

– Introduction à la CEM pour la Physique – – Principe & Méthodes –

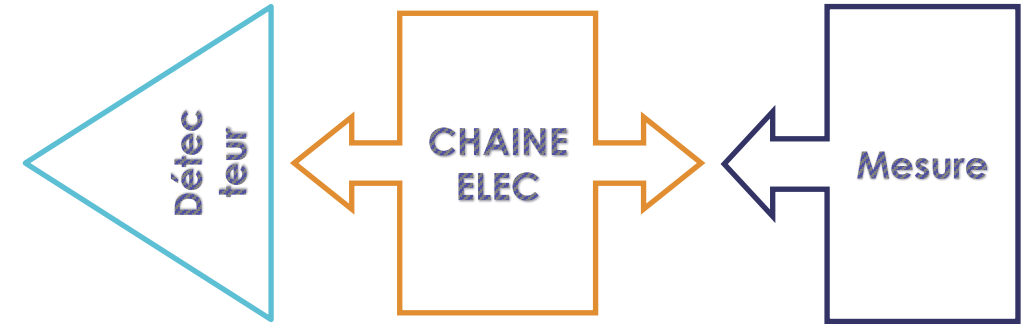


- ☐ Définitions
- ☐ Comprendre les enjeux
- ☐ Les Normesc'est pas pour nous
- ☐ Si la physique m'était compté !
- ☐ Principes de bases
- ☐ A vous de jouer



- ➔ Electronique
- ➔ Physique des semi-conducteurs
- ➔ Electromagnétisme

Rappel:



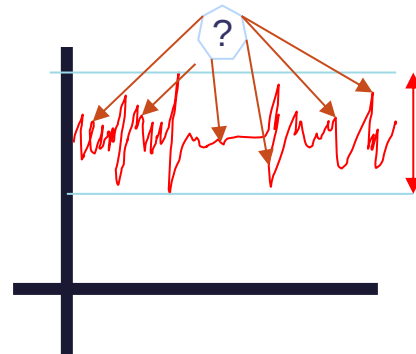
➔ Les équations de Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



BRUIT INHERENT :

Phénomènes aléatoires dont nous ne maîtrisons pas la venue
Nous ne pouvons traiter que les conséquences

BRUIT D'INTERFERENCE :

Interaction du système avec le monde extérieur
une partie du système interagit avec le reste des fonctions

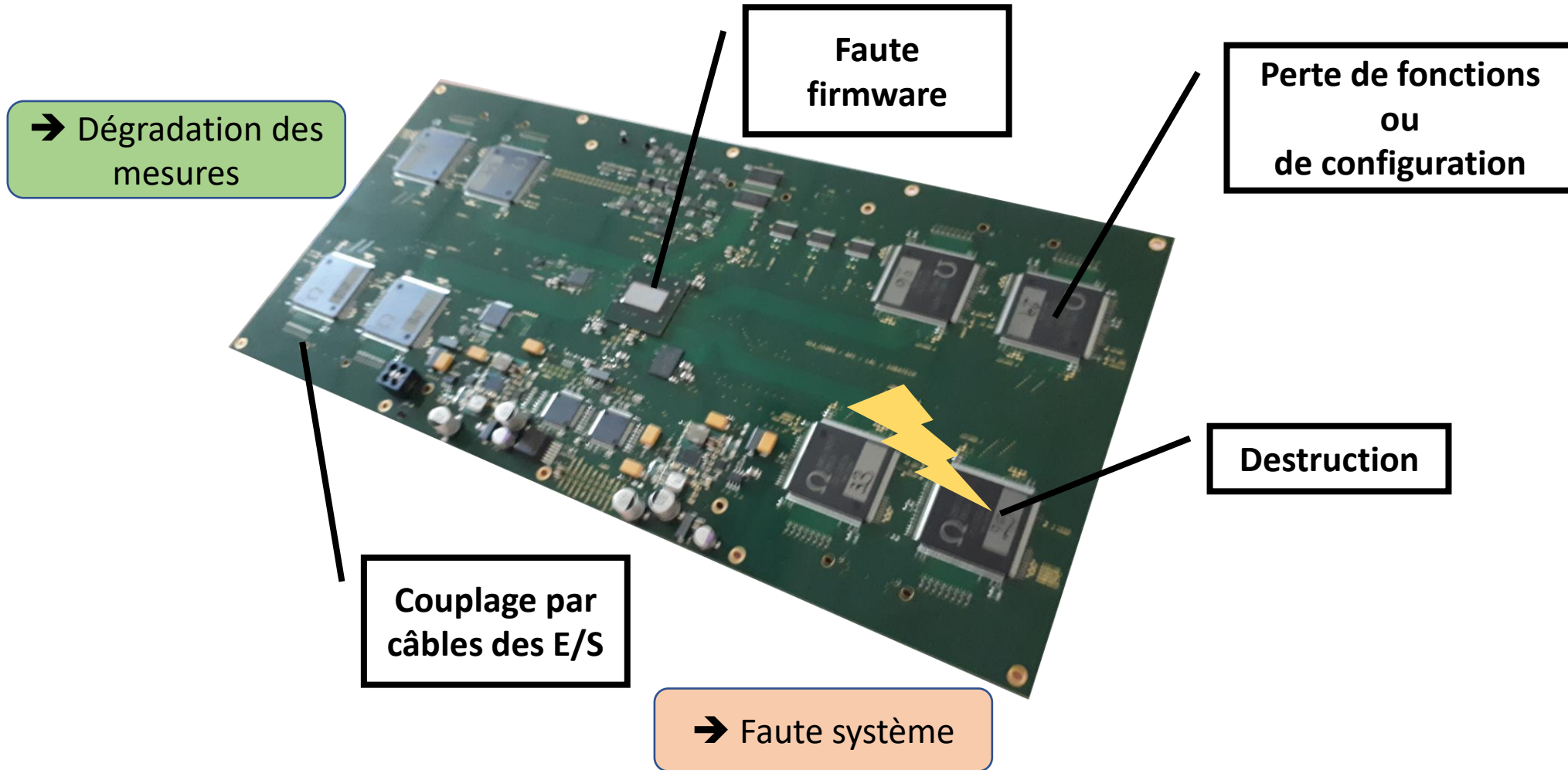
➔ Compatibilité Electromagnétique



Toute variation de tension ou champs électrique crée une variation du champ magnétique



Toute variation du champ magnétique crée un courant dans un conducteur et fait varier le champ électrique donc la tension



Définition:

La compatibilité électromagnétique est l'étude des sources et des victimes des champs électriques et magnétiques créés par tous les systèmes électroniques. La Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) est le fait, pour des équipements de supporter mutuellement leurs effets électromagnétiques.

La définition **réglementaire française** de la compatibilité électromagnétique (CEM) provient du **décret n°92-587** (transposition des exigences européennes). Elle est formulée de manière très précise.

« L'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques de nature à créer des troubles graves dans le fonctionnement des appareils ou des systèmes situés dans son environnement. »

ET ALORS?

La législation

Le marquage CE atteste du respect des procédures obligatoires, au sens de la loi, à laquelle des produits mis sur le marché ou **mis en service** pour la première fois à l'intérieur de la Communauté Européenne doivent se soumettre, qu'ils soient produits à l'intérieur de l'espace de la communauté européenne ou qu'ils proviennent de l'extérieur de l'espace de la communauté européenne.

Les produits doivent satisfaire les exigences essentielles des Directives qui les concernent (chaque directive établit la liste des produits soumis à son champ d'application).

- Les exigences essentielles sont obligatoires car elles fixent les éléments nécessaires à la protection de l'intérêt public (personnes et matériels).
- Le fabricant doit effectuer une analyse de manière à déterminer quelles sont les Directives qui concernent son produit, afin d'identifier à quelles exigences essentielles le produit doit répondre, ceci en fonction de toutes les Directives qui le concernent.

La plupart des équipements conçus et développés pour son propre usage à l'intérieur de l'espace européen sont soumis au marquage CE.

La législation

Directive BT, 2006/95/EC

Référence	Titre
EN 60950-1 (2006)	Matériels de traitement de l'information – Sécurité – Partie 1: Prescriptions générales
EN 61010-1 (2010)	Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Prescriptions générales
EN 61010-2-30 (2010)	Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire - Partie 2-030: Exigences particulières pour les circuits de test et de mesure
EN 60439-1 (2004)	Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 1: Ensembles de série et ensembles dérivés de série

Directive CEM, 2004/108/EC

Référence	Titre
EN 61000-6-1 (2007)	Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-1: Normes génériques – Immunité pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère
EN 61000-6-2 (2005)	Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Immunité pour les environnements industriels
EN 61000-6-3 (2007)	Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-3: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère
EN 61000-6-4 (2007)	Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels
EN 61000-3-2 (2006)	Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-2 : limites - Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils < ou = 16 A par phase)
EN 61000-3-3 (2008)	Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-3 : limites - Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension pour les matériels ayant un courant assigné inférieur ou égal à 16 A par phase et non soumis à un raccordement conditionnel
EN 55022 (2010)	Appareils de traitement de l'information - Caractéristiques des perturbations radioélectriques - Limites et méthodes de mesure
EN 61326-1 (2006)	Matériels électriques de mesure, de commande et de laboratoire - Exigences relatives à la CEM - Partie 1 : exigences générales

La législation

Directive machine, 2006/42/EC

Référence	Titre
EN ISO 12100 (2010)	Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque
EN 60204-1 (2006)	Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 1: Règles générales
EN ISO 13850 (2008)	Sécurité des machines — Arrêt d'urgence — Principes de conception

- AVOIR UN DOSSIER TECHNIQUE DE CONSTRUCTION:

Quelle directives

Preuves de conformité

Par analyse

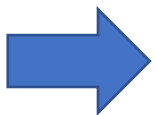
Par mesure

Par calcul

- FOURNIR UN CERTIFICAT DE CONFORMITE

Est-ce obligatoire pour nous? Oui légalement.

Est-ce nécessaire pour nous? Non dans 95% des cas car pas de mise sur le marché, équipements isolés (site d'expérience = cage de Faraday) et soumis à des contraintes plus contraignantes. OUF!



1- Immunité (victime)

« fonctionner [...] de façon satisfaisante »
⇒ capacité à résister aux perturbations

2- Émission (source)

« sans produire [...] des perturbations »
⇒ maîtrise du niveau d'émission

3- Environnement / couplage

« dans son environnement électromagnétique »
⇒ prise en compte des mécanismes de couplage
(conduction, rayonnement, etc.)

