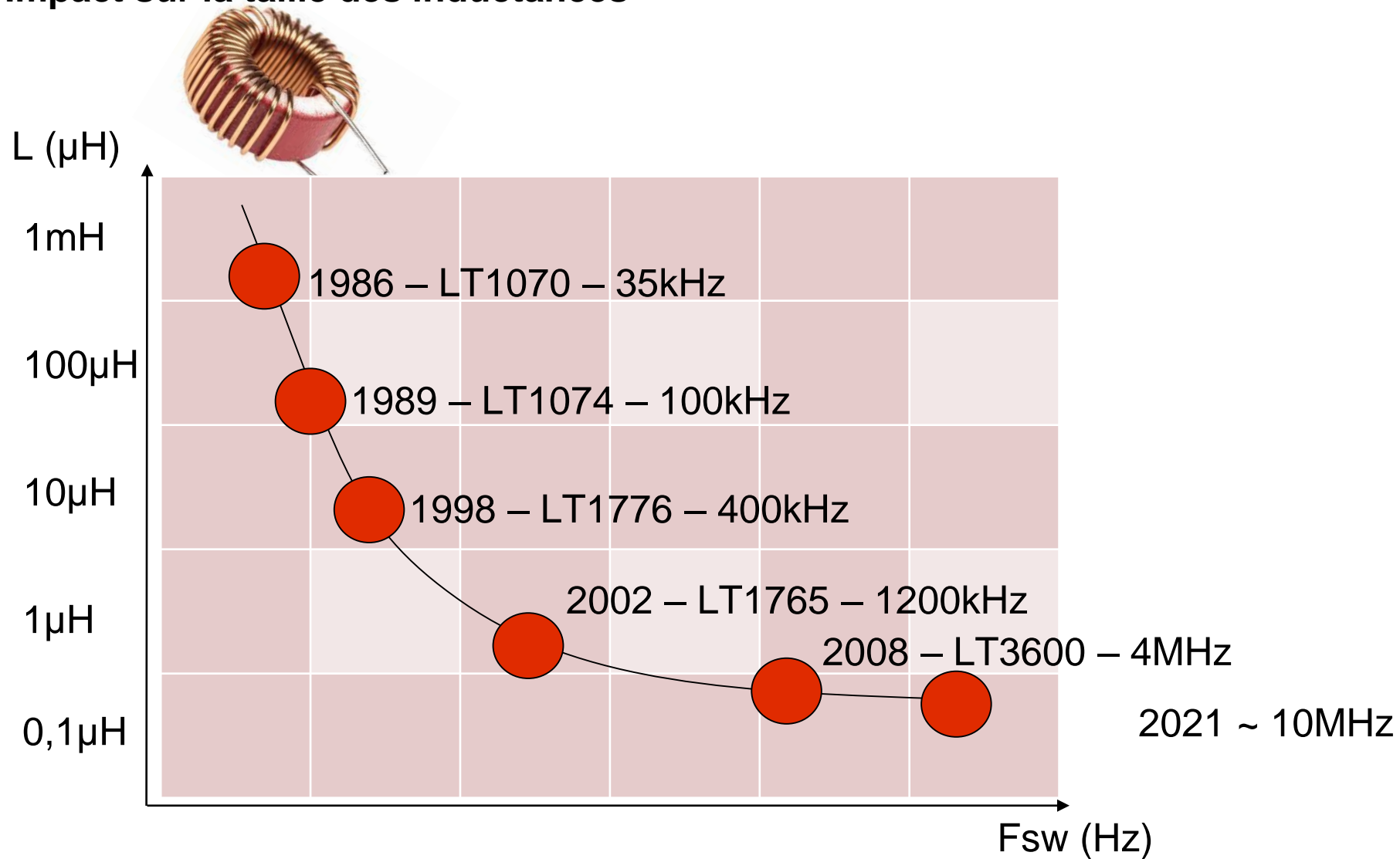
$$P_{switching} = 2,67 \text{ W}$$

**QUELS IMPACTS SUR LES
COMPOSANTS PASSIFS ?**



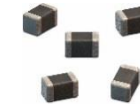
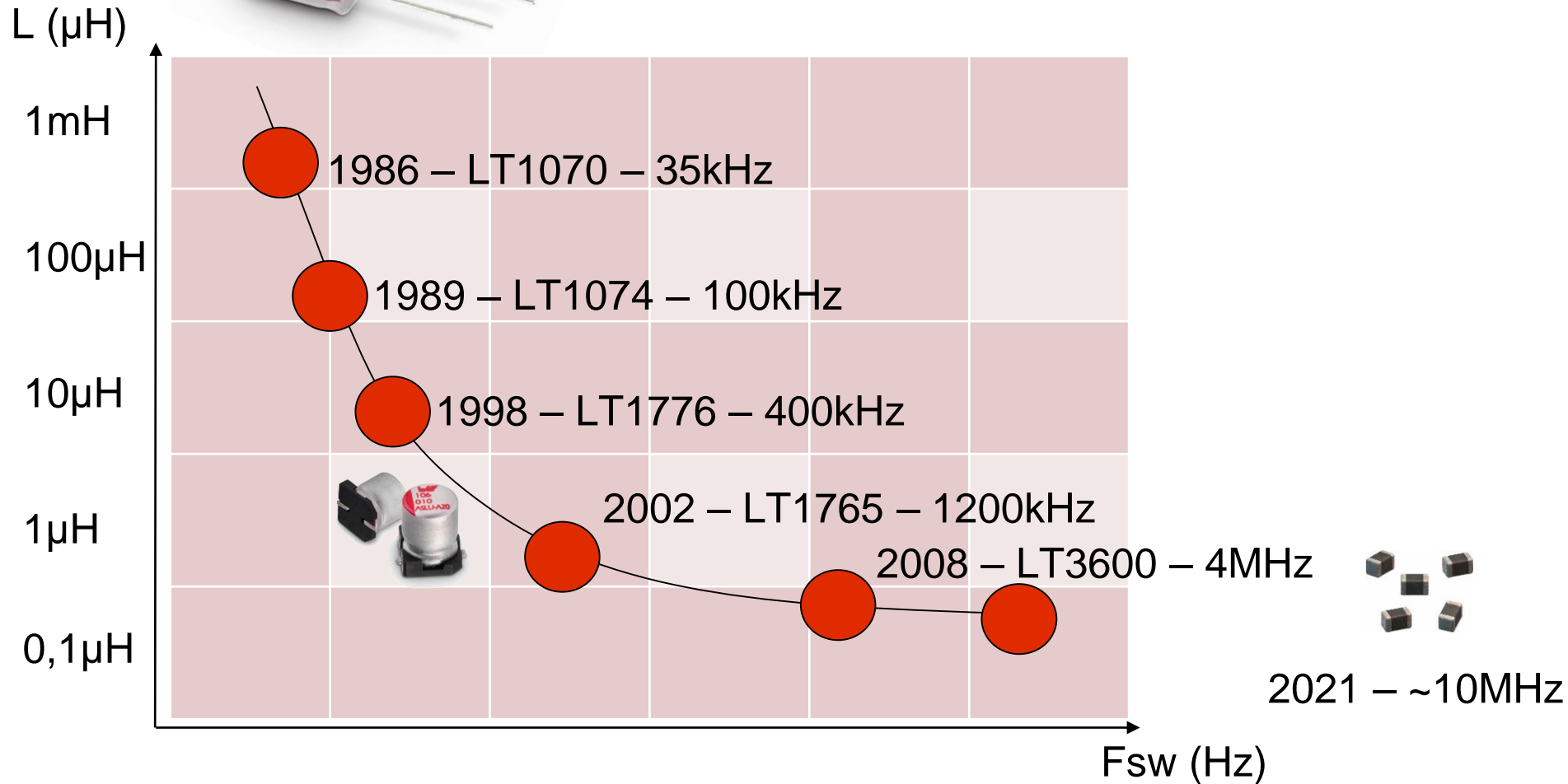
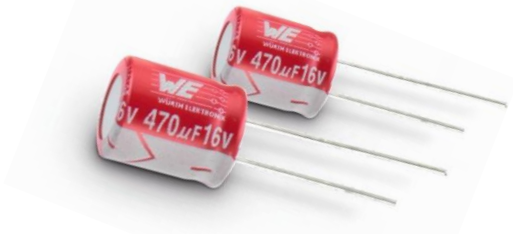
Evolution des fréquences de découpage

Impact sur la taille des inductances



Evolution des fréquences de découpage

Impact sur la taille des condensateurs



2021 – ~10MHz

Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs



Valeur d'inductance

$$U_L = -L \frac{di}{dt}$$

Tension aux bornes de l'inductance (indicated by a red arrow pointing to U_L)
 Valeur d'inductance (indicated by a grey arrow pointing to L)
 Variation de courant (indicated by a red arrow pointing to di)
 Variation de temps (indicated by a red arrow pointing to dt)

Multiplication par 10 la fréquence de découpage



Division par 10 de la valeur inductive

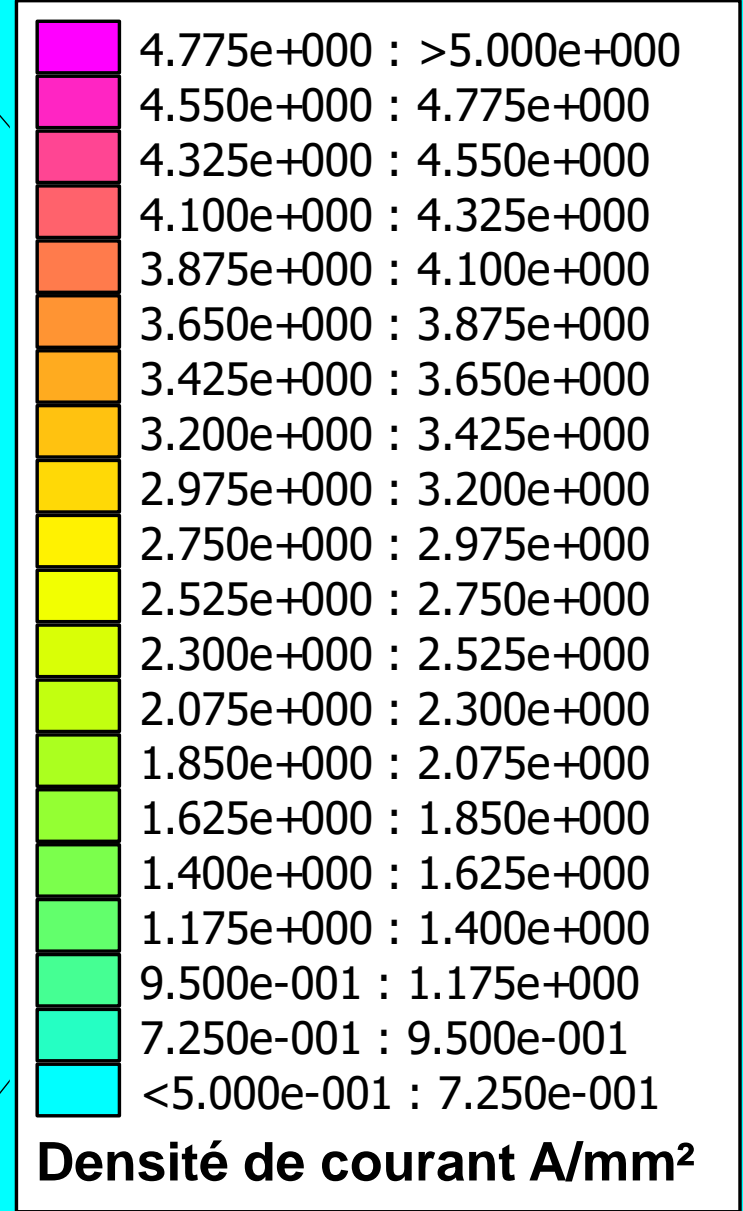
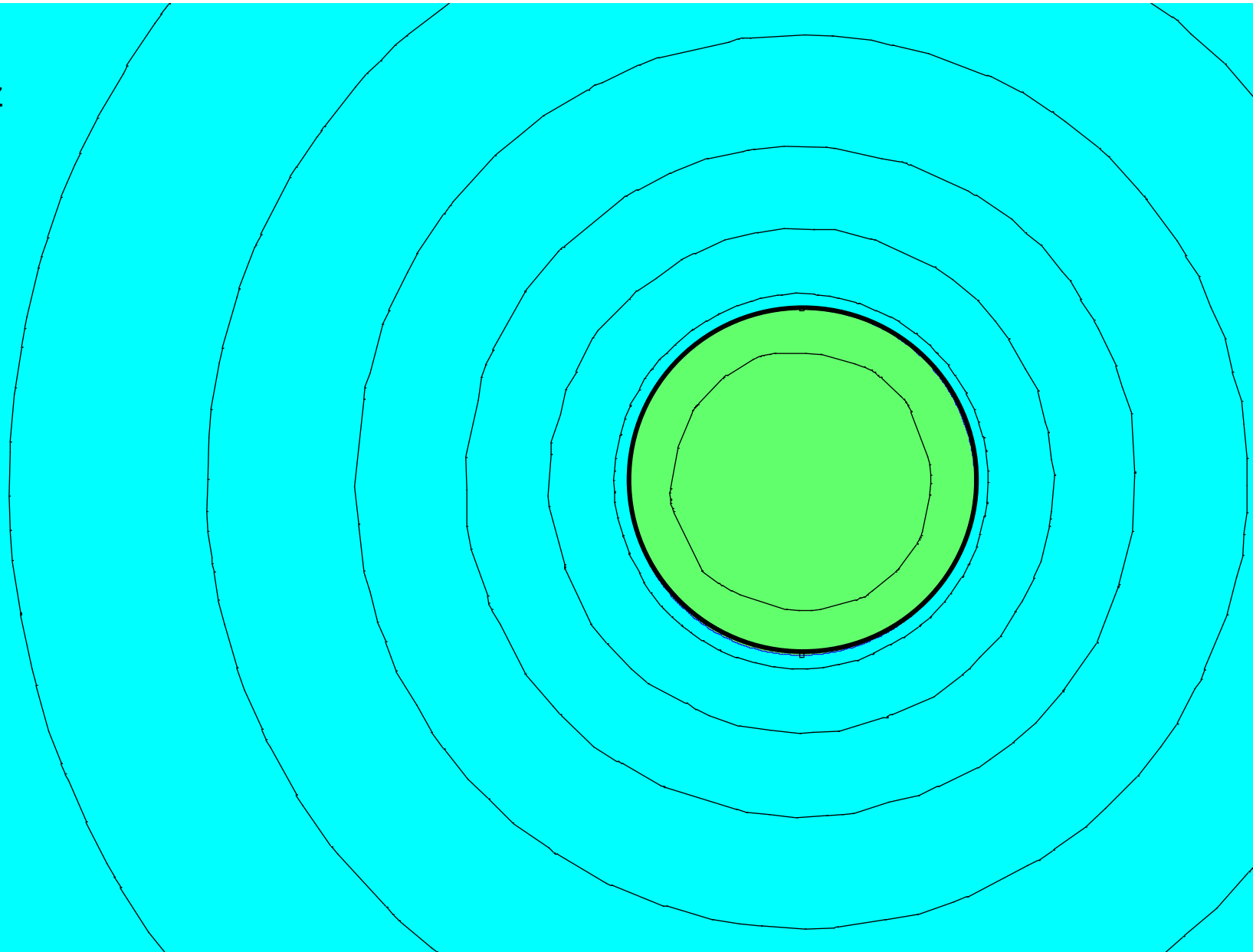