→ La CEM impose un équilibre **système** :

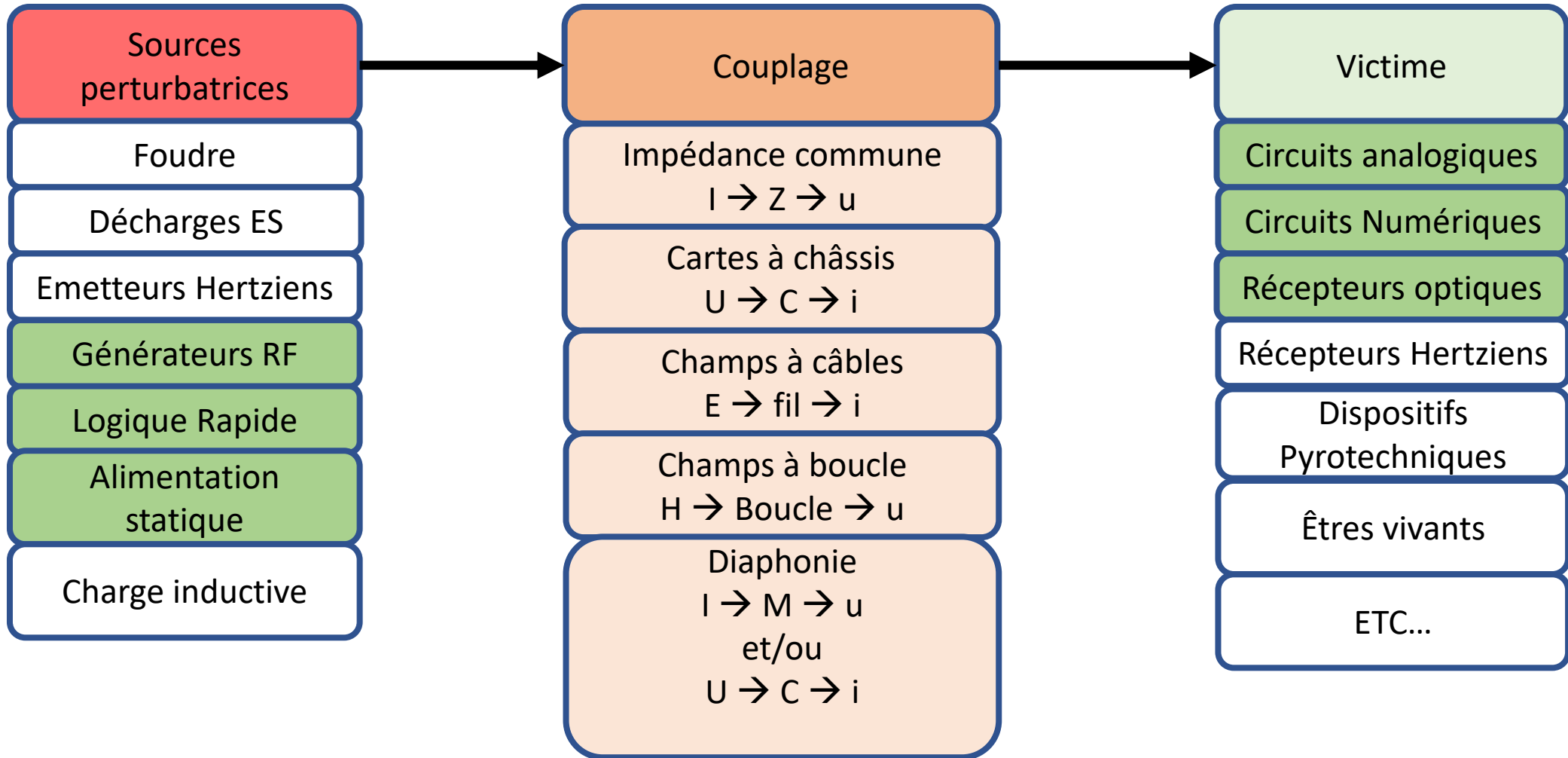
- Émissions limitées (ne pas polluer)
- Immunité suffisante (ne pas subir)
- Compatibilité globale dans un environnement donné

→ bon voisinage électromagnétique,
→ avec des contraintes normatives sur :

- niveaux d'émission (EN 550xx...)
- niveaux d'immunité (EN 61000-4-x)

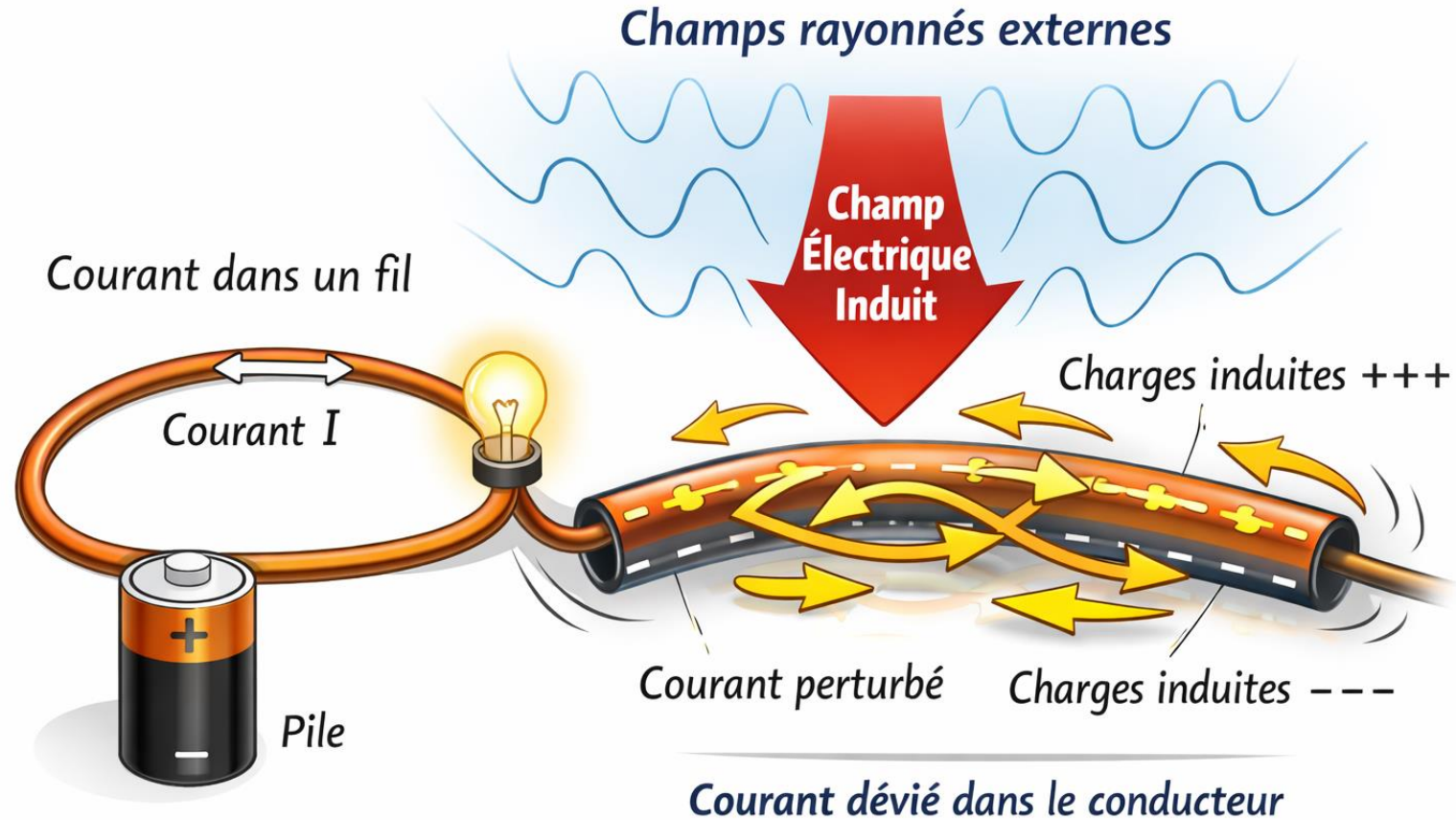
CEM pour la physique est plus contraignante que les normes !

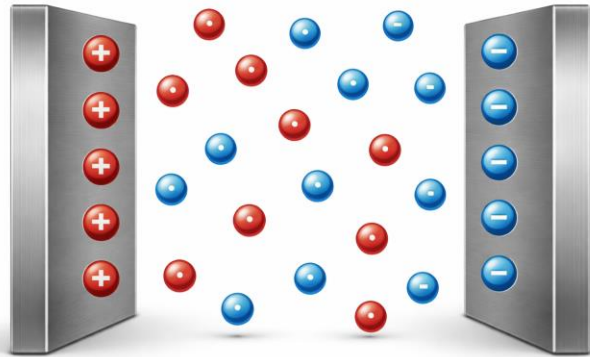
- 
- *Environnement EM moins contraignant dans nos instruments*
 - *Mesures faibles signaux exigeant en terme d'immunité, d'émission et de résilience aux radiations.*



	Amplitude	Fréquence ou durée
Champ E-M d'émetteur radio (cw)	1 à 10 V/m *	100 kHz à 1 GHz
Champ E-M de radars (cw, pulsé)	10 à 100 V/m *	400 MHz à 18 GHz
Perturbations réseau :		
Différentiel (MD)	±10 %	Fraction de cycle
Fluctuations lentes		à plusieurs secondes
Micro coupures	100 %	Jusqu'à 1/2 cycle
Transitoires (MD & MC)	1 kV *	µs à ms
		Tm/durée mi-hauteur
Foudre au sol (courant)	30 kA *	1 µs / 50 µs
ESD (personnel)	10 kV	1 ns / 30 ns
EMP nucléaire, haute altitude	50 kV/m	5 ns / 200 ns

– Disgression –



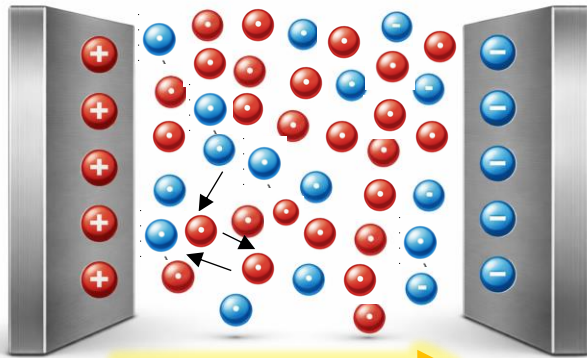


Matériaux conducteurs, isolant, semi-conducteurs:

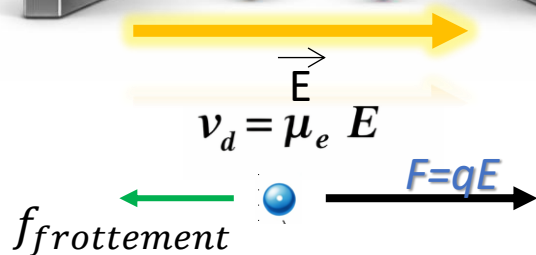
- Cuivre: 29 protons/ électrons → 28 + 1 électron libre
- Carbone: 6 protons/6 électrons → 0 libre Energie de bande interdite 5,4eV
- Silicium: 14 protons/14 électrons → 0 libre mais Energie de bande interdite 1,14eV

→ Electriquement neutre, aucune charge circule de façon cohérente

$$\sum E_{choc} \approx 0$$



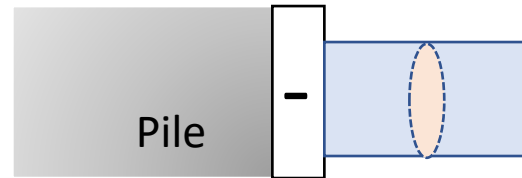
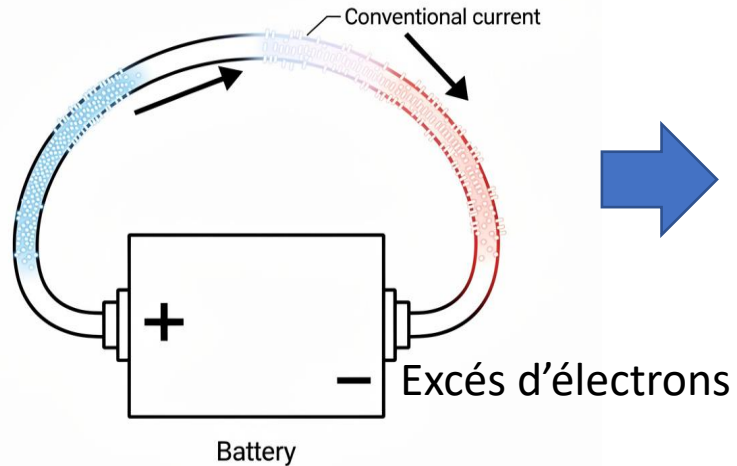
- $F = k \frac{q_a \cdot q_b}{d^2}$ → Force électrostatique
- $F = q_a \cdot E$ → champs électrostatique
- $F = m \cdot a$
- $a = \frac{F}{m} = \frac{E}{m} \cdot q_a$ → Accélération constante
Vitesse augmente en fonction du temps



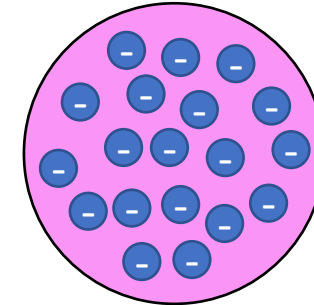
→ L'électron subit des collisions en permanence, donc ralentit mais regagne de l'énergie avec le champ électrique E . $v_d = \mu_e \cdot E \approx 1 \text{ mm/s}$

→ **Comment la lumière s'allume instantanément ?**

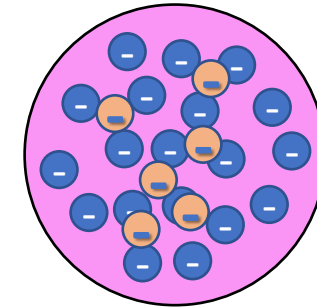
On a une circulation d'électrons en présence d'une pile