À Taille équivalente division par 5 à 10 du RDC



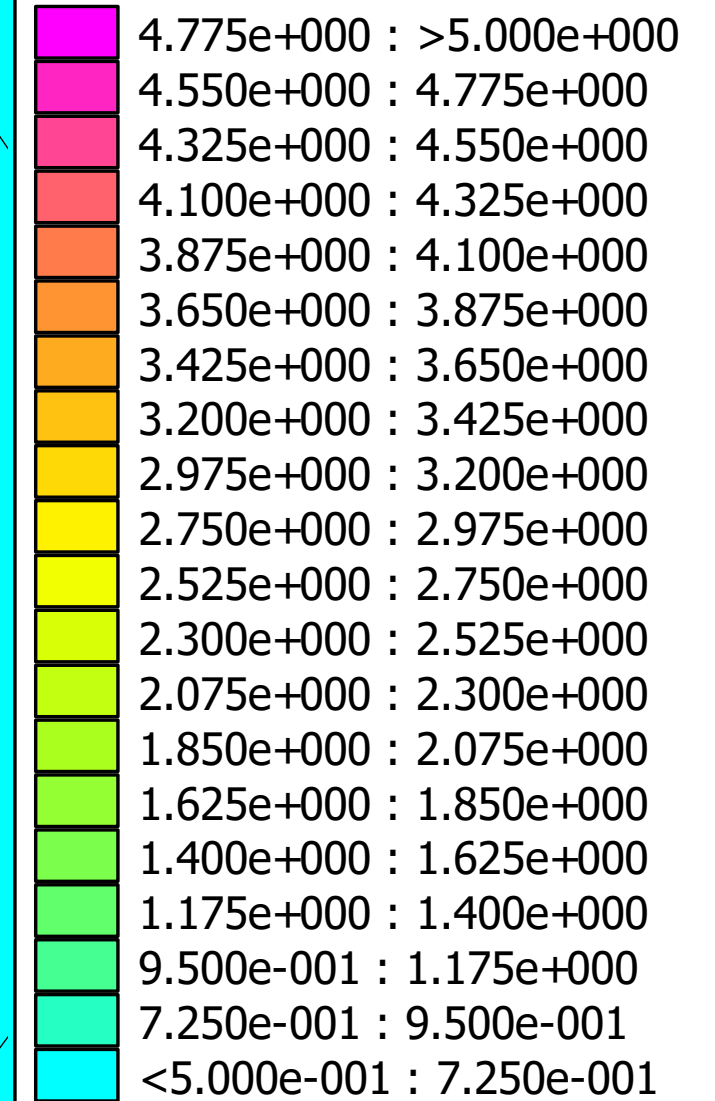
Effet de peau sur fil de cuivre 1mm

0 Hz



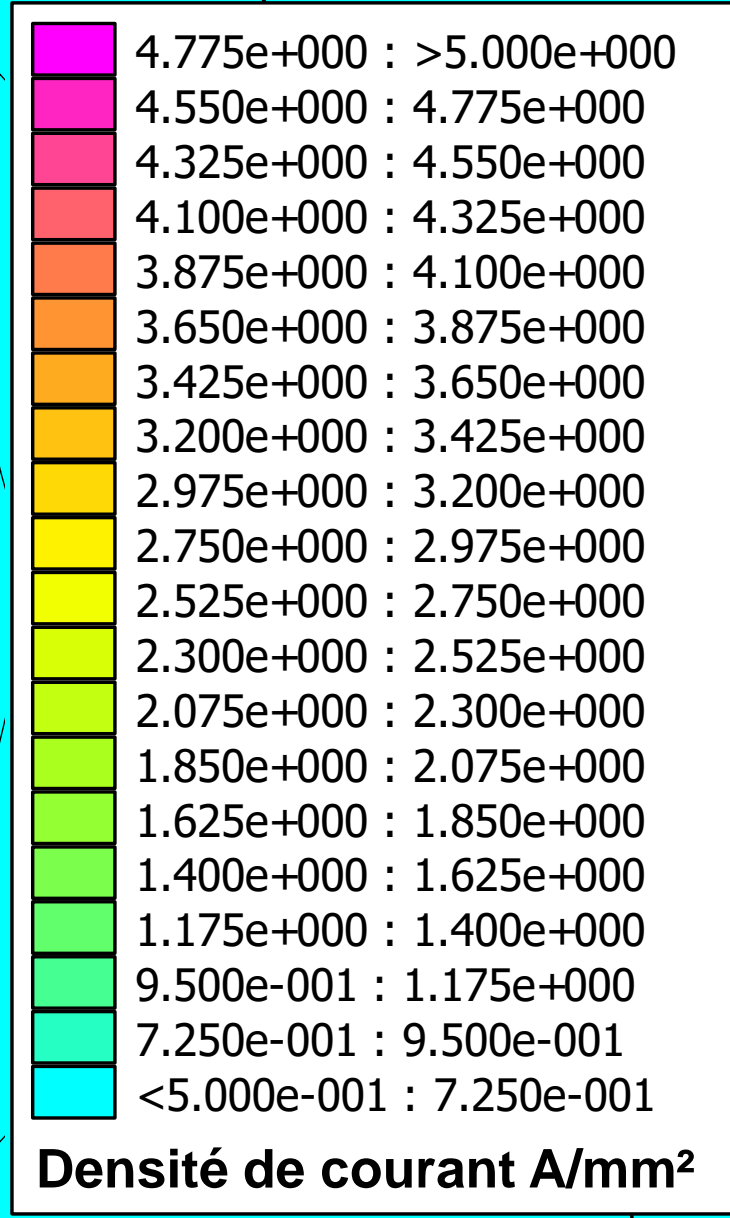
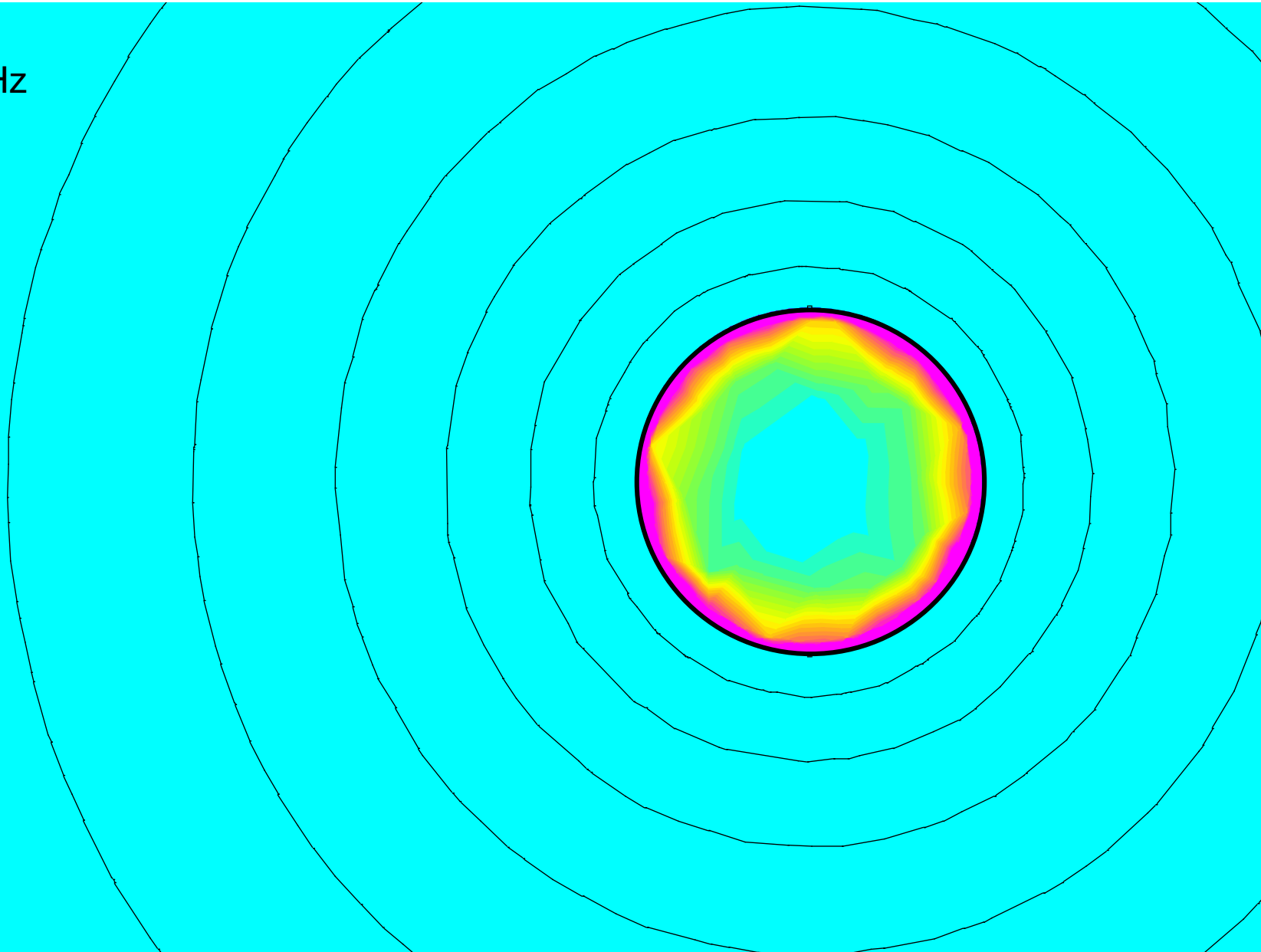
Effet de peau sur fil de cuivre 1mm

200 kHz

**Densité de courant A/mm²**

Effet de peau sur fil de cuivre 1mm

2 MHz

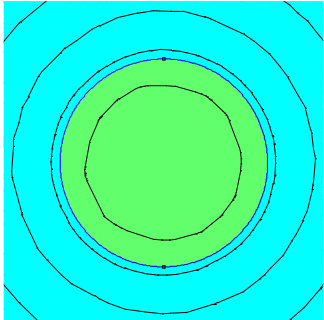


Evolution des fréquences de découpage

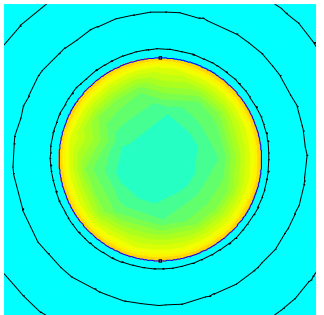
Impact concret sur les composants passifs



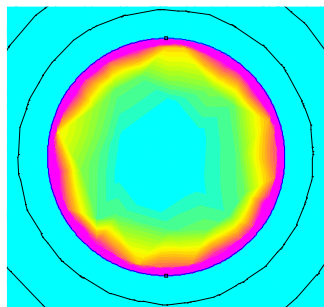
Effet de peau



DC (0 Hz)



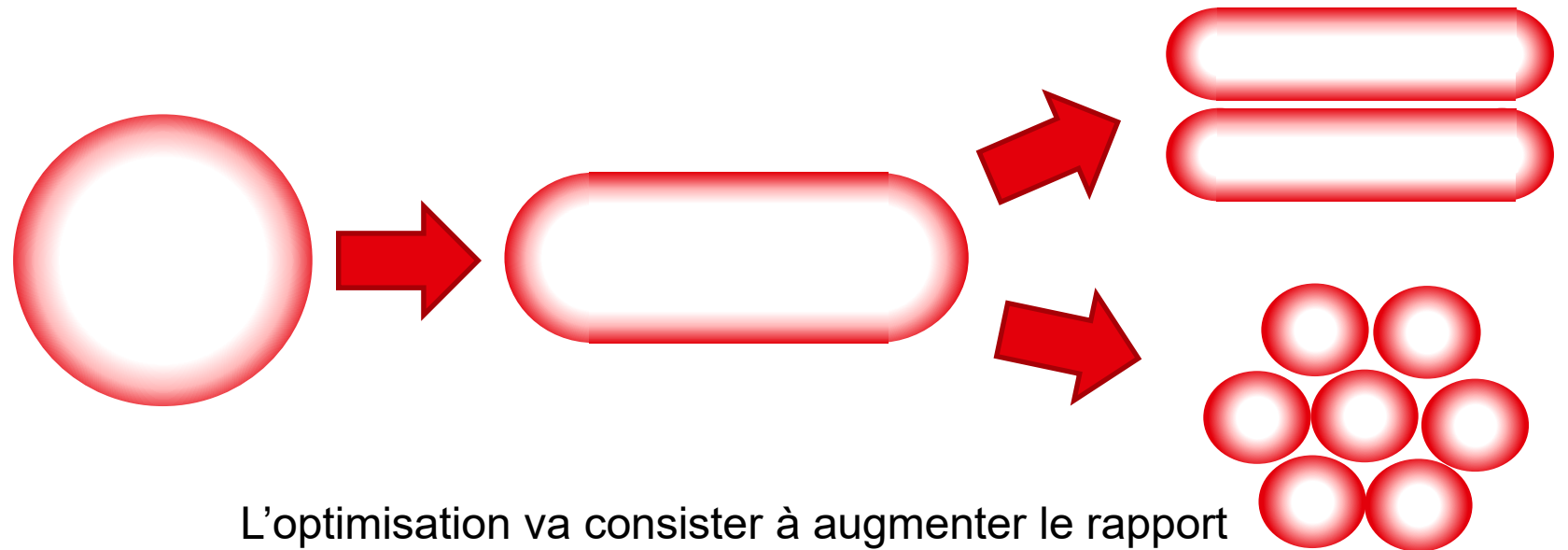
10kHz



2 MHz

$$\delta = \frac{7.5}{\sqrt{f}} \text{ cm}$$

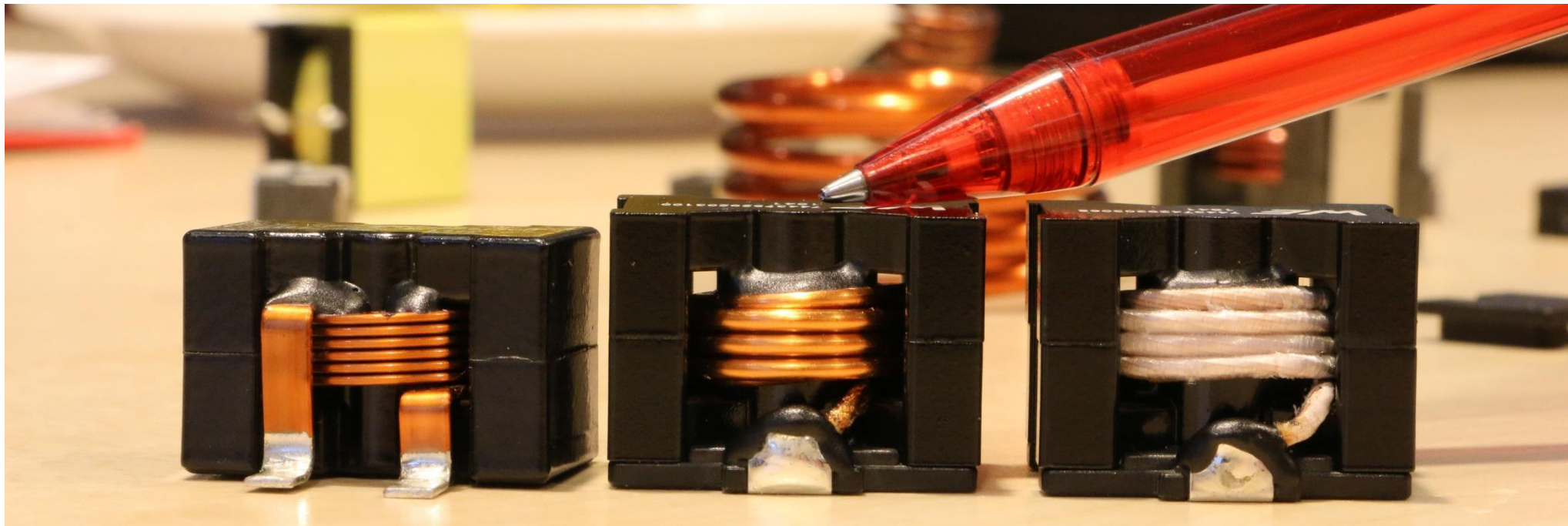
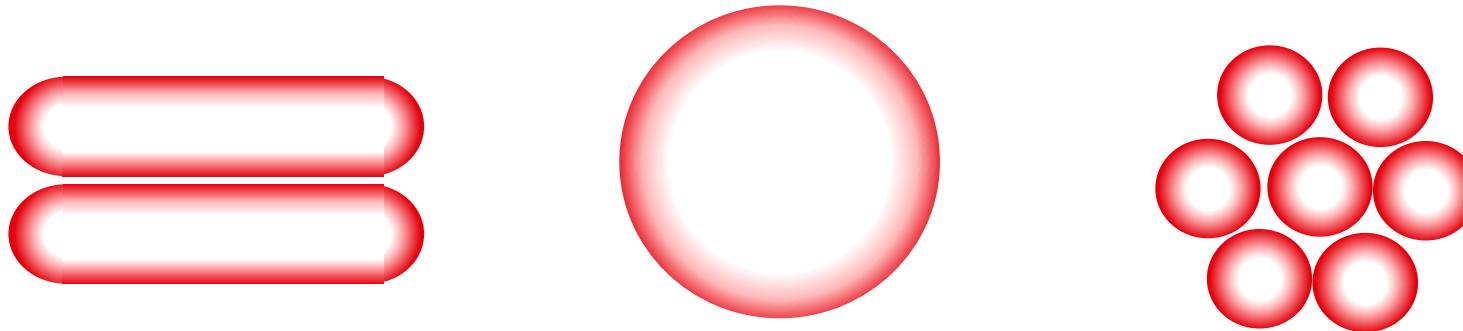
Une ondulation de courant à **haute fréquence** fait circuler le courant (HF) dans la **périphérie du conducteur**