La pile ajoute des charges électroniques

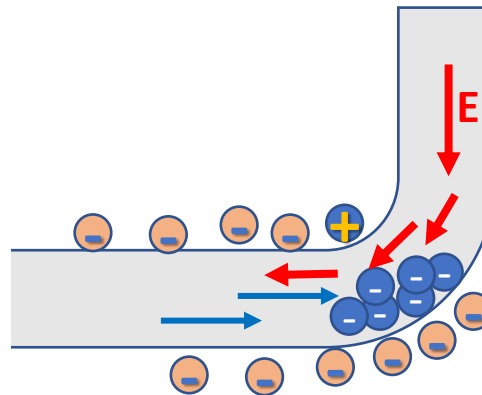
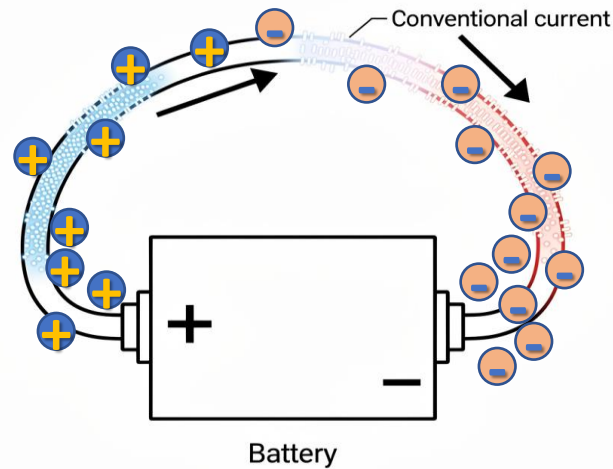
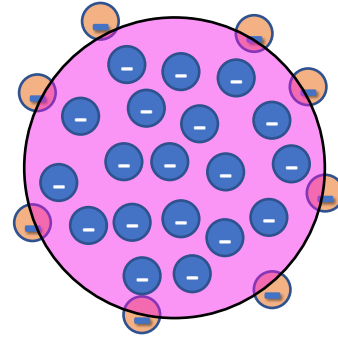


À l'équilibre



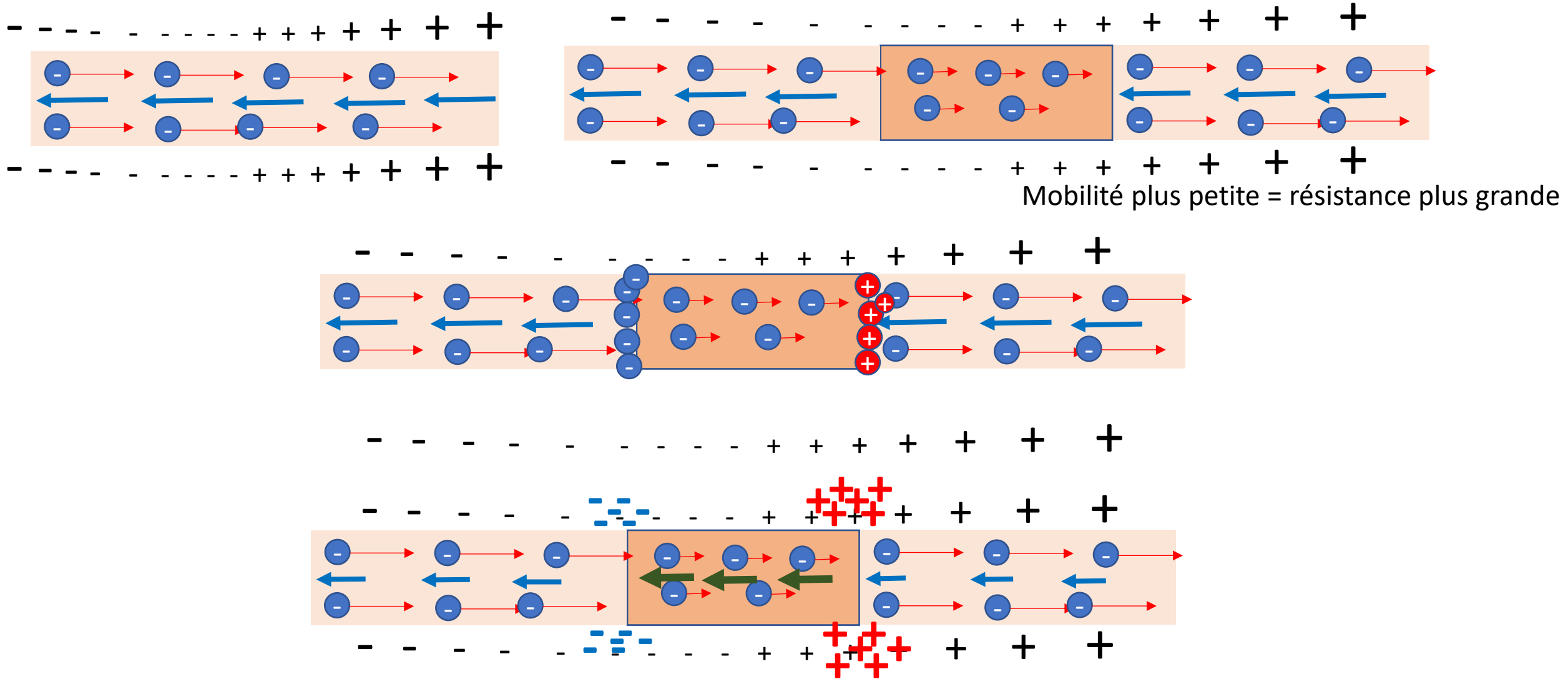
Excès de charge

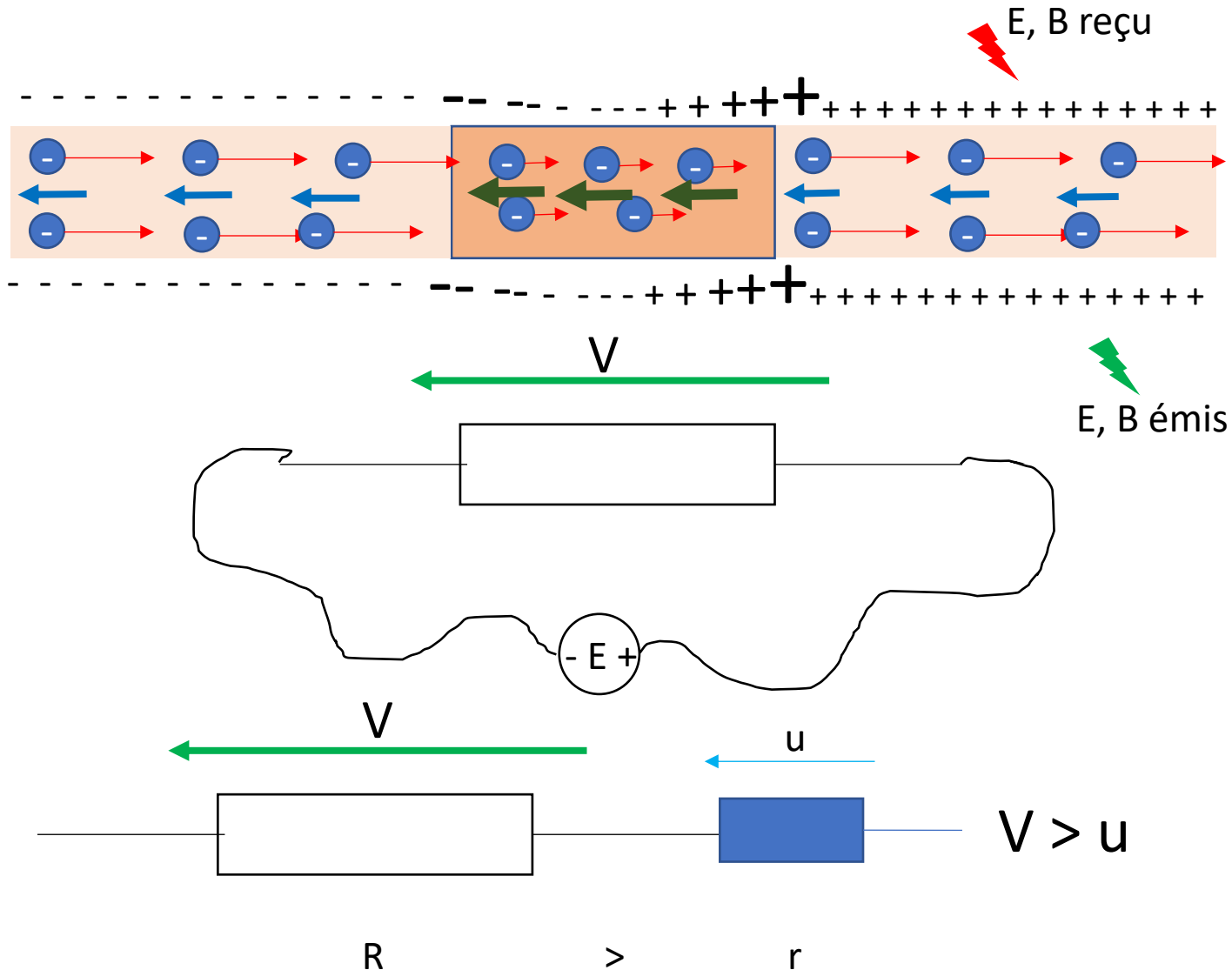
Se répartit en surface du conducteur



Pour passer un coude, on a une accumulation de charge en surface côté extérieur.

➔ Diminution de charge côté intérieur. Les électrons se réorganisent pour changer la direction du champ E .





Avec cette image réel, on explique tous les phénomènes perturbatifs.
On comprend les actions à prendre pour s'en prémunir!

- Effet du courant circulant dans un conducteur
- Effet d'une différence de potentiel (ddp) variable entre un conducteur et la masse la plus proche
- Effet d'un courant variable dans un conducteur filaire sur un autre conducteur filaire, parallèle et voisin.
- Effet d'une ddp variable entre un conducteur filaire sur un autre conducteur filaire, parallèle et voisin.
- Effet d'un champ électrique variable sur un conducteur.
- Effet d'un champ magnétique variable dans une boucle.

Loi d'ohms depuis la physique

$$v_d = \mu \cdot E \Leftrightarrow U = R \cdot I$$

Débit de charge $I = q \cdot n \cdot S \cdot v_d$ C/s ou A

Chaque énergie donnée à l'électron par le champs électrique est transformé en chaleur selon le théorème de l'Energie cinétique

$$\Delta E = W \Rightarrow W = q \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{l}$$

- ☐ l : distance parcourue
- ☐ Tension U: $\mathbf{E} \cdot \mathbf{l}$
- ☐ Travail par unité de charge
- ☐ Variation d'énergie potentielle : ddp

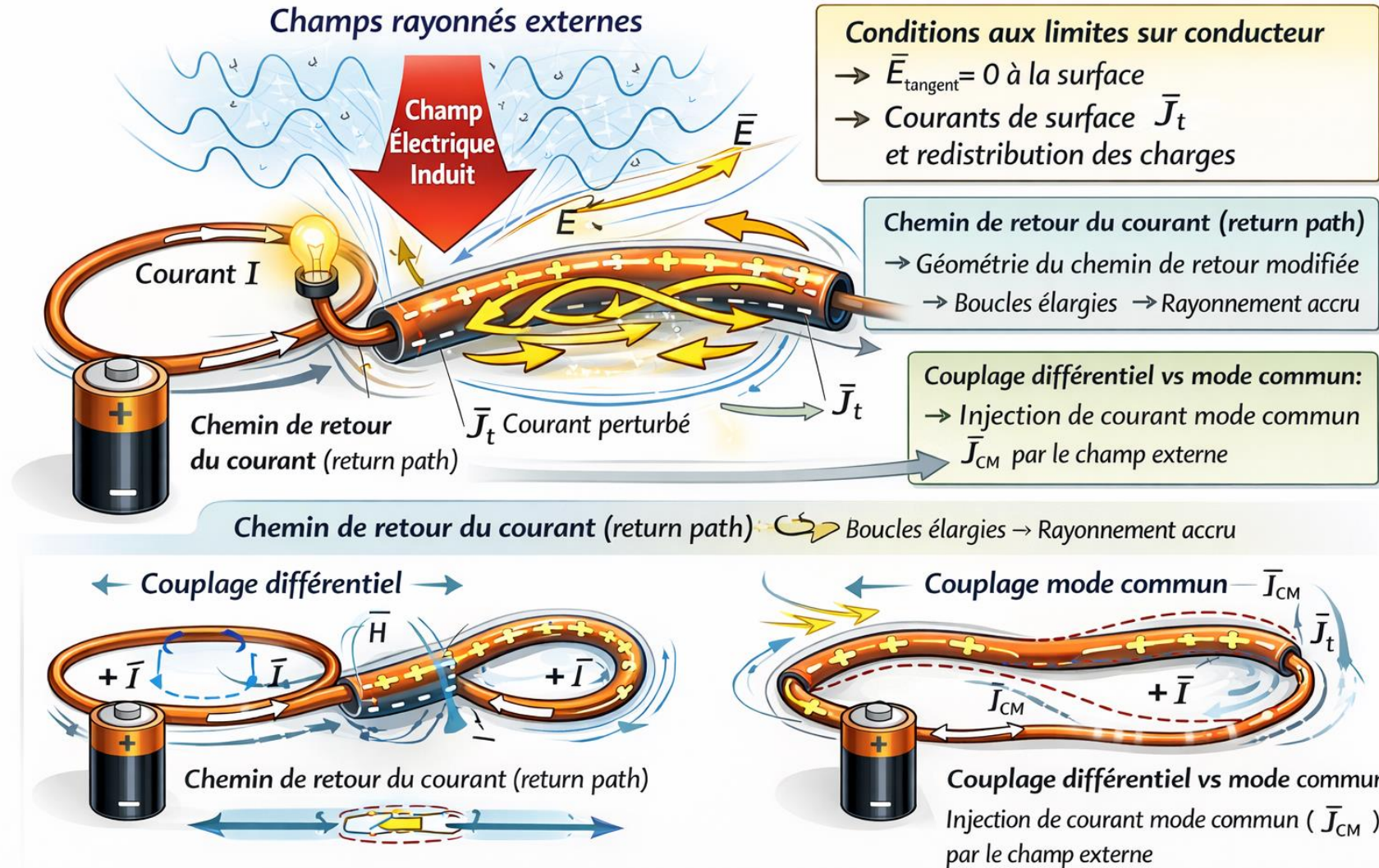
$$I = qn\mu \frac{S}{L} U \Rightarrow I = \frac{1}{R} U$$

Remarque:

Les paramètres électriques (R, L, C) proviennent de la physique de l'électromagnétisme !

On peut comprendre que tous les phénomènes électromagnétiques influencent les propriétés électriques des matériaux et perturbent alors l'équilibre décidé par le concepteur.

Influence d'un champ incident sur la circulation du courant



Grandeurs des propriétés électriques: sources ou victimes

Resistance



Fil: $R = 17 \frac{L}{S}$

Piste: $R = 0,5 \frac{L}{D}$

Capacité

Inductance



$$V = L \frac{dI}{dt} \Rightarrow 1 \mu H / m$$

Fil conducteur rectiligne isolé

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - \frac{3}{4} \right) \quad (\text{pour } l \gg r)$$

Deux fils parallèles (ligne bifilaire)

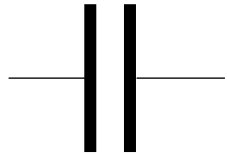
$$L' = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \left(\frac{d}{r} \right)$$

Fil conducteur en boucle circulaire

$$L = \mu_0 R \left(\ln \left(\frac{8R}{r} \right) - 2 \right)$$

câble coaxial

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$



$$I = C \frac{dV}{dt} \Rightarrow \text{Plusieurs valeurs remarquables}$$

- ➔ 1,5pF entre deux broches de résistances
- ➔ 100pF entre les lames d'un coax
- ➔ 2pF entre deux broches d'un connecteur
- ➔ 500pF entre Circuit Imprimé et Châssis

	Basse Fréquence	Haute Fréquence
$L : Z_L = L\omega$	0	∞
$C : Z_c = \frac{1}{C\omega}$	∞	0

Câble coaxial

$$C' = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

2 fils parallèles

$$C' = \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)}$$

2 plaques parallèles

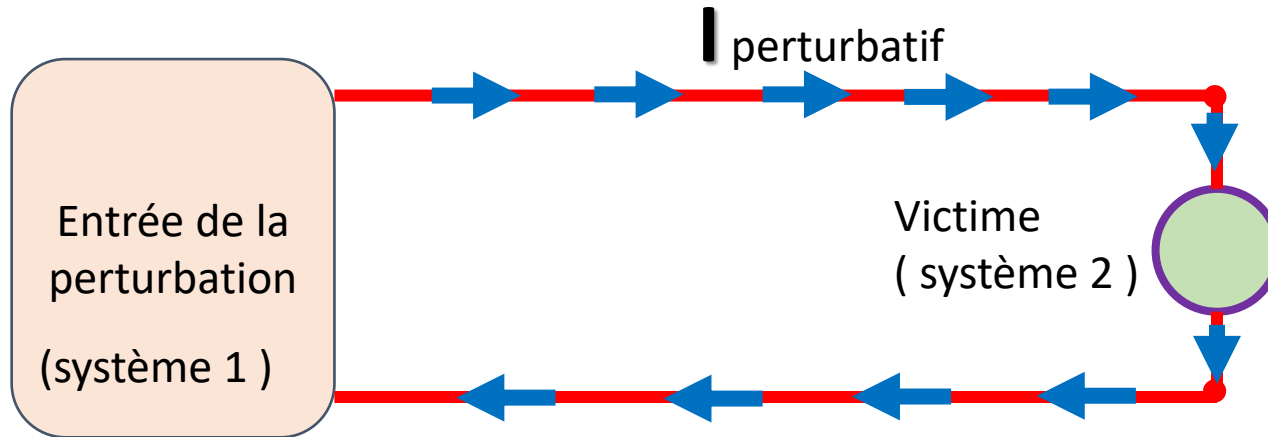
$$C' = \frac{\epsilon w}{d}$$



En Electronique, on peut tout calculer !
En Electronique, on peut tout simuler avec précision

Les modes de propagation des perturbations (une fois entrées dans le système)

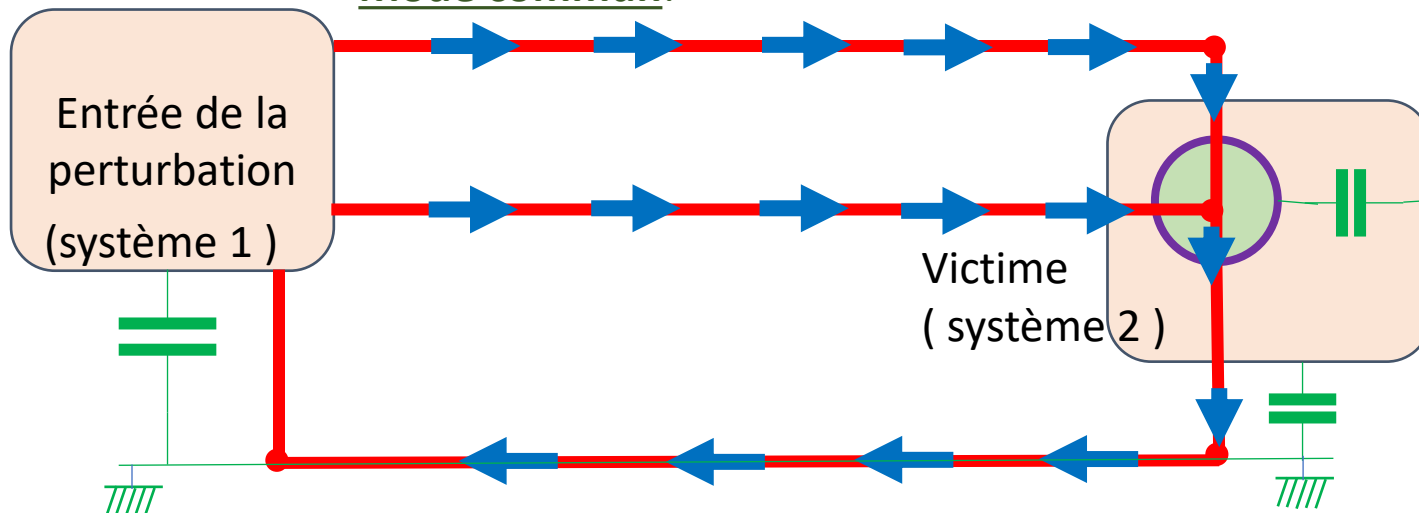
Mode Différentiel: c'est le mode de fonctionnement de tous les signaux électroniques et des alimentations



→ la perturbation est transmise à un seul des conducteurs actifs.

→ Le courant de mode différentiel se propage sur l'un des conducteurs, passe à travers l'équipement et revient par un autre conducteur.

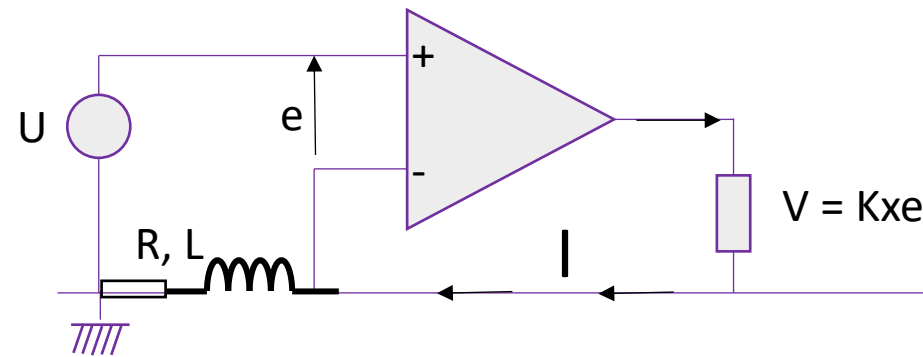
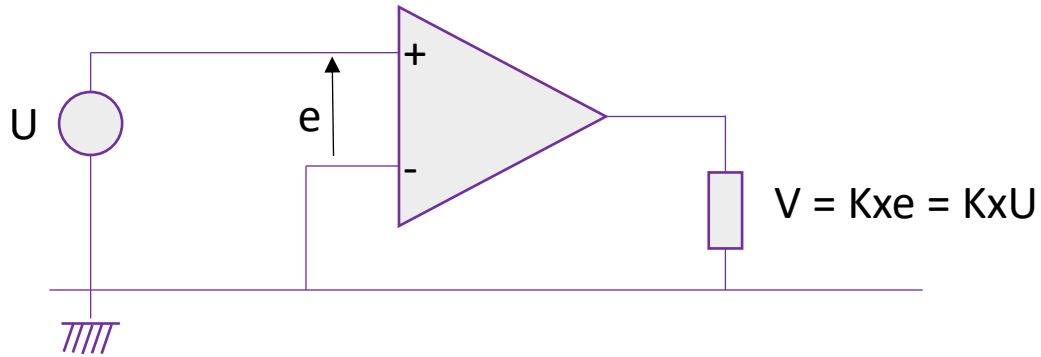
Mode commun:



→ Le **courant de mode commun** se propage sur tous les conducteurs dans le même sens et revient par la masse à travers les capacités parasites

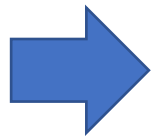
➡ Perturbation par champs externe dans une boucle

Effet concrêt 1



$$\Delta U = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} \times I$$

$$e = U - \Delta U \Rightarrow V_{sortie} = \mathbf{K \times e} \neq \mathbf{K \times U}$$