L'optimisation va consister à augmenter le rapport
Périmètre / Section

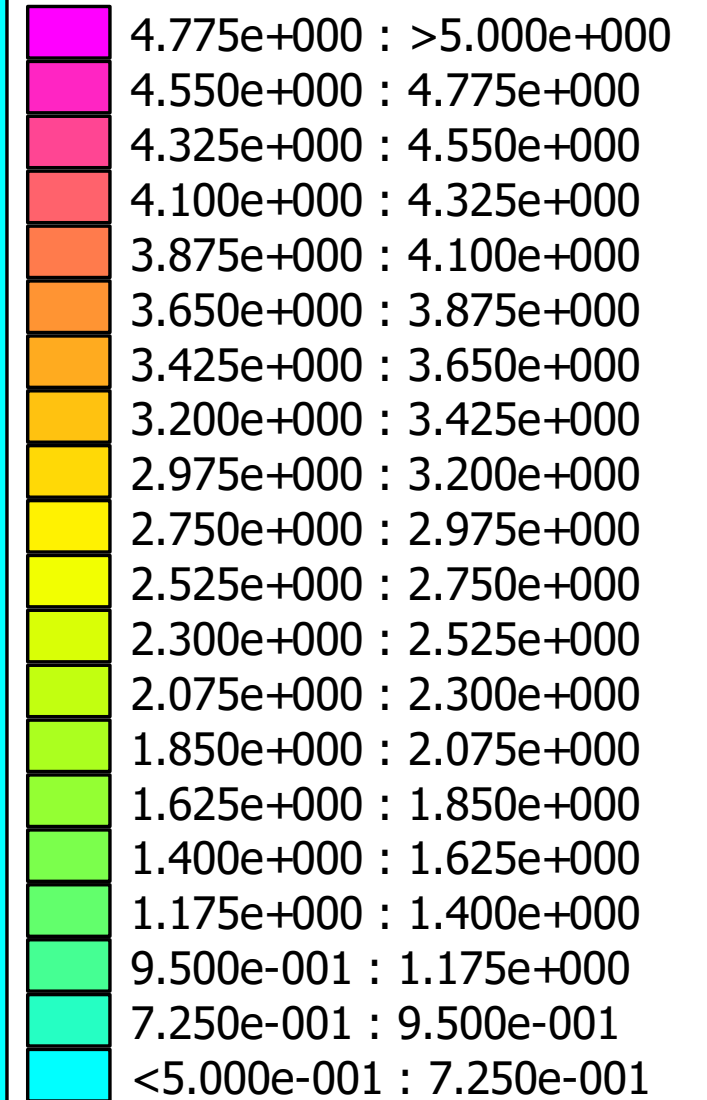
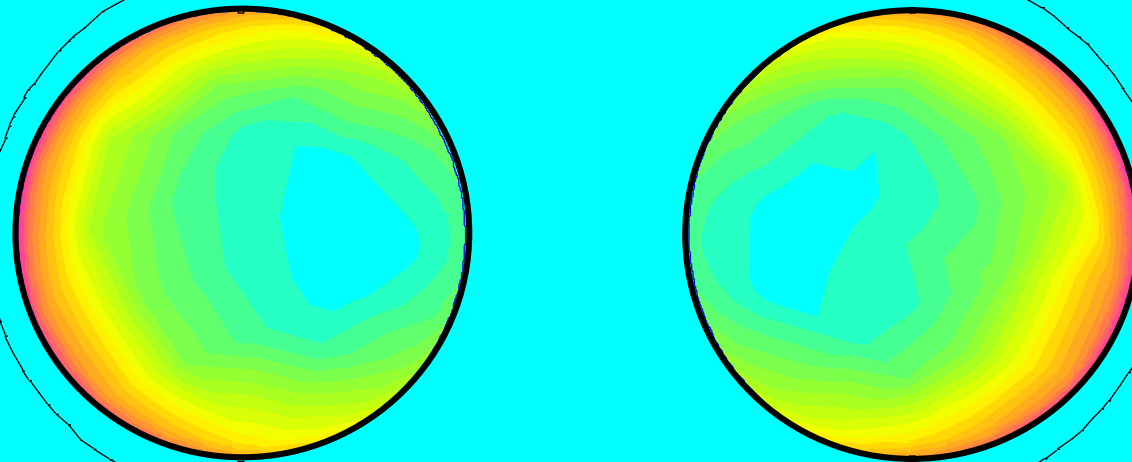
Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs



Effet de proximité sur deux fils de cuivre 1mm

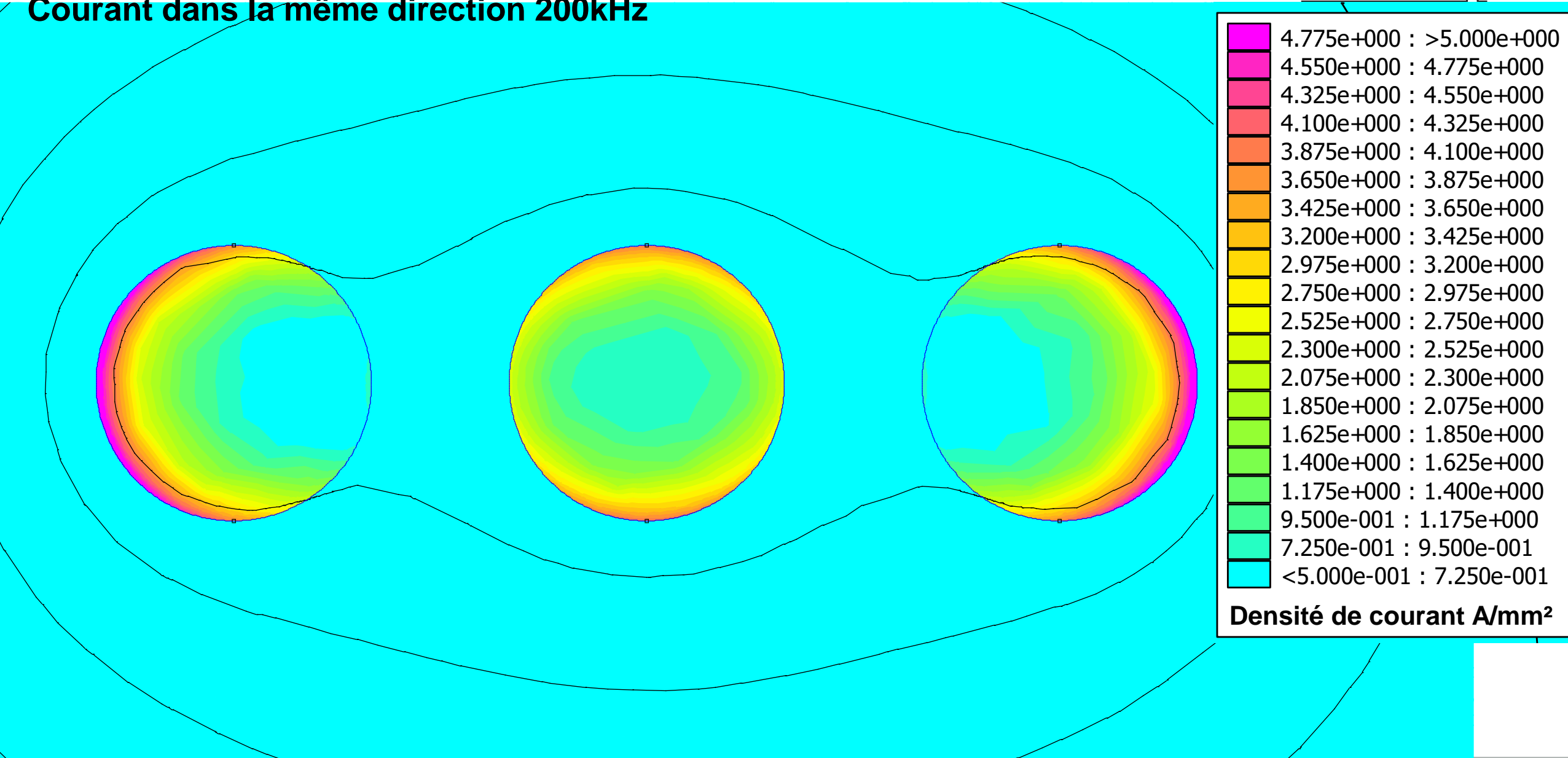
Courant dans la même direction 200kHz



Densité de courant A/mm²

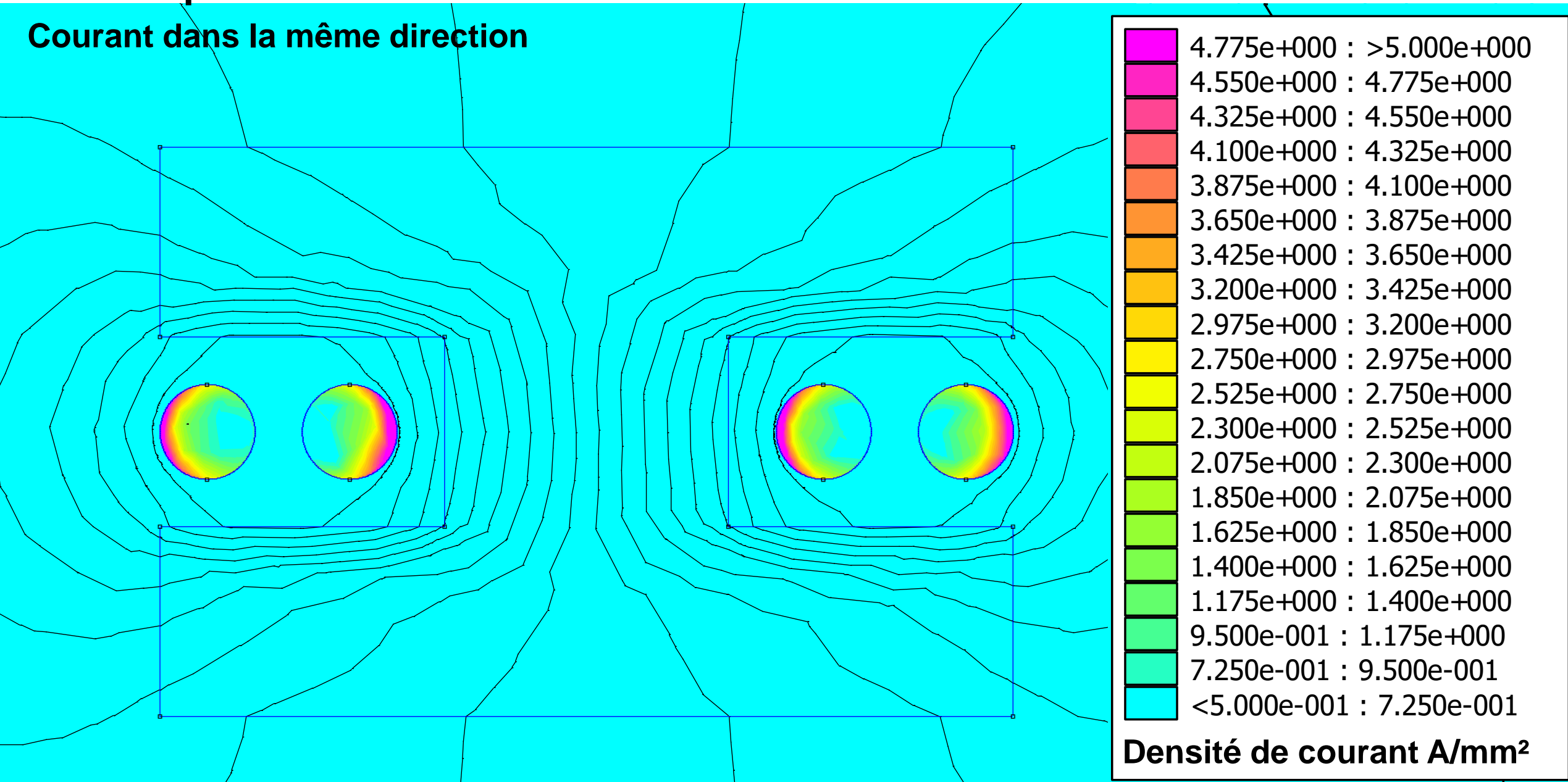
Effet de proximité sur trois fils de cuivre 1mm