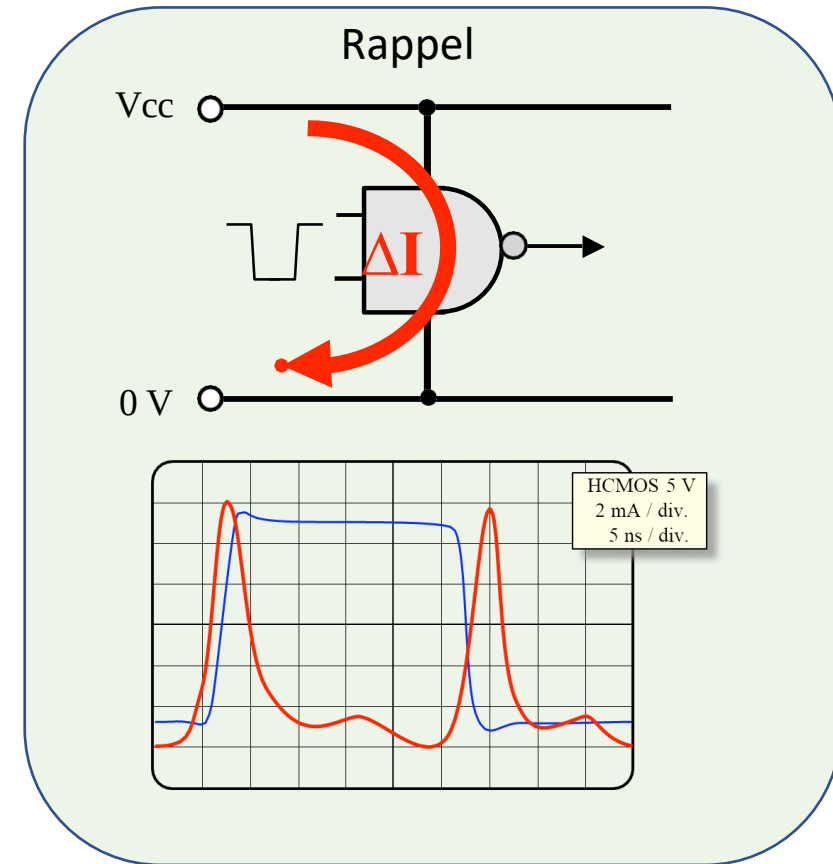
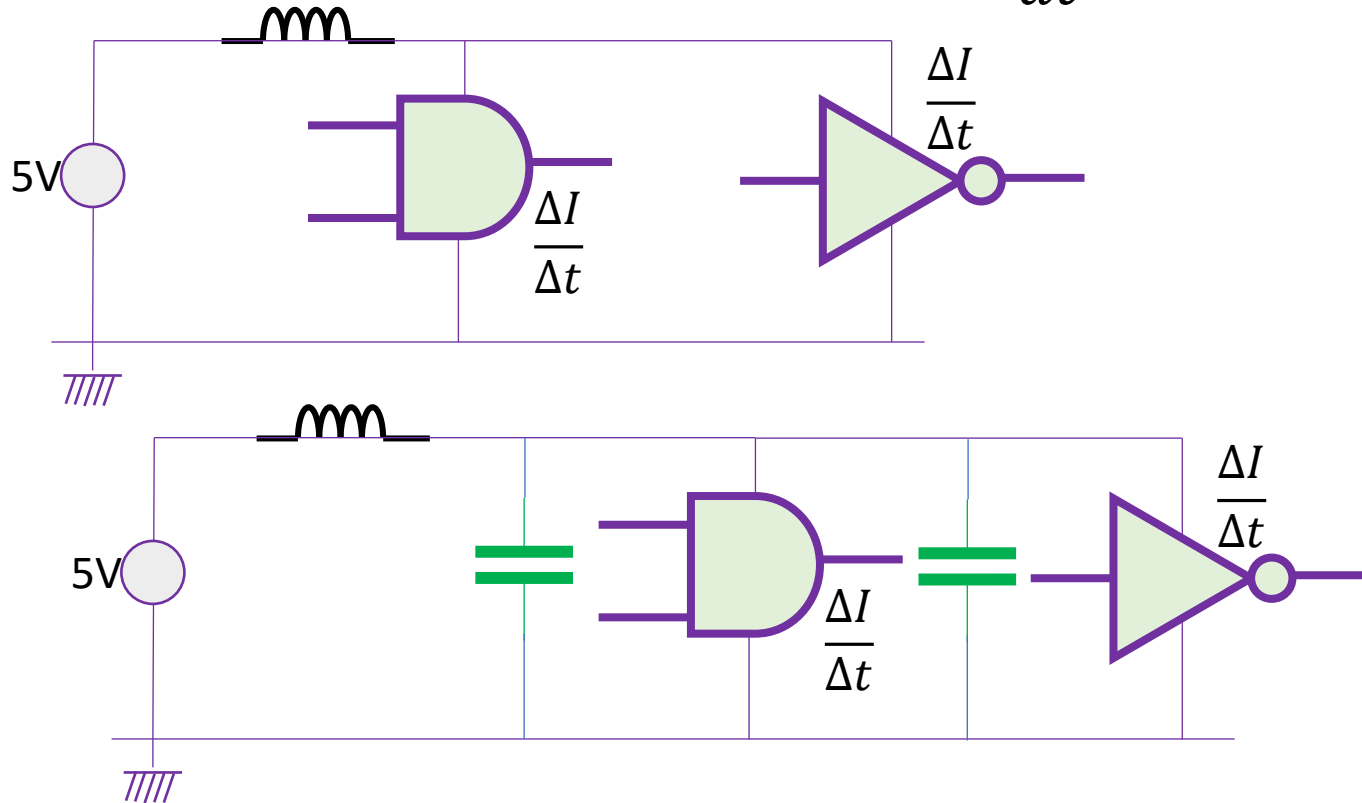


On recherche l'équipotentialité
Réduire R et L en augmentant la surface de masse

Effet concrèt 2

$$\Delta U = L\omega \times I \text{ ou } \Delta U = \frac{dI}{dt}$$

$$V_{alim} = 5 - \Delta U$$




 Capacité de découplage → filtre passe-bas → Maintien une tension statique → choix technologique de la capa suivant la valeur

1. Identifier les chemins de couplage
2. Déterminer les modèles simples (pire cas) propres à chaque couplage (R, L, C)
3. Classer les couplages par ordre d'importance
4. Calculer E, H, ou V, I (selon le cas) dans les zones et circuits considérés en commençant par le couplage le plus grand
5. Ajouter une marge de sécurité
6. Décider de la protection si nécessaire
7. Passer au couplage suivant (*) etc.

Conduit, Rayonné, diaphonie

Dresser un inventaire des sources et des victimes

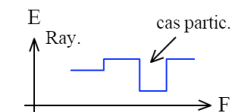
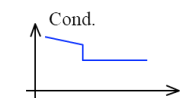
Caractériser chacun en Amplitude, Fréquence, etc...

Établir la matrice d'interaction en notant les couplages plausibles

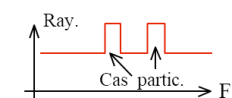
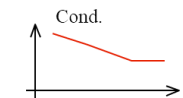
Modéliser en R,L,C pour chaque couplage
Utiliser les simulations IBIS (Intégrité de puissance, Intégrité des signaux)

Faire l'enveloppe des contraintes

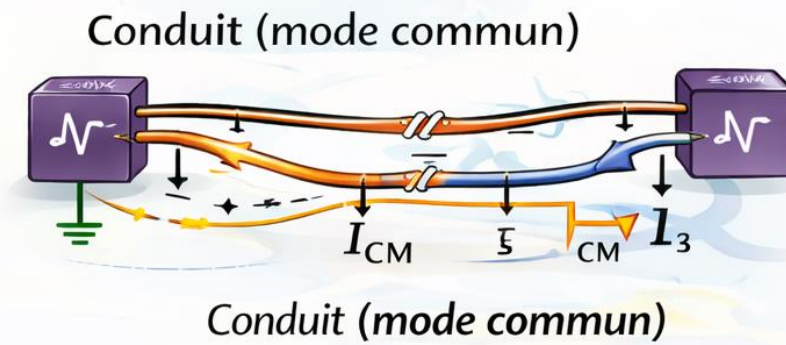
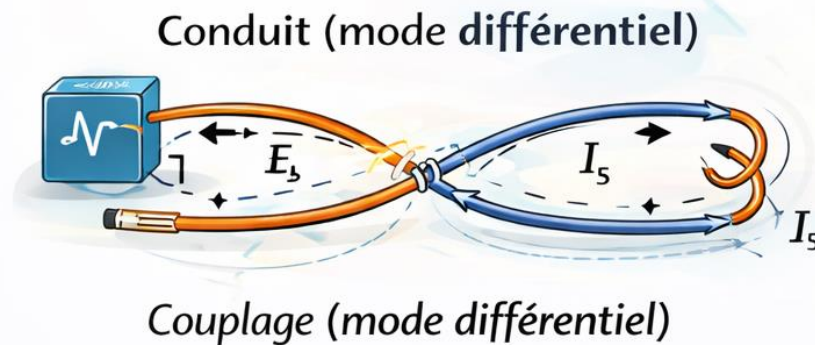
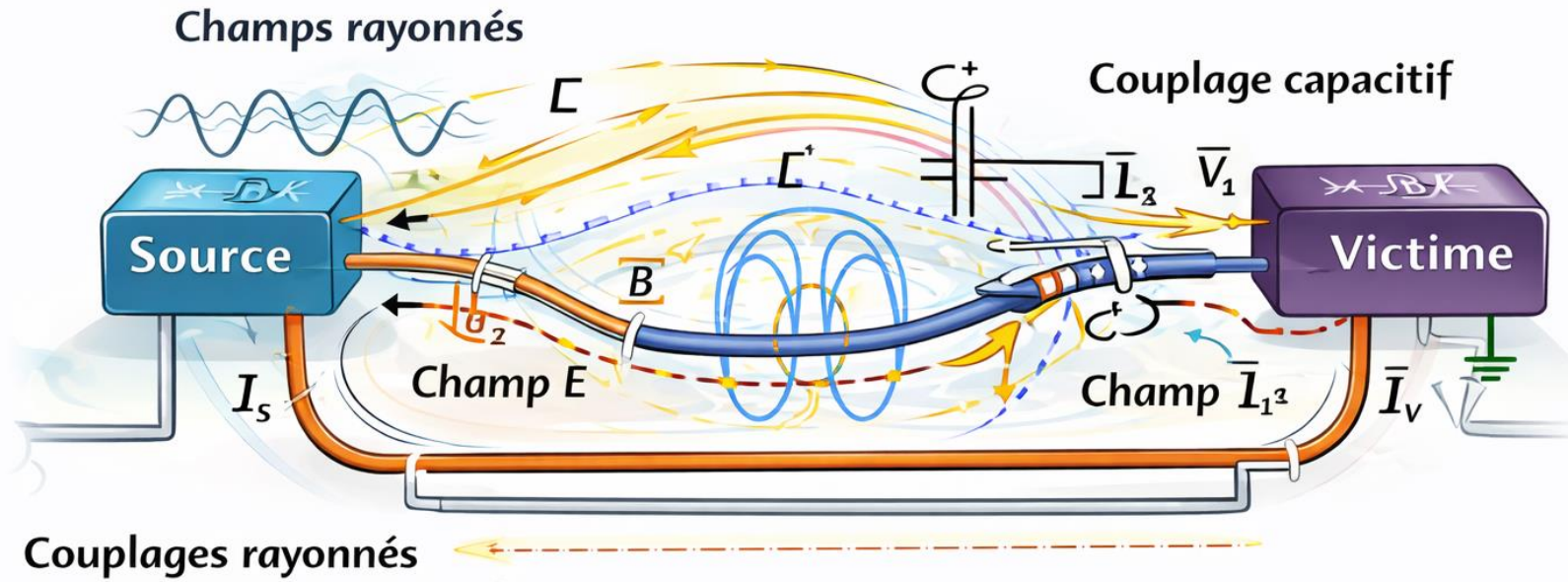
ÉMISSION