Courant dans la même direction 200kHz



Effet de proximité sur deux fils de cuivre 1mm

Courant dans la même direction



Evolution des fréquences de découpage

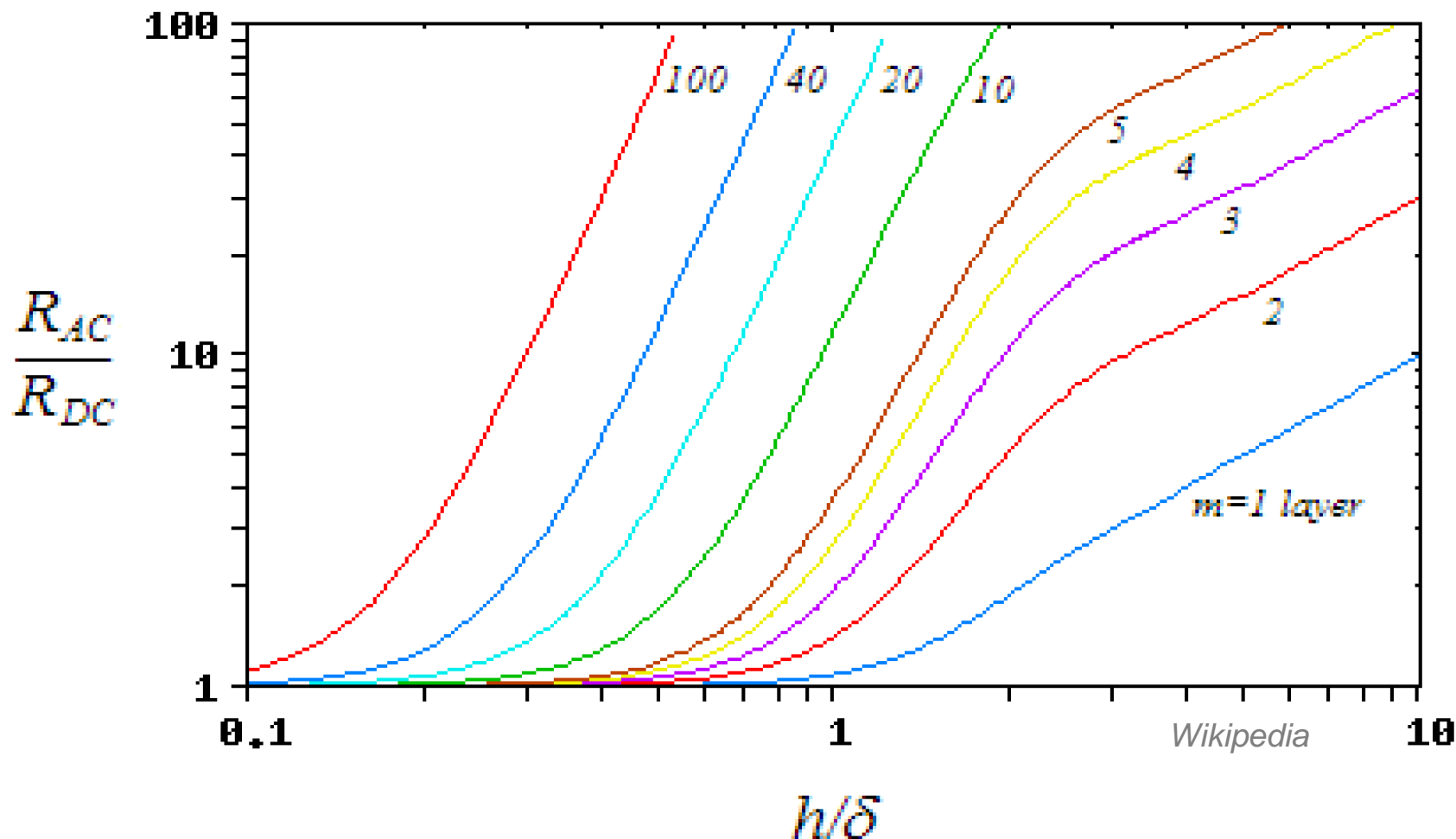
Impact concret sur les composants passifs



Effet de proximité

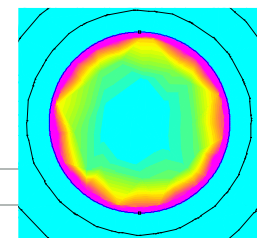
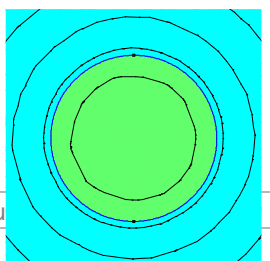
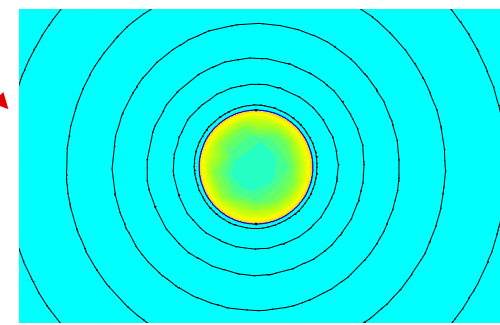
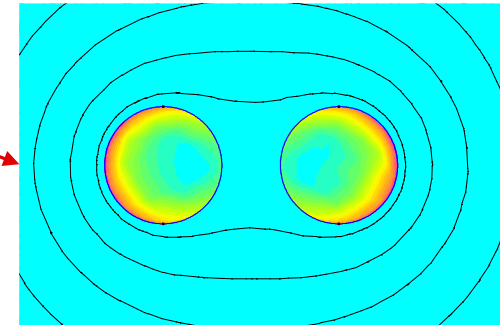
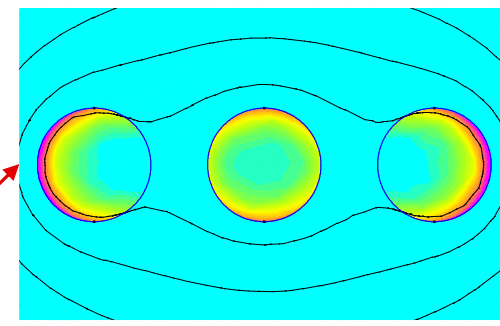
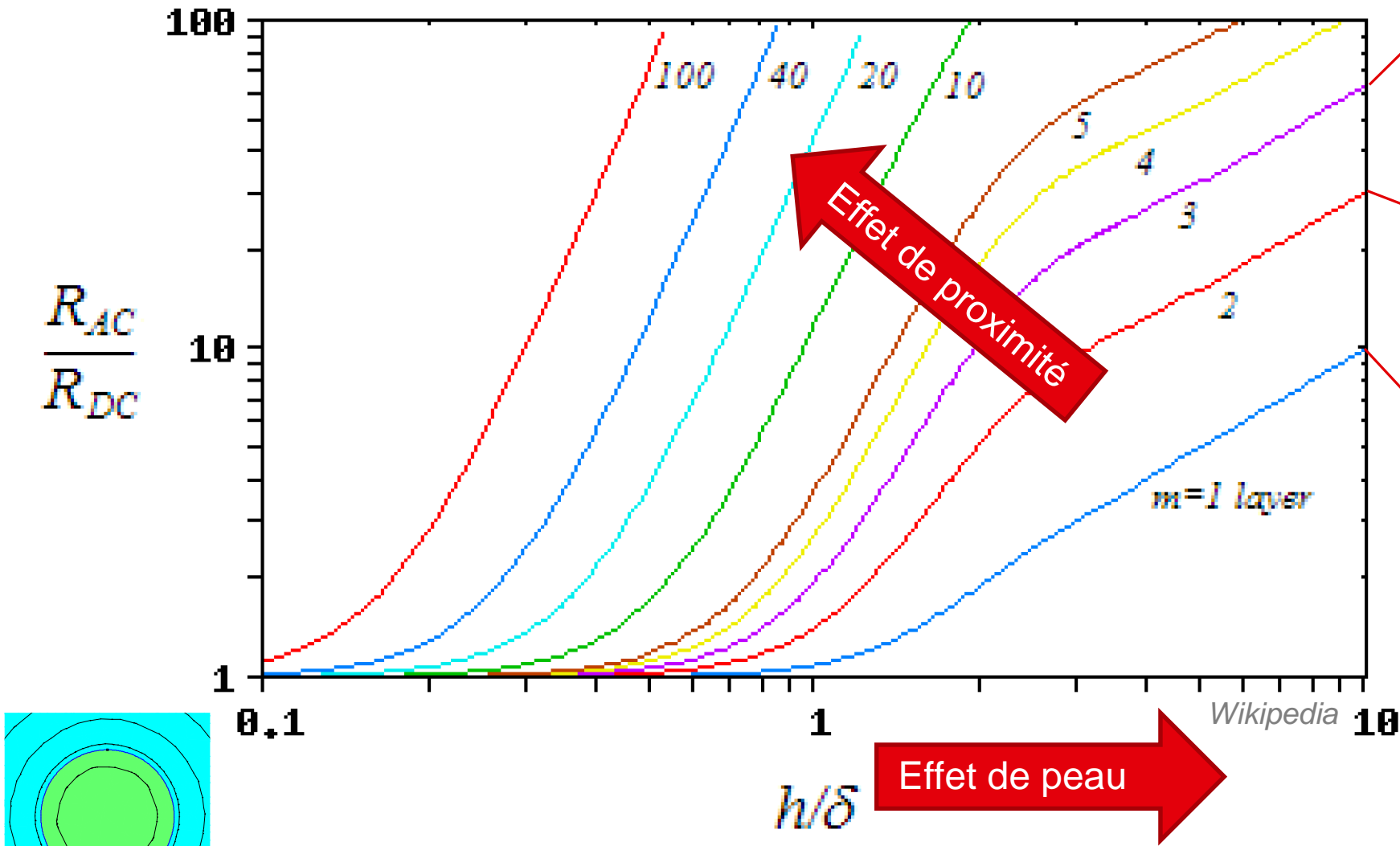
A **haute fréquence** les pertes par courant de Foucault dans les périphériques deviennent significatives, notamment si le nombre de couches est important

L'optimisation va consister à **réduire le nombre de couches superposées et leur disposition**



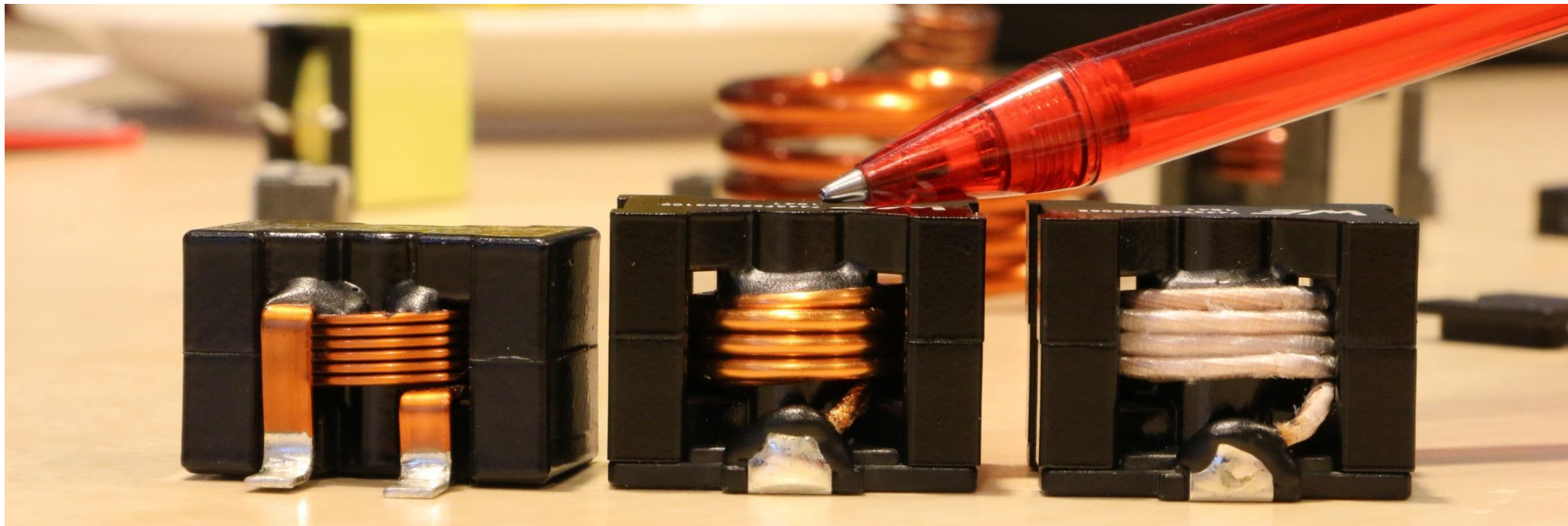
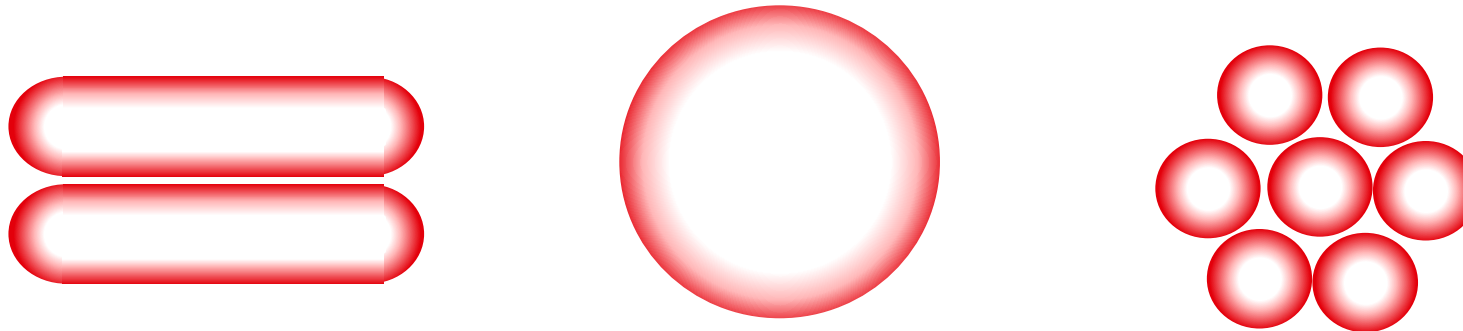
Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs



Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs

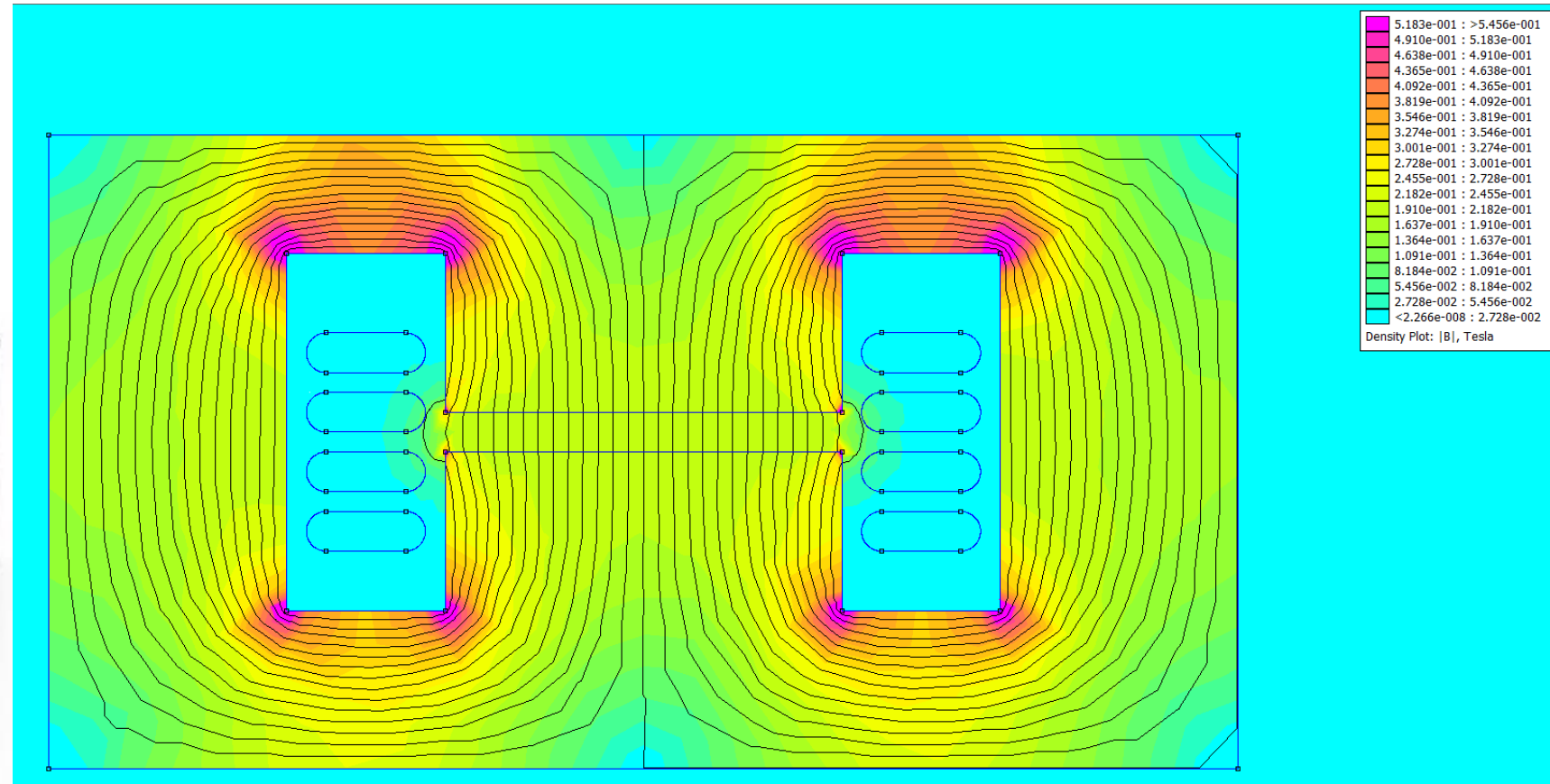
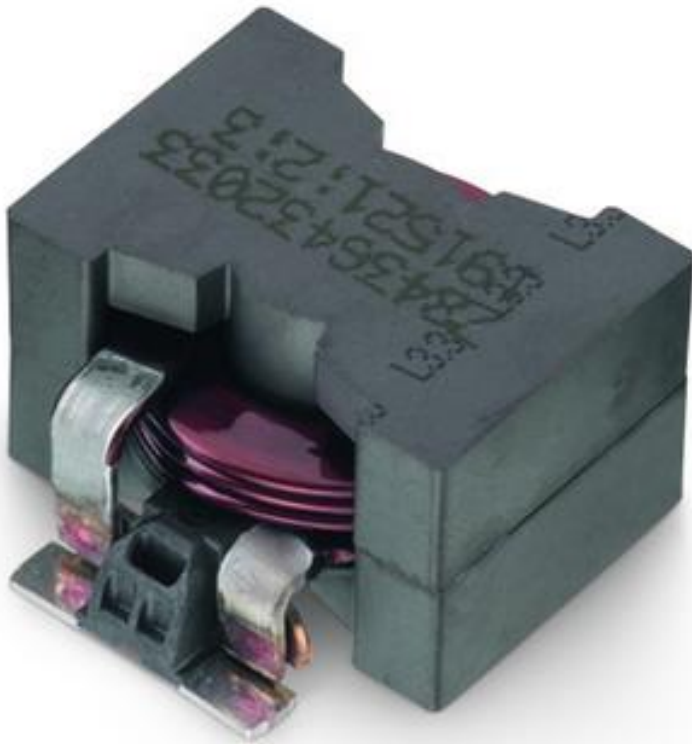


Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs



« Fringing Flux losses » en français « Effet de frange »



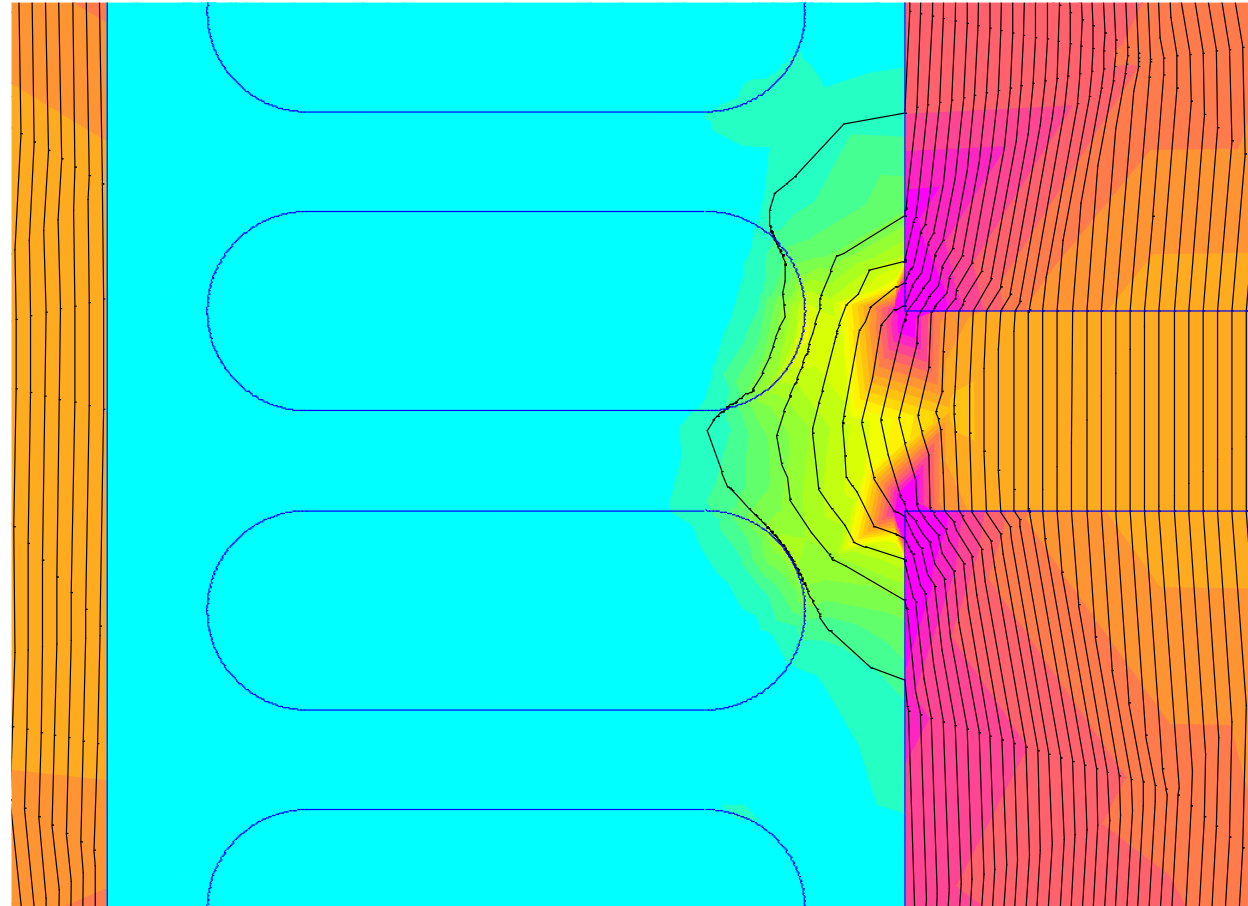
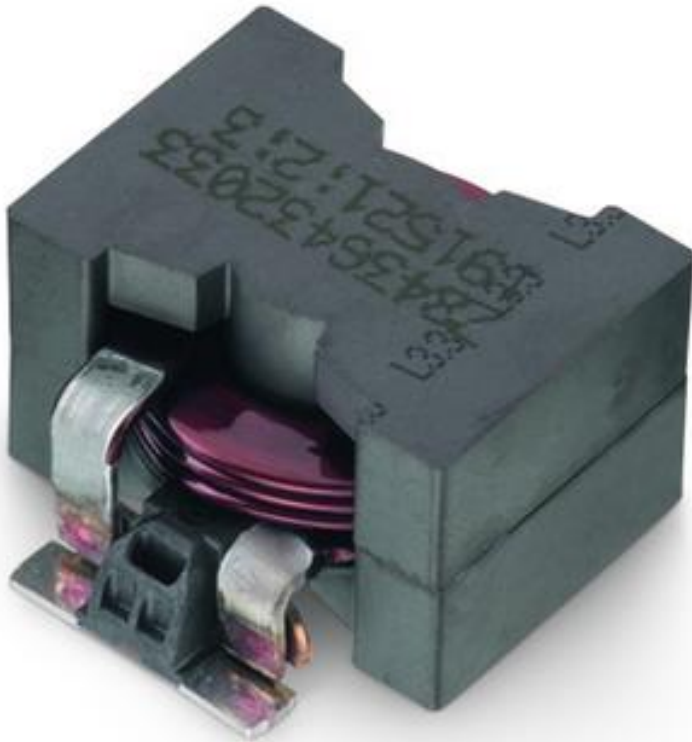
Densité de flux d'induction **|B|**

Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs



« Fringing Flux losses » en français « Effet de frange »



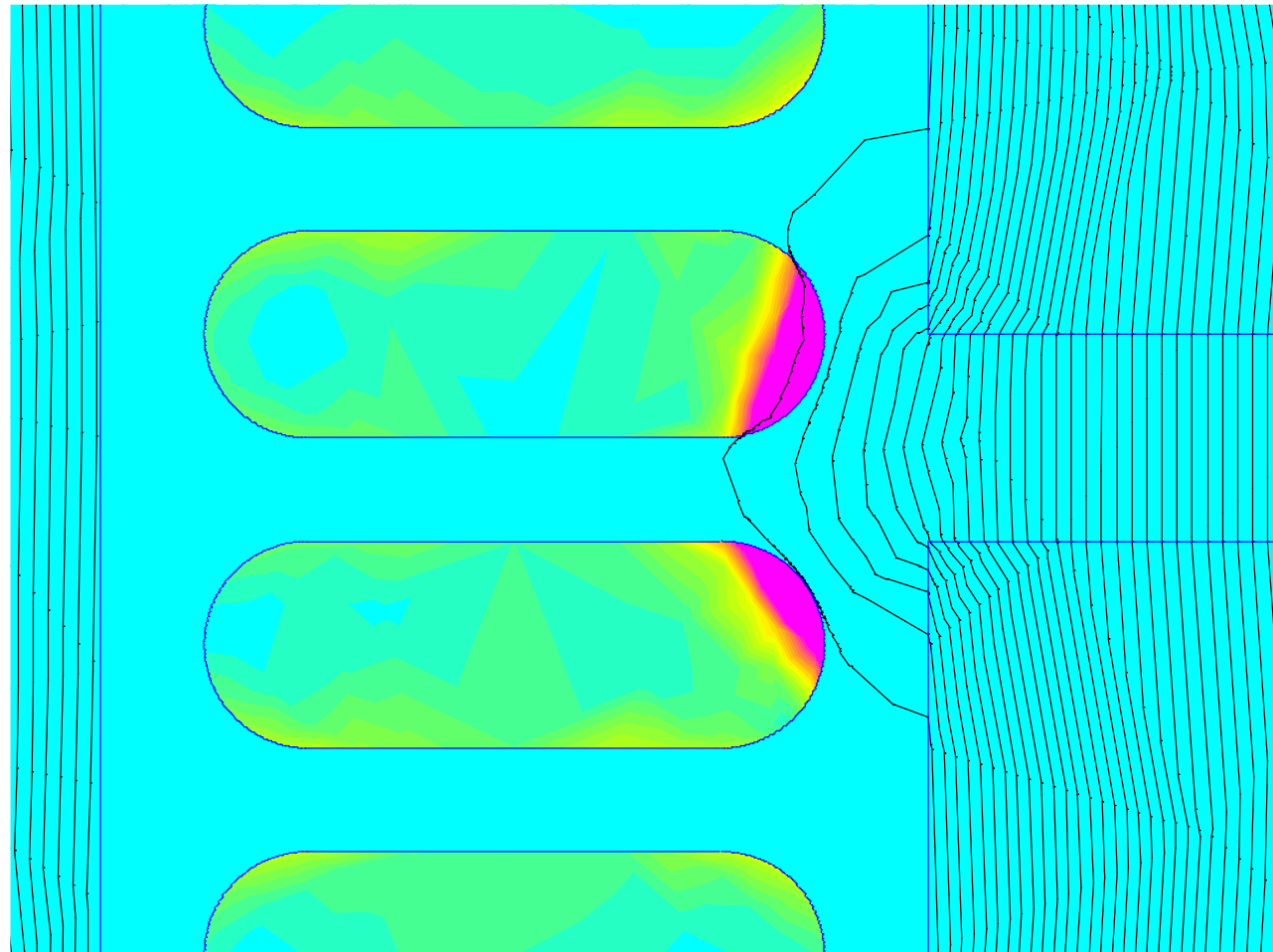
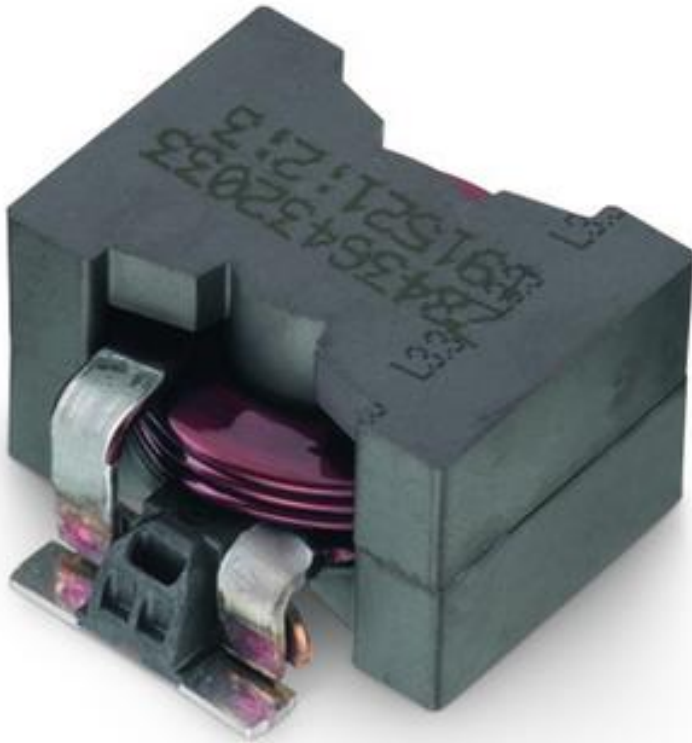
Densité de flux d'induction

Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs



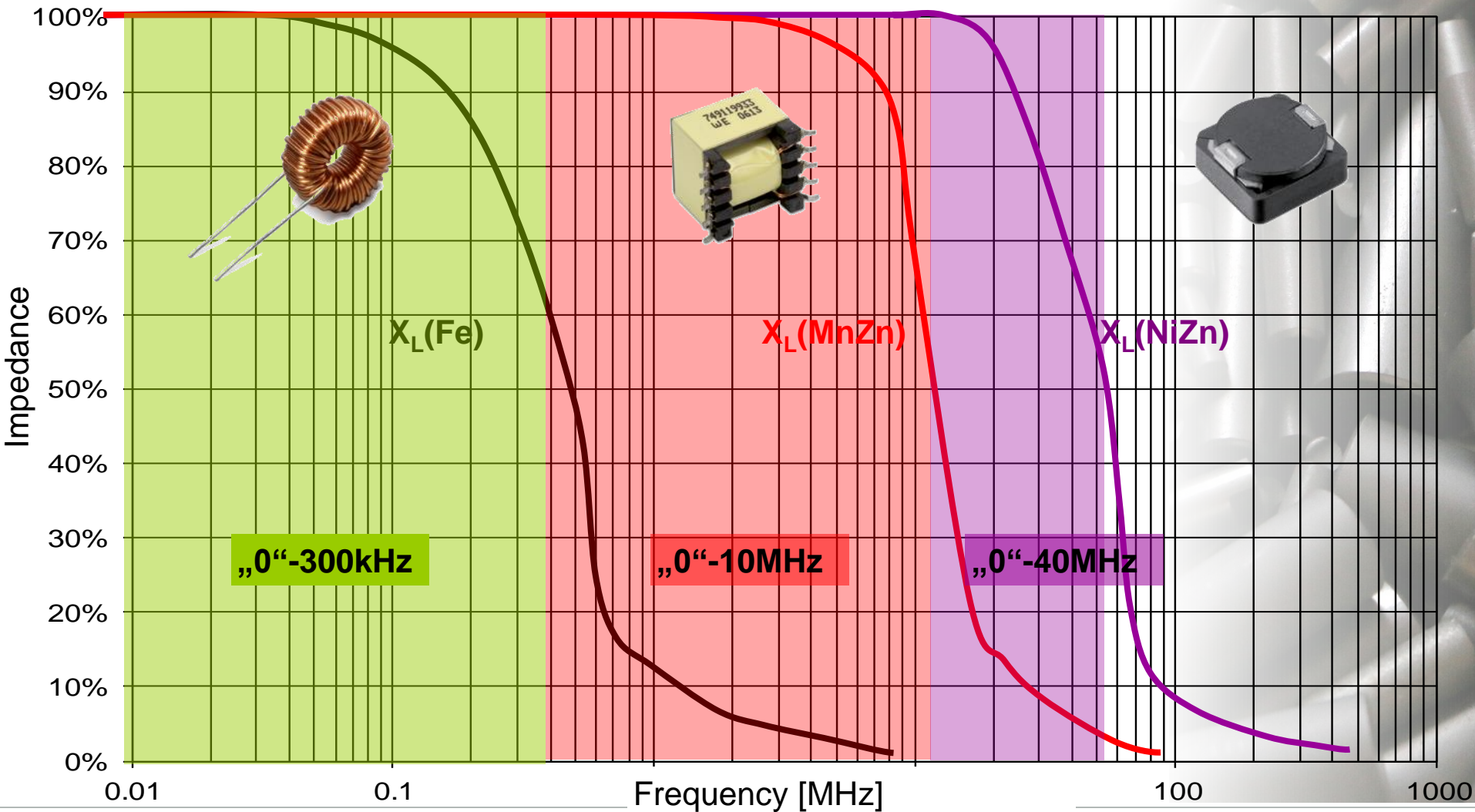
« Fringing Flux losses » en français « Effet de frange »