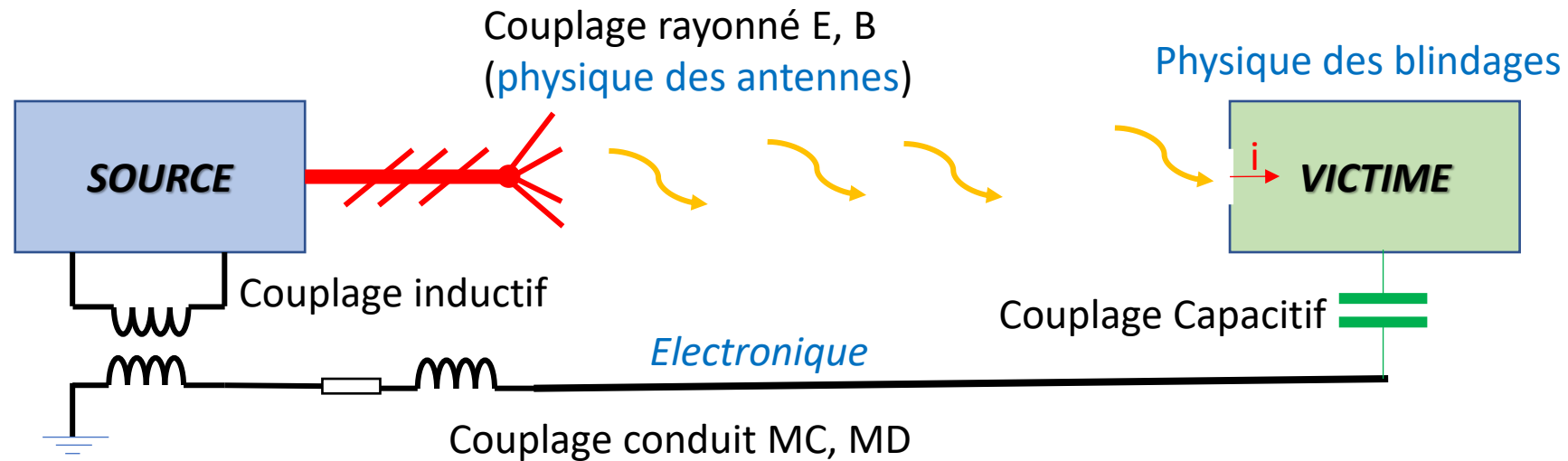
SUSCEPTIBILITÉ

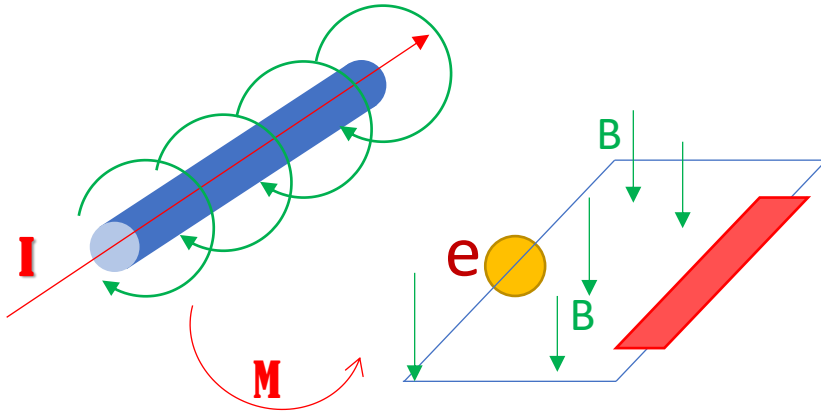


Couplages en CEM



1. Identifier les chemins de couplage

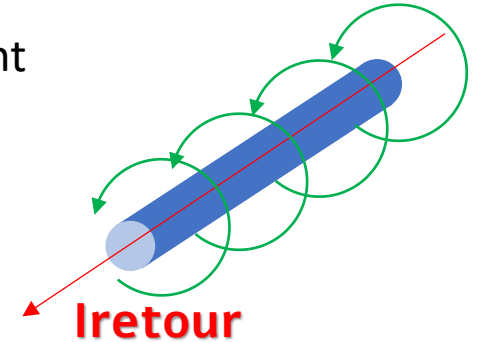




Le fil traversé par un courant produit un champs magnétique B. Ce champs traversant une boucle, il apparait un Force Electro-Motrice) → e = Tension

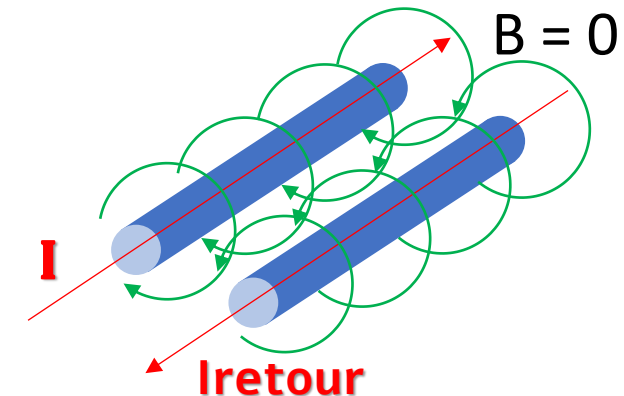
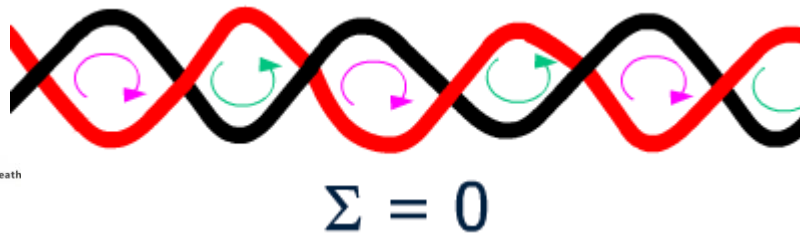
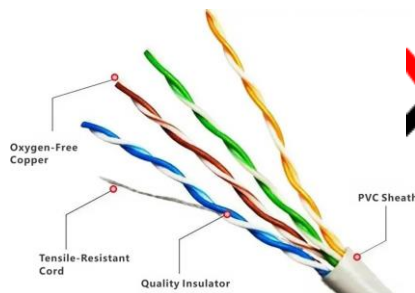
$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(B \times S)}{dt} = -S \frac{dB}{dt}$$

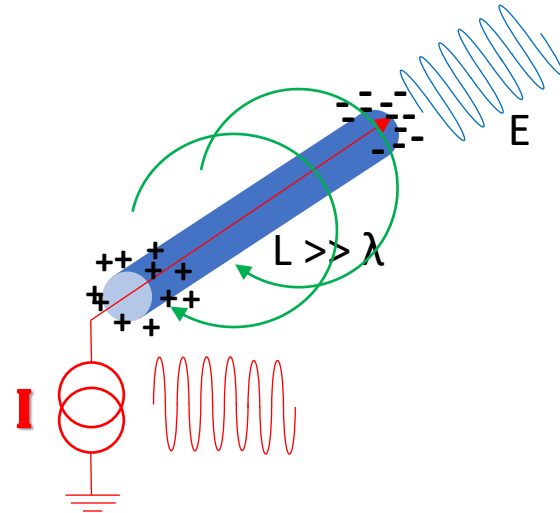
$$e = -S \frac{dB}{dt} \simeq -M \frac{dI}{dt}$$



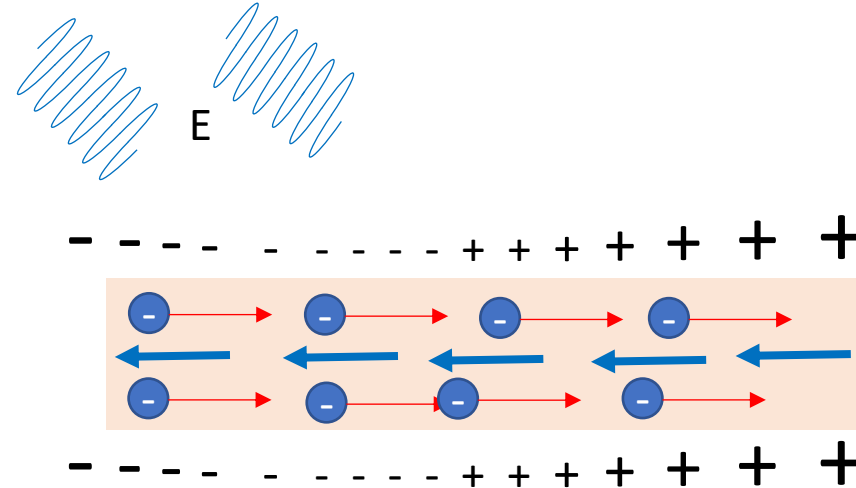
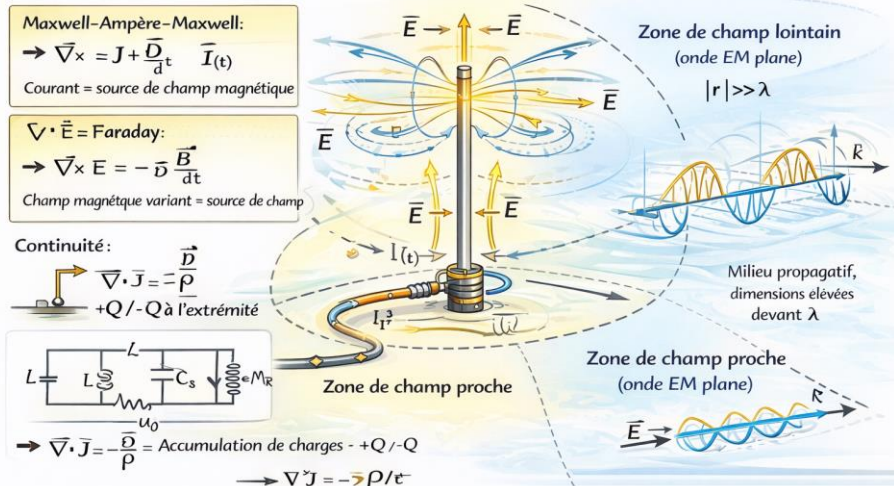
Solution:

Créer des boucles les plus petites possibles côtés victime → paires torsadées
Rapprocher les fils perturbateurs aller-retour pour éliminer B





Principe d'une antenne filaire
rayonnant un champ électromagnétique



Un courant variable dans le temps $I(t)$ circule dans le conducteur. Cela crée :

- un champ magnétique H variable
- une accumulation de charges aux extrémités

Cette accumulation impose un champ électrique variable $E(t)$

➔ c'est le couplage dynamique $E \leftrightarrow H$ qui permet la propagation d'une onde → rayonnement

. **Loi d'Ampère-Maxwell:**

$$\nabla \times \vec{H} = \mu_0 (\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t})$$

→ $\vec{J}$ = courant dans le fil

→ $\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ = courant de déplacement

. **Loi de Faraday:**

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

→ Un champ magnétique variable génère un champ électrique

→ Propagation de l'onde à longue distance

. **Continuité de charge:**

$$\nabla \cdot \vec{J} = - \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

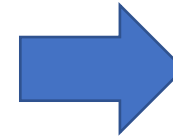
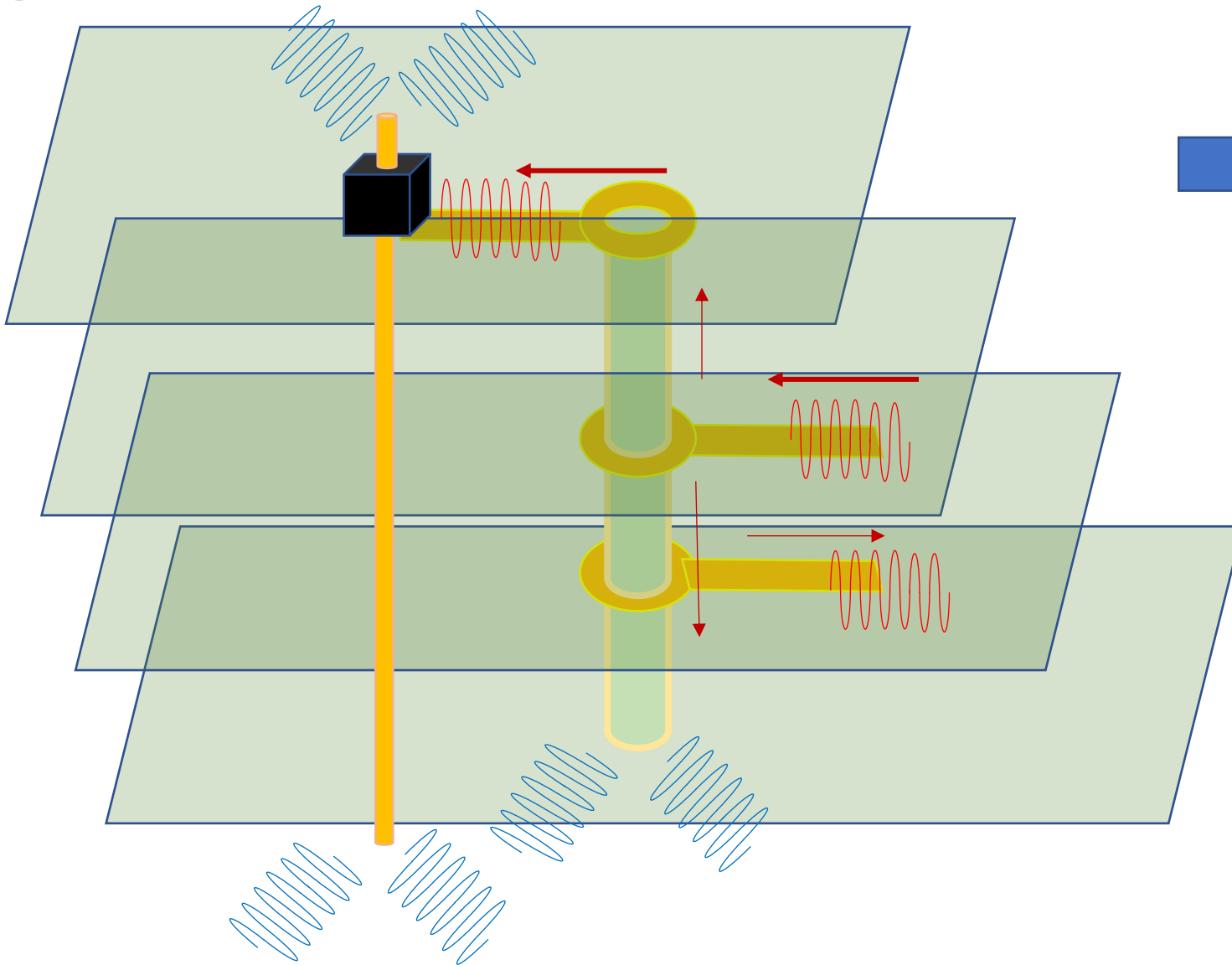
→ Courant s'arrête → accumulation de charge

→ Champs électrique fort aux extrémités

Il y a rayonnement EM si:

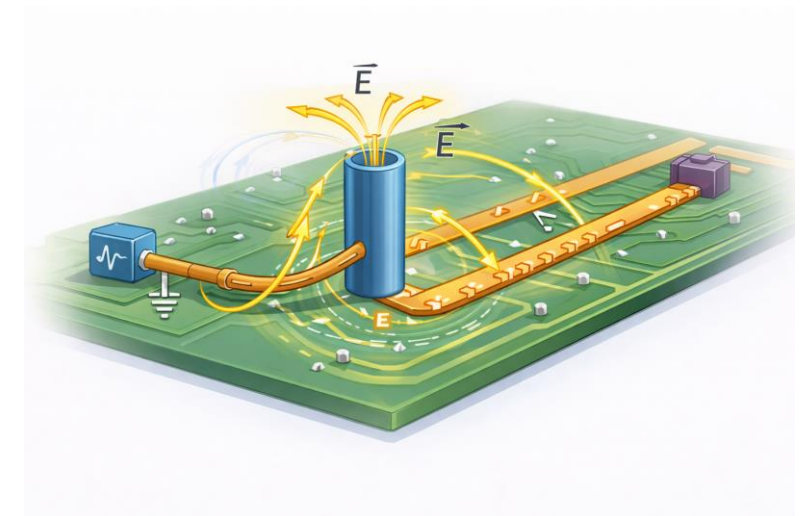
- le courant est variable (AC)
- la structure a une taille non négligeable devant λ

Rayonnement = Surface de boucle x Fréquence x Courant



Signaux rapides haute fréquence:

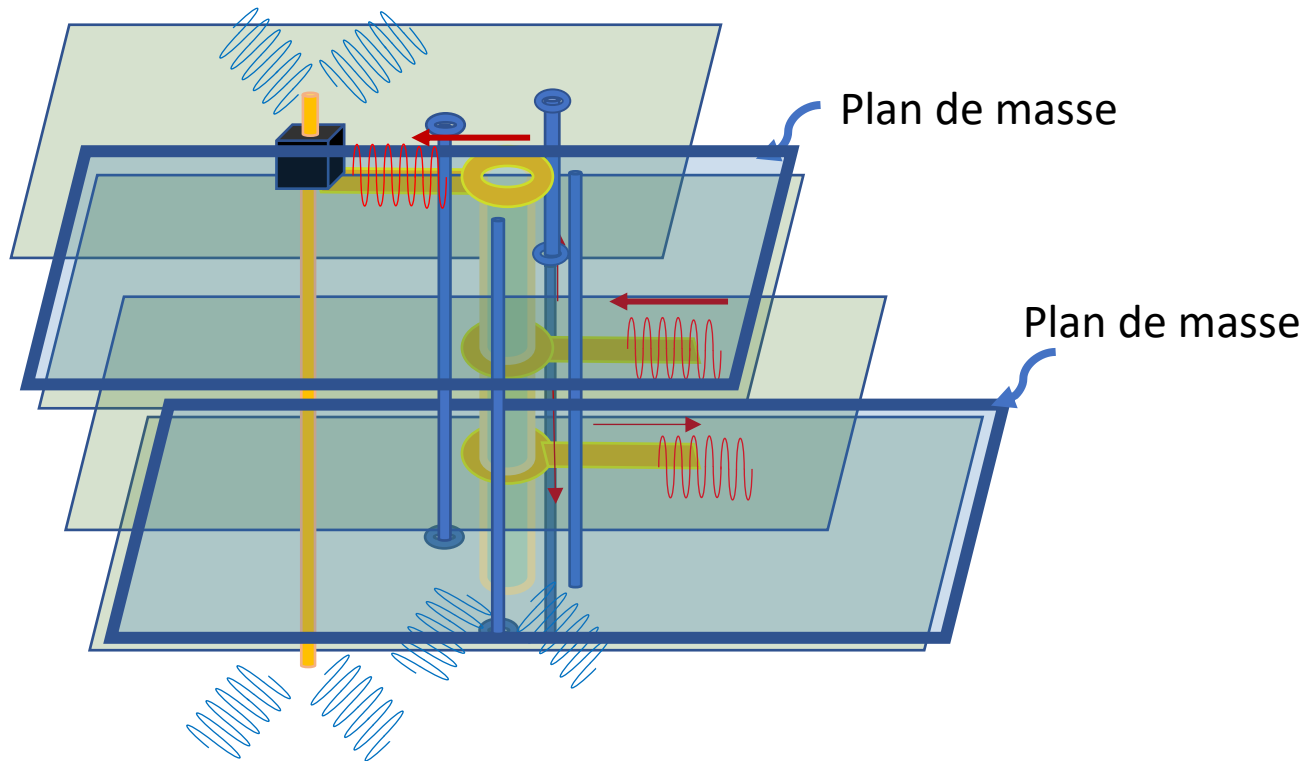
1. Travail sur le dessin des Circuits imprimés
2. Simulation pour l'intégrité de puissance et l'intégrité des signaux.
3. Etablissement de règles de dessin



Solution:

on ne “**bloque**” pas un **couplage rayonné** après coup, on le **réduit à la source**, on maîtrise les **chemins de retour**, puis on **écran**te si nécessaire (blindage). Si tu rates le routage et les boucles de courant, aucun blindage ne rattrape complètement.

- ☐ Réduire la source $(\frac{\partial I}{\partial t}, \frac{\partial V}{\partial t}) \rightarrow$ Plan de masse, Blindage
- ☐ Contrôler le retour (plans, boucles)
- ☐ Optimiser le routage (espacement, différentiel)
- ☐ **Filtrer (couper les fréquences inutiles)**
- ☐ Blinder (en dernier)



Layer	Thickness (mil): Copper/ Core	Description	
		Copper Weight (oz)	Layer
L1	0.6	0.5	Top
	2.9		
L2	0.6	0.5	Ground
	4.5		
L3	0.6	0.5	Signal
	4.5		
L4	0.6	0.5	Ground
	4.5		
L5	0.6	0.5	Signal
	4.5		
L6	1.2	1.0	Power/Ground
	8.0		
L7	1.2	1.0	Power/Ground
	8.0		
L8	1.2	1.0	Power/Ground
	8.0		
L9	1.2	1.0	Power/Ground
	8.0		
L10	1.2	1.0	Power/Ground
	8.0		
L11	1.2	1.0	Power/Ground
	4.5		
L12	0.6	0.5	Signal
	4.5		
L13	0.6	0.5	Ground
	4.5		
L14	0.6	0.5	Signal
	4.5		
L15	0.6	0.5	Ground
	2.9		
L16	0.6	0.5	Bottom

- Optimisation pour l'intégrité du signal** : Les couches de signal sont entourées de plans de masse pour minimiser le bruit et les interférences.
- Gestion de l'alimentation** : Les couches épaisses (L6-L11) permettent une distribution efficace de l'alimentation pour les FPGA/MPSoC haute performance.
- Compatibilité avec les guidelines AMD** : Ce stackup est conçu pour répondre aux exigences des interfaces mémoire (DDR4, LPDDR4) et des signaux haute vitesse.

Zoner les technologies Analogique, Numérique et Energie !

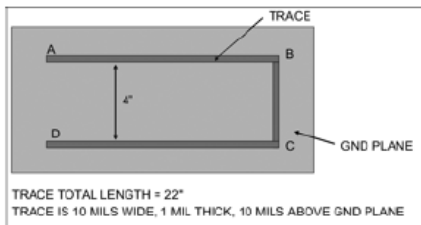
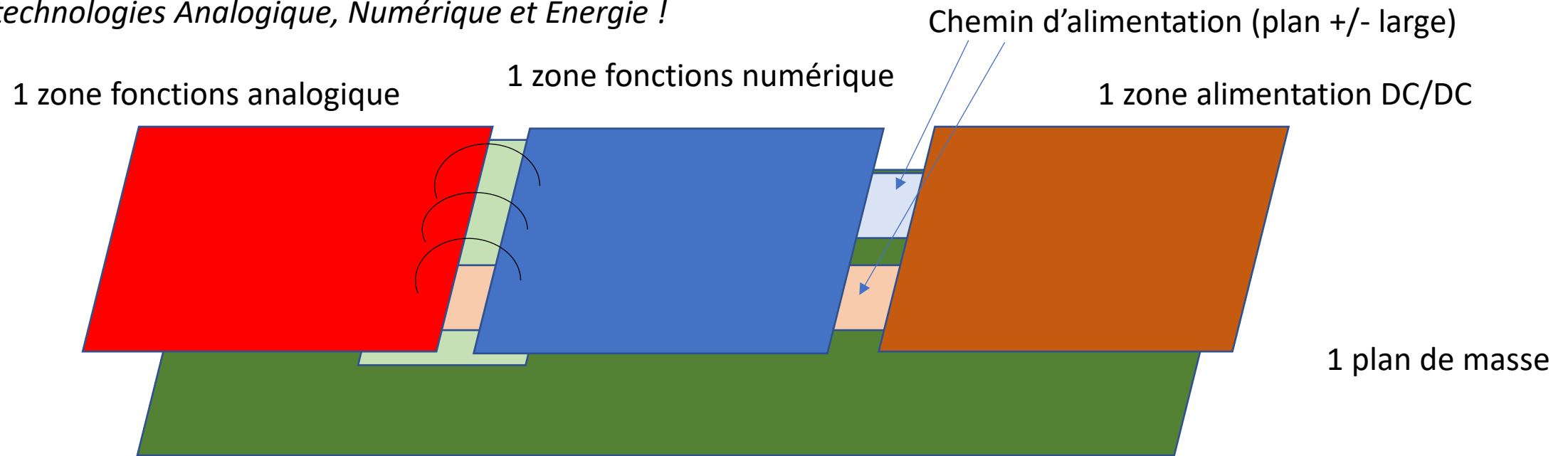


Figure 9. Physical geometry for this example. (Drawing courtesy of Dr. Bruce Archambeault.)