Densité de courant modifiée par l'effet de frange

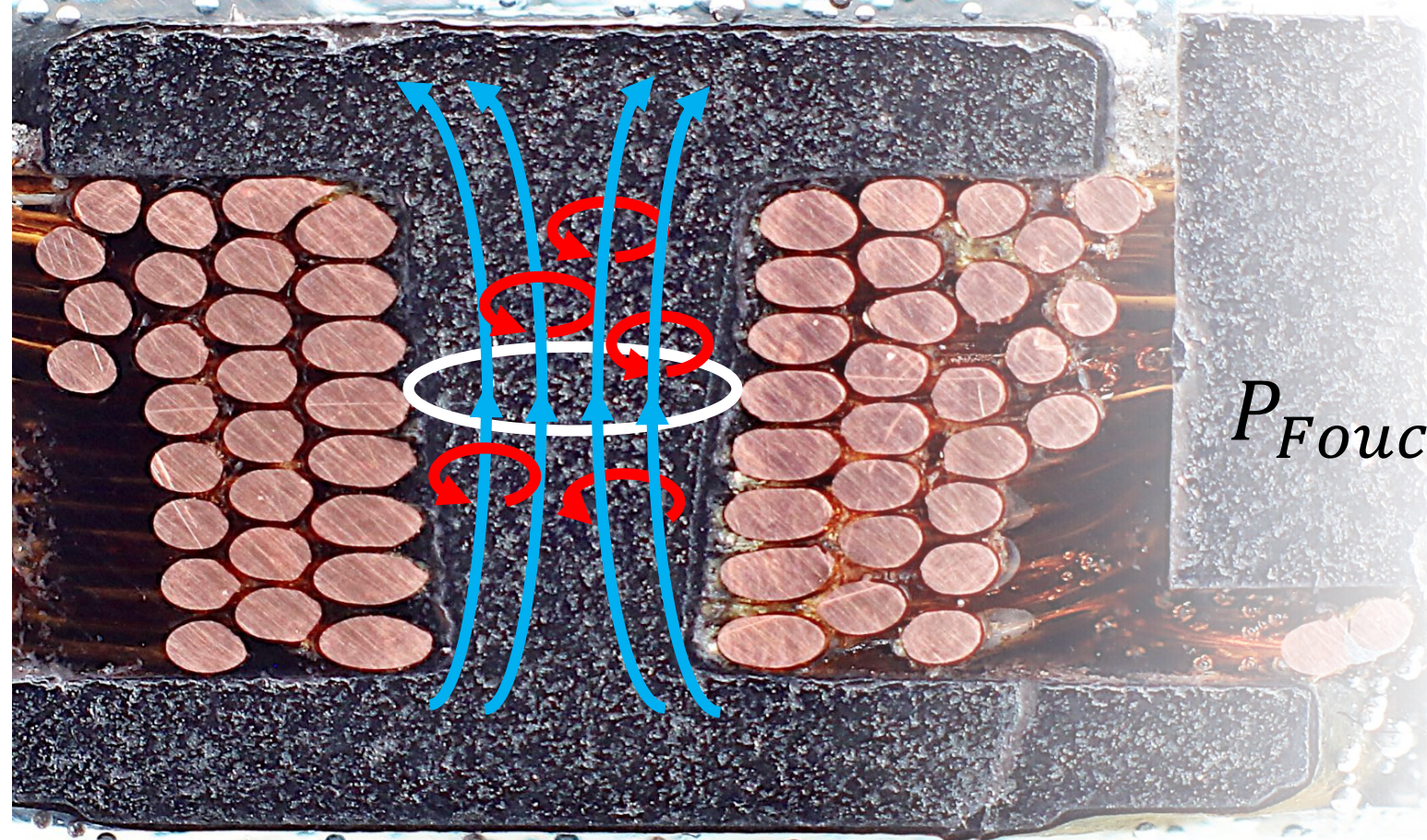
Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs – Matériaux du coeur



Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs – Matériaux du coeur



$P_{Foucault}$

$$= \frac{\pi^2 B_p^2 d^2 f^2}{6k\rho D}$$

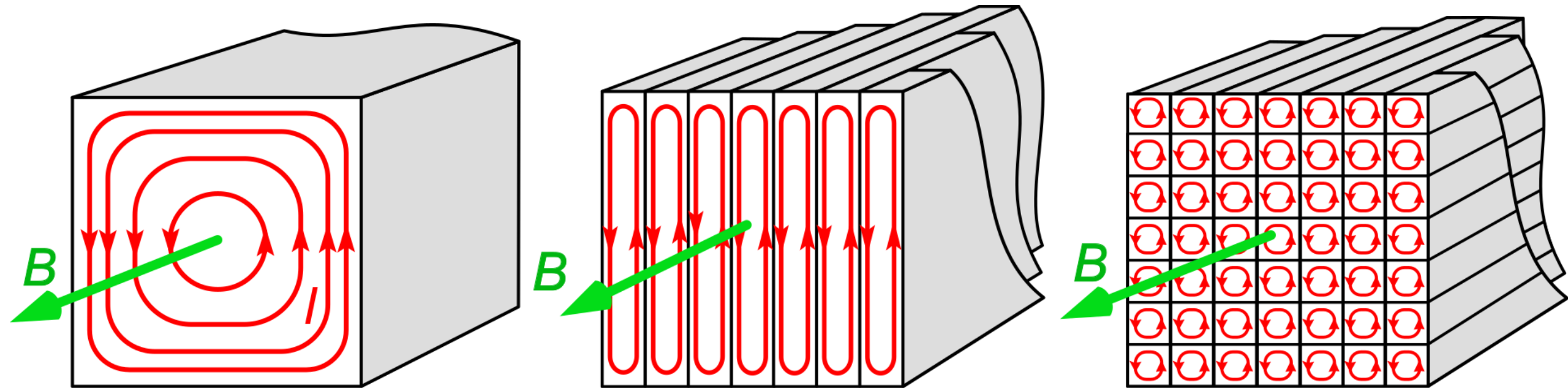
Densité de flux
magnétique crête

Fréquence

Termes dépendant de la géométrie et du matériau

Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs – Matériaux du coeur



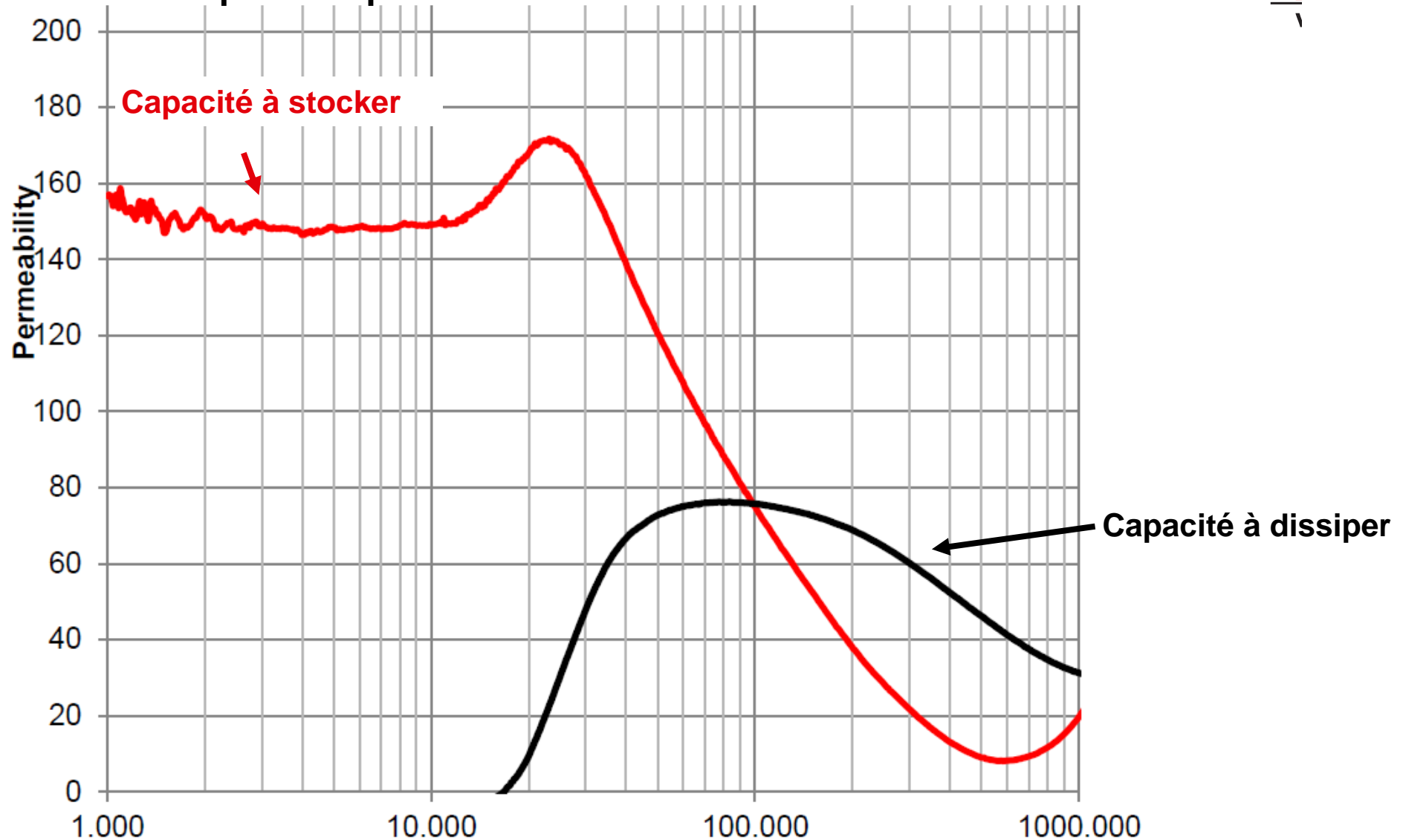
Massif

Laminé

Fritté

Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs – Matériaux du coeur



Evolution des fréquences de découpage

Impact concret sur les composants passifs – Matériaux du coeur





Evolution des fréquences de découpage

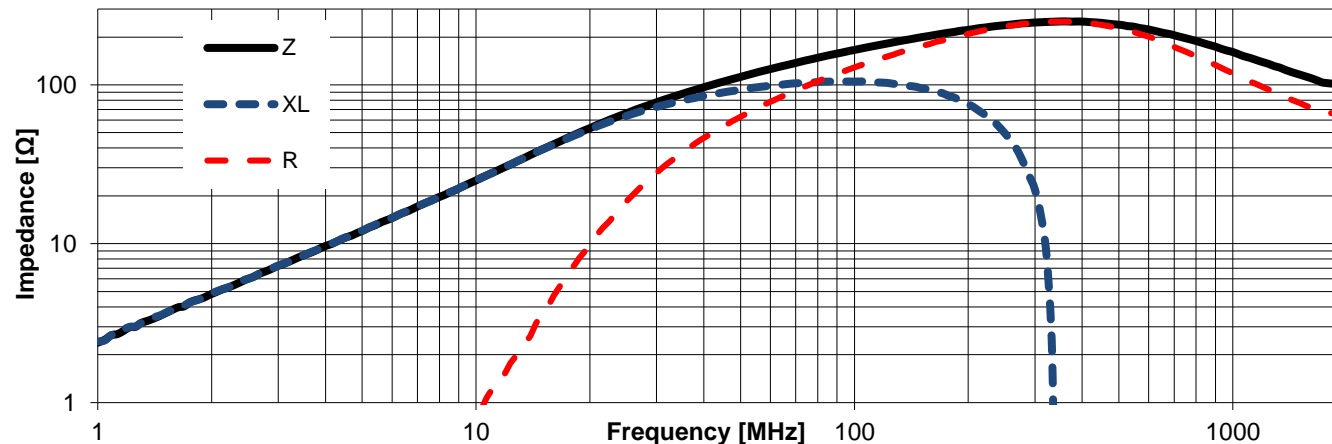
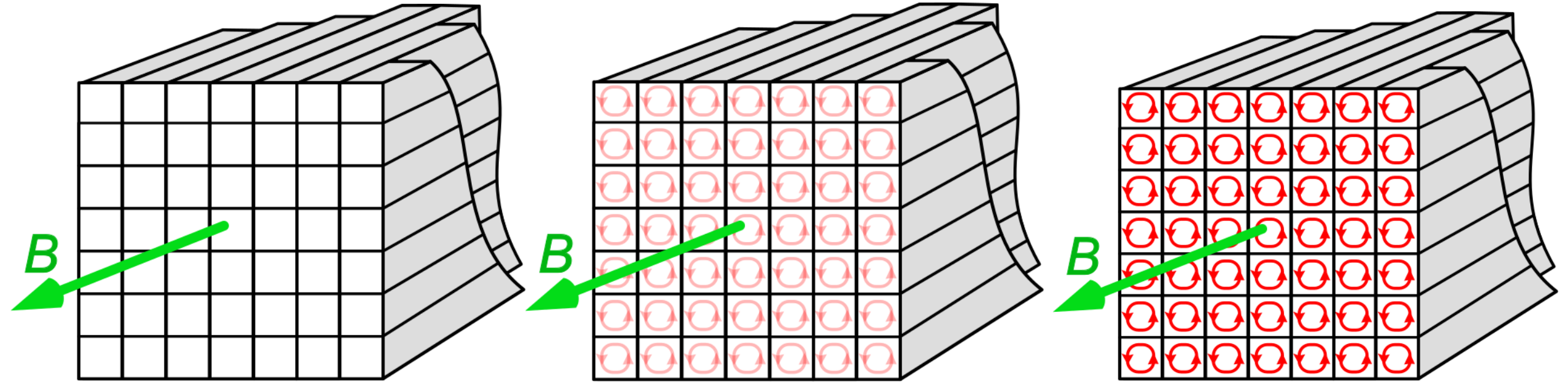
Impact concret sur les composants passifs – Matériaux du coeur

Les pertes par courant de foucault dans le coeur

F = 2 MHz

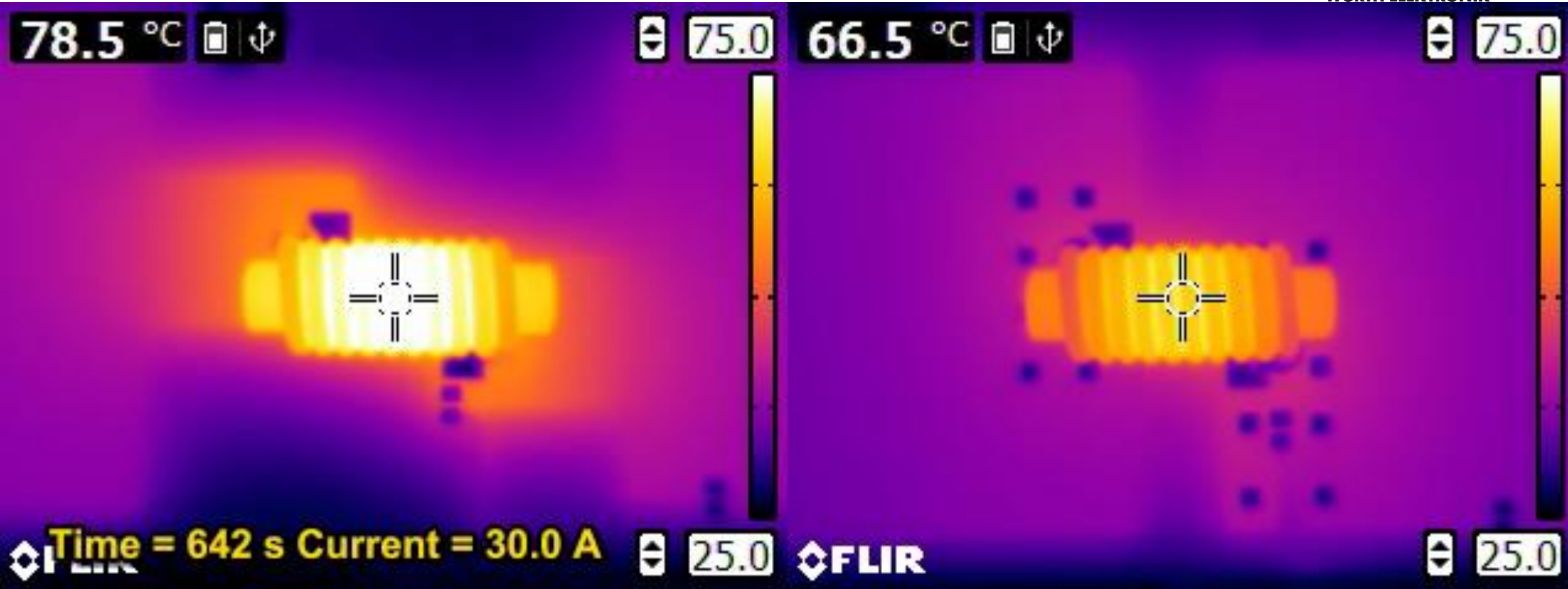
F = 20 MHz

F = 200 MHz

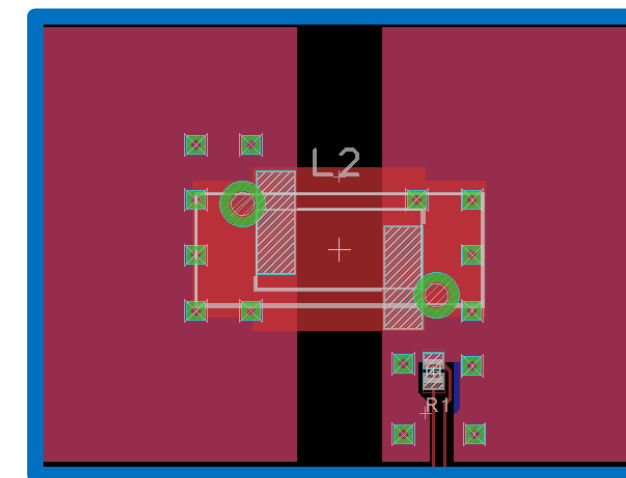
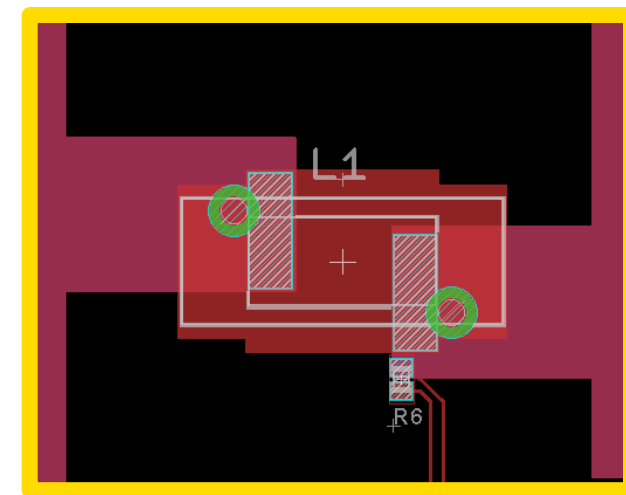
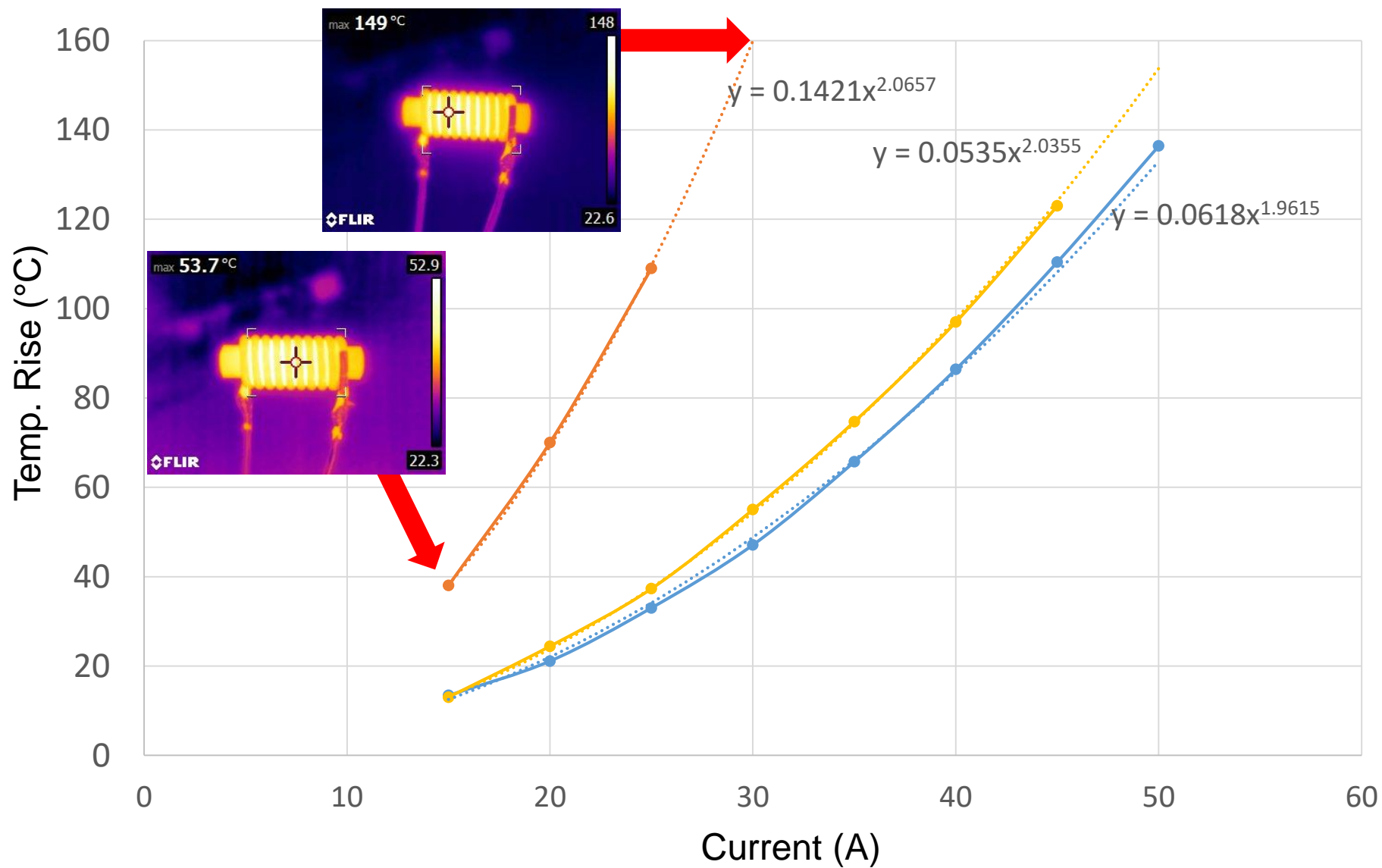


Profil de mission et impact sur le dimensionnement

Inertie thermique du composant et drain thermique du PCB



Impact du routage sur les échauffements



Exemple de montée en fréquence avec un composant spécifiquement adapté + contrôleur GaN

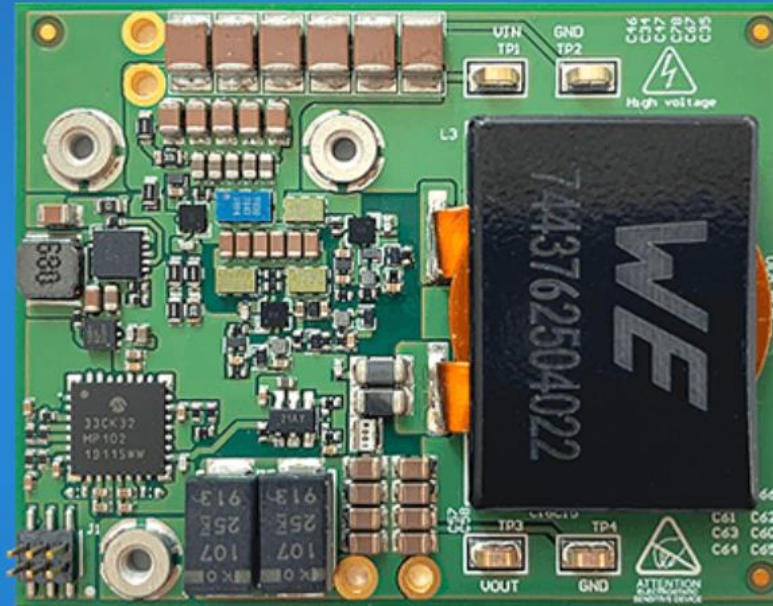


EPC9148 – 48 V Three-level Synchronous Buck Converter

EPC9148: Ultra-Thin, multi-level converter for high performance computing systems.

The EPC9148 demonstration board is a 60 V maximum input voltage, 12.5 A maximum output current, 19 V output voltage, ultra-thin three-level synchronous buck converter with only 3.5 mm component height.

The EPC9148 features a GaN power stage, synchronous bootstrap gate drive circuit with the uP1966E gate drivers. The board also includes on-board housekeeping power supply, digital controller, current and voltage sensing, and output filter. Kelvin sensing test point of the input and output voltage are provided for accurate efficiency measurements.



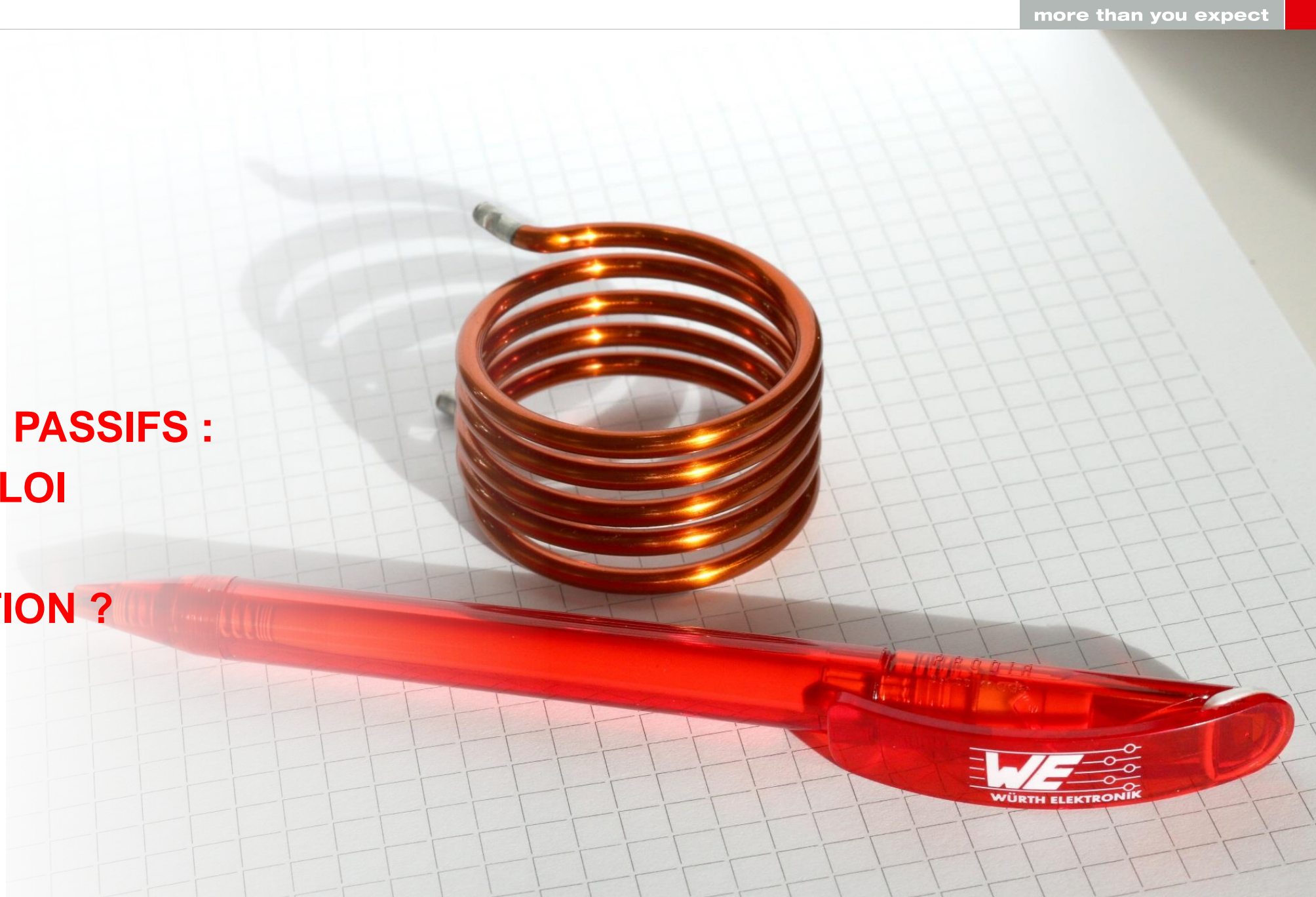
Features

- 44 – 60 V_{IN} to 5 – 20 V_{OUT}
- FSW = 400 kHz, Max height < 4mm
- Peak efficiency = 98%, Up to 12.5 A

Applications

- High Performance Computing – ultra-thin laptops, high-end gaming systems

**COMPOSANTS PASSIFS :
RÉEMPLOI
OU
RÉVOLUTION ?**



Une recette quasi inchangée depuis un siècle



Révolution dans la fabrication des composants passifs ?