Successful PCB Grounding with Mixed-Signal Chips - Follow the Path of Least Impedance

By: Mark Fortunato, Senior Principal Member of Technical Staff
Oct 15, 2012

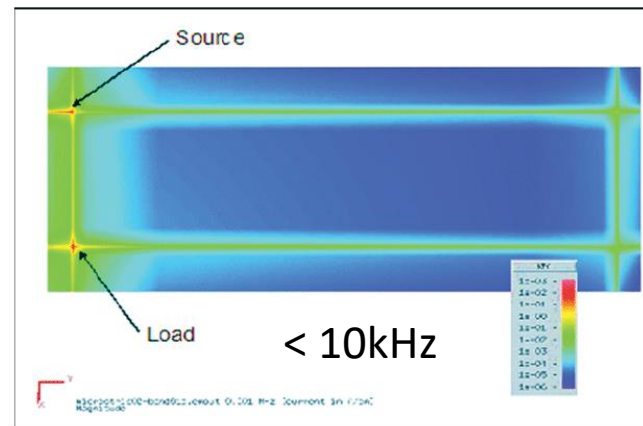


Figure 10. 1kHz ground current flows from load to source in a straight line. (Drawing courtesy of Dr. Bruce Archambeault.)

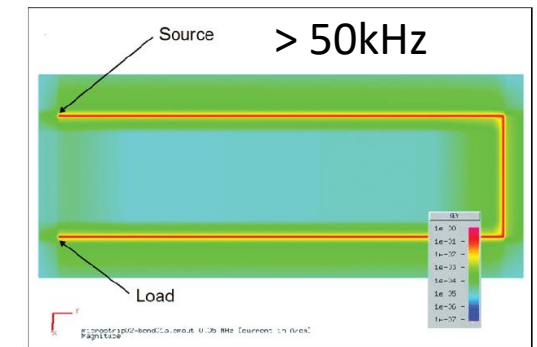


Figure 11. 50kHz ground current flows everywhere. (Drawing courtesy of Dr. Bruce Archambeault.)

Finally, Figure 12 shows the current paths with a 1MHz signal. Virtually all the return ground current is flowing along the path of the signal trace.

Etude des signaux de nos systèmes: Temps vs Fréquences

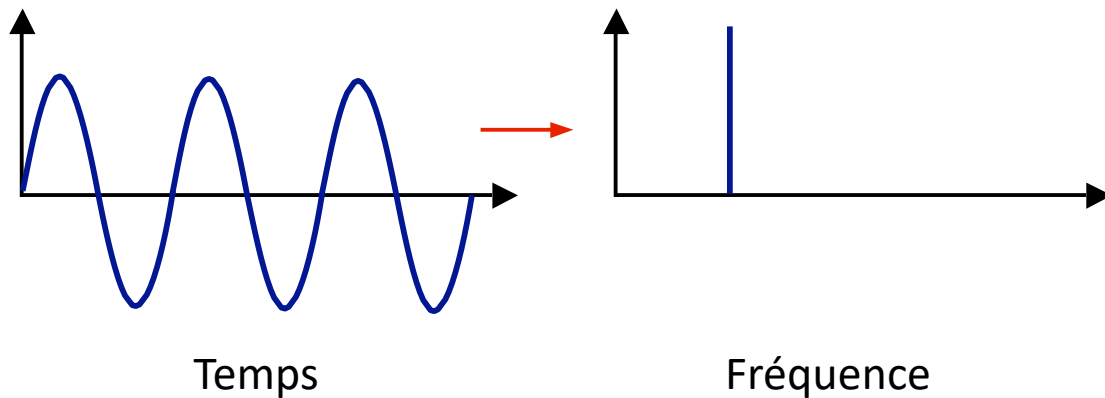
2. Déterminer les modèles simples (pire cas) propres à chaque couplage (R, L, C)

Dresser un inventaire des sources et des victimes

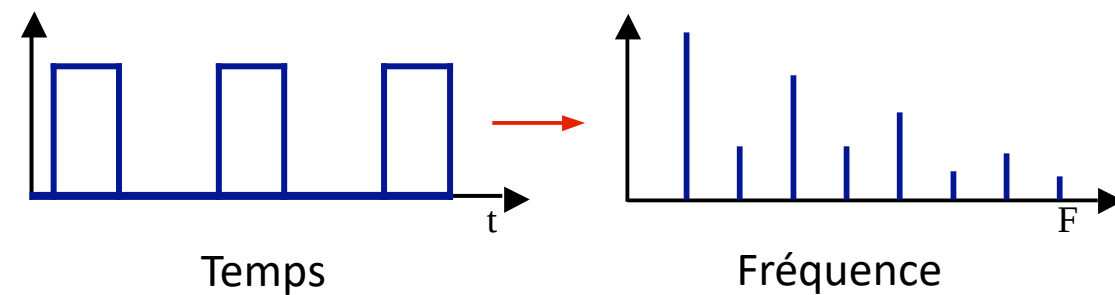
Caractériser chacun en Amplitude, Fréquence, etc...

Établir la matrice d'interaction en notant les couplages plausibles

Signaux sinusoïdaux



Signaux périodiques

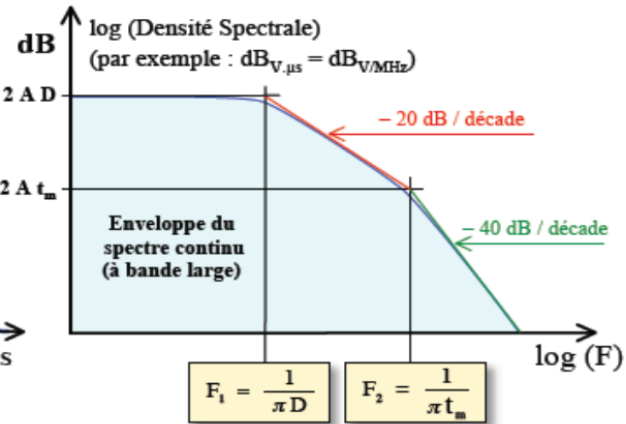
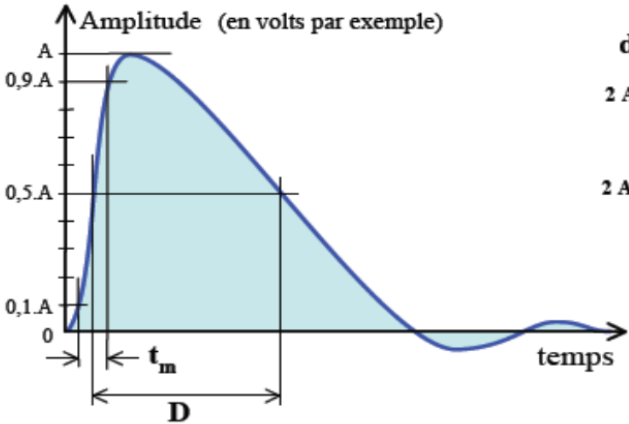
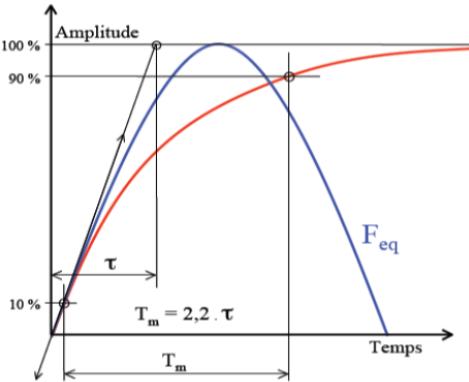


Signaux non périodiques

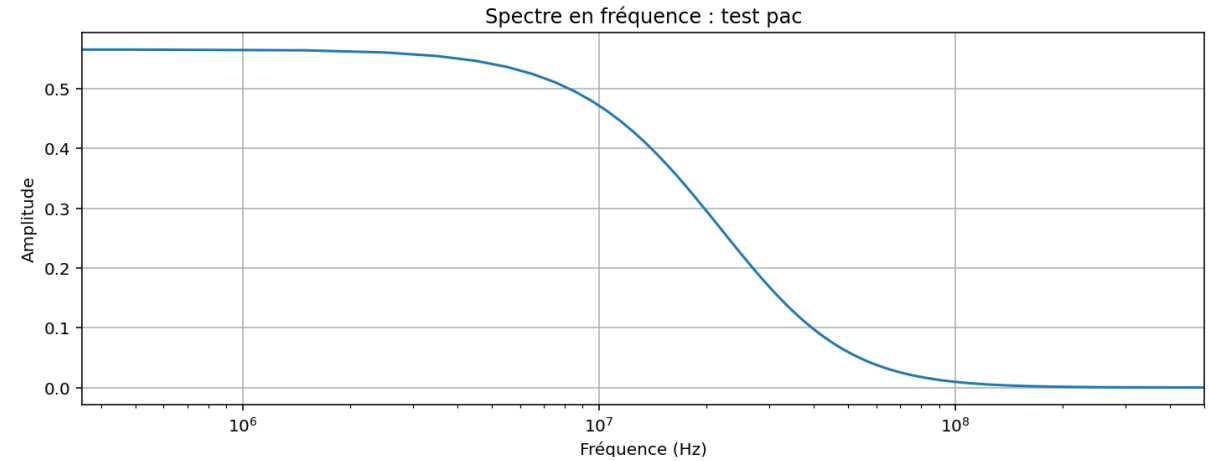
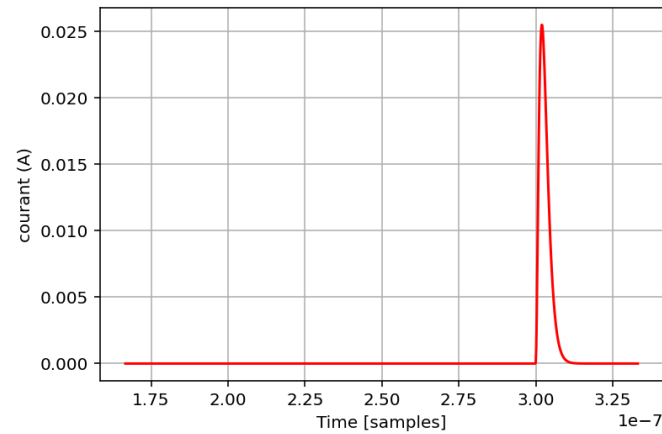
Amplitude	3,3			
Tm	3,12E-08	de		
Tau (D)	2,00E-07			
F1	1,59E+06	zAtau A/Hz (dB)	-117,6	1,32E-06
F2	1,02E+07	2AtTm A/Hz (dB)	-133,7	2,06E-07
	1/F	1/F²		
Amp(F)	3,50E-08	5,9537E-09		
F	6,00E+07	6,00E+07		
Amp dB	-149,12	-164,50		

Fréquence équivalente à 1 echelon

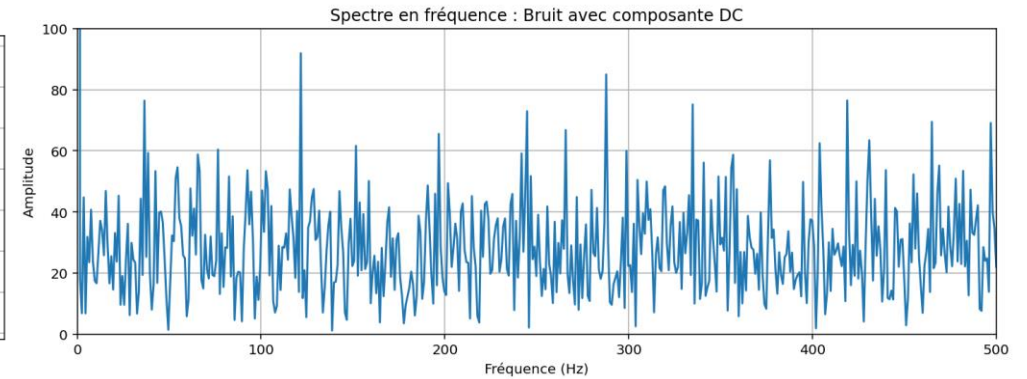