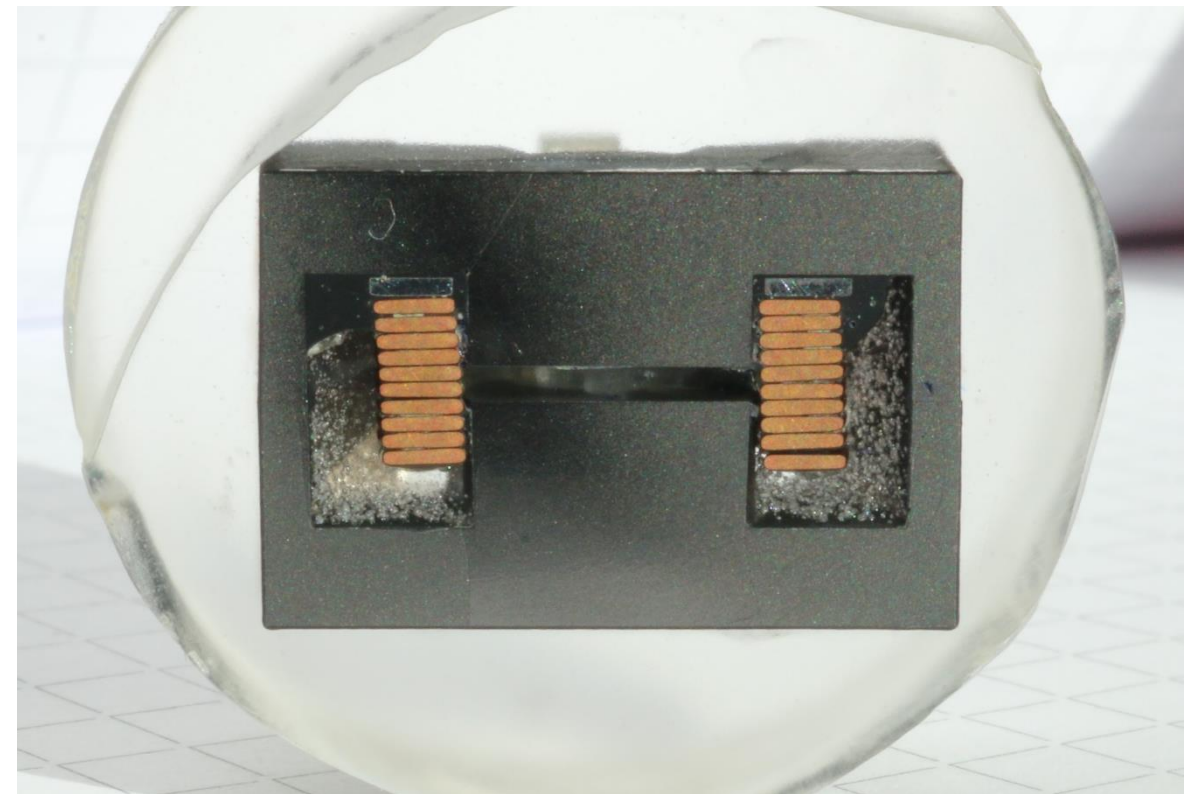


Fil de Litz
Réduction des pertes cuivres
Utile de 50kHz à 1MHz



depuis les années 1940

Fil plat
Réduction des pertes cuivres



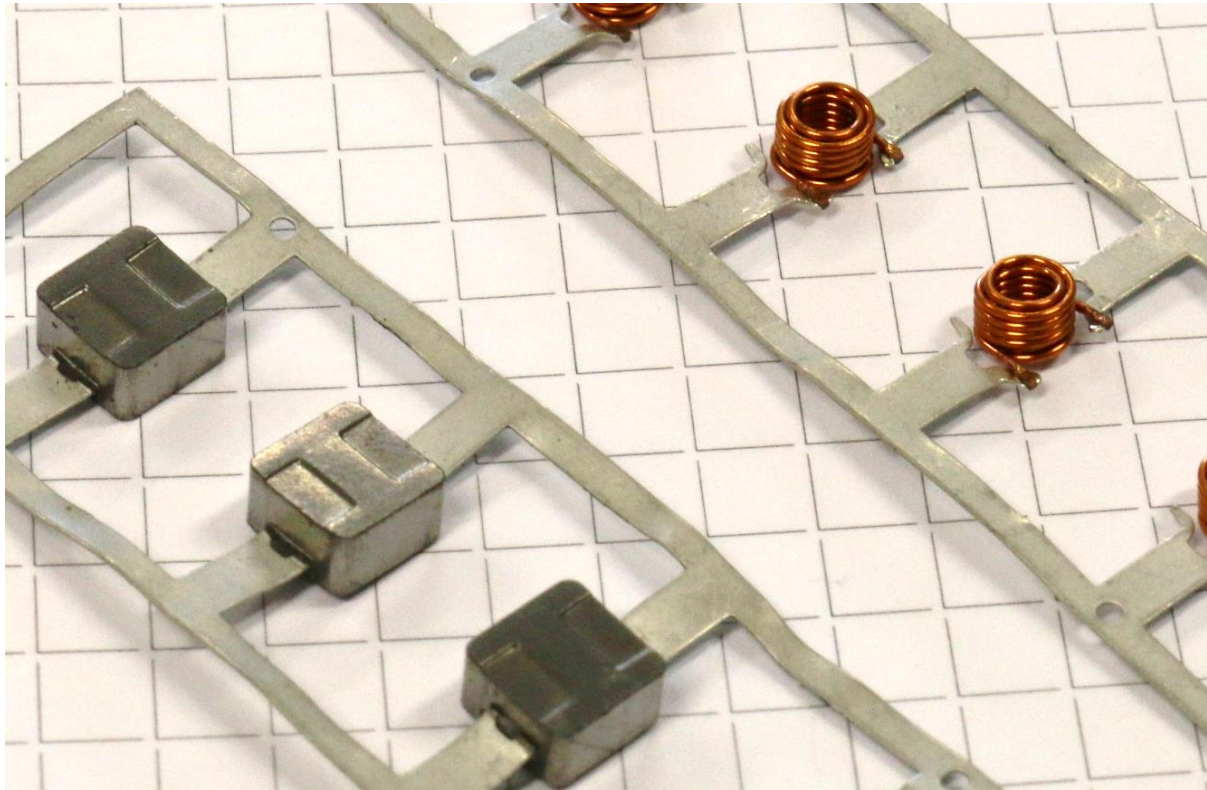
Révolution dans la fabrication des composants passifs ?

La robustesse ?



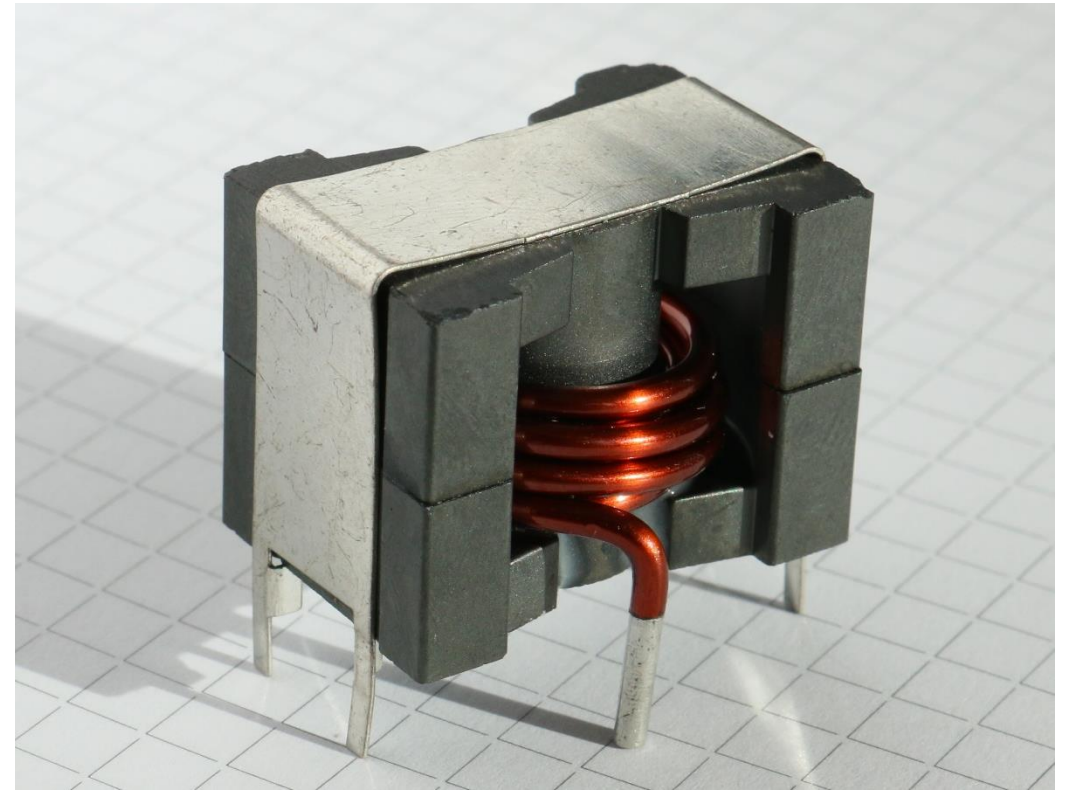
Inductances moulées

Densité de puissance et stabilité thermique accrues



Clips de fixation

Stabilité mécanique des composants
électronique de puissance



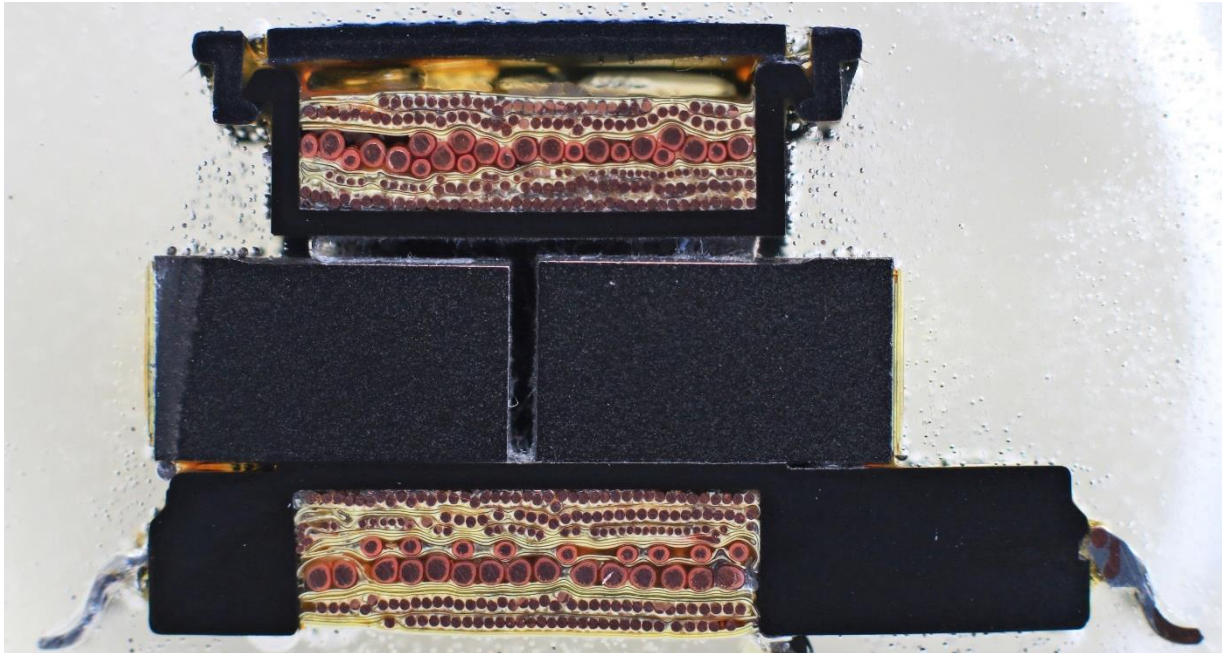
depuis les années 1990

Révolution dans la fabrication des composants passifs ?

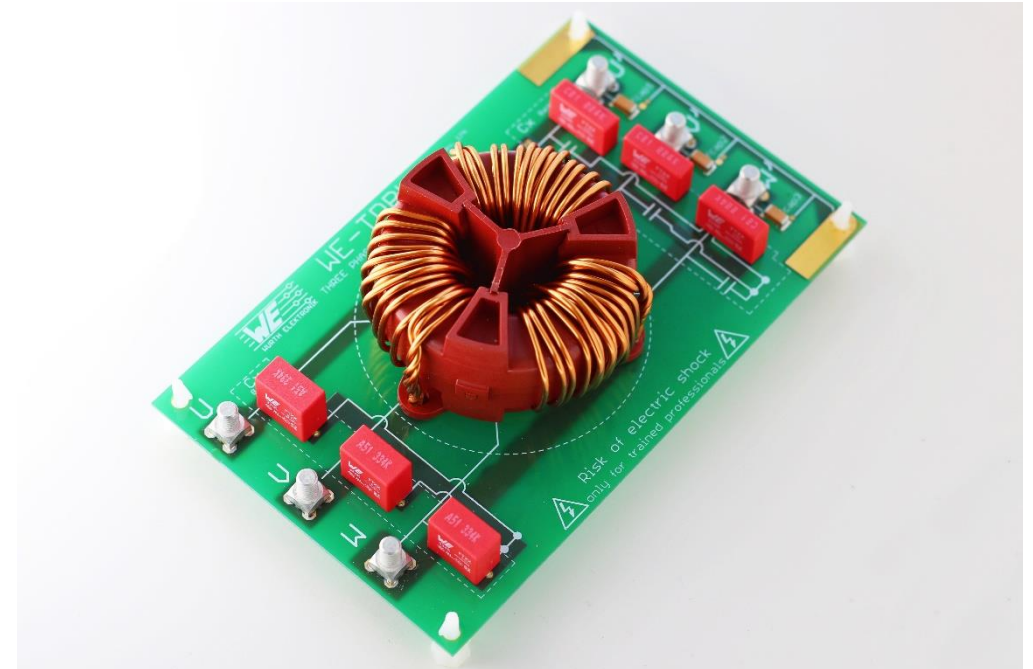
Les tensions?



Fil Triple isolation – Films Isolants
Tenue en tension >5kV



Boîtiers de selfs de mode commun moulés
Tension nominale de fonctionnement 760 Vrms



Quels composants passifs pour le GaN et le SiC ?

0 ppm

Conclusion pour le GaN

- Le GaN se démarque à haute fréquence
- Les tensions des S.C. GaN augmentent et couvriront bientôt 100% des usages automobiles
- Le choix des passifs adaptés à la montée en fréquence permet de conserver les gains propres au GaN
- Comparer les composants sur la base de leur Rdc est impossible
 - Un composant avec un Rdc plus haut peut s'avérer meilleur à haute fréquence
- Le fabricant de passifs peuvent vous conseiller et vous renseigner sur les gammes de produits adaptés
- Avec les hautes fréquences, les forts dv/dt et di/dt génèrent des problèmes CEM plus sévères
- Moins de valeur inductive = moins de tours
 - Il faut vérifier qu'il n'y a pas de risque de claquage « tour à tour »
 - Il faut vérifier le R_{AC} ,
- **De nombreux phénomènes décrits ici sont également transposables au moteurs électriques / variateurs**

Conclusion pour le SiC

- **Le SiC se démarque :**
 - **A haute température**
 - **A haute tension**
- Le choix des passifs adaptés à la montée en fréquence permet de conserver les gains propres au SiC
 - Matériaux stables en température (demander les températures de Curie et Saturation en T°)
- Moins de valeur inductive = moins de tours
 - Il faut vérifier qu'il n'y a pas de risque de claquage « **tour à tour** »
 - Il faut vérifier le R_{AC}
- Comparer les composants sur la base de leur Rdc est impossible
 - Un composant avec un Rdc plus haut peut s'avérer meilleur à haute fréquence
- Le fabricant de passifs peuvent vous conseiller et vous renseigner sur les gammes de produits adaptés
- Les forts dv/dt et di/dt génèrent des problèmes CEM plus sévères
- **De nombreux phénomènes décrits ici sont également transposables au moteurs électriques / variateurs**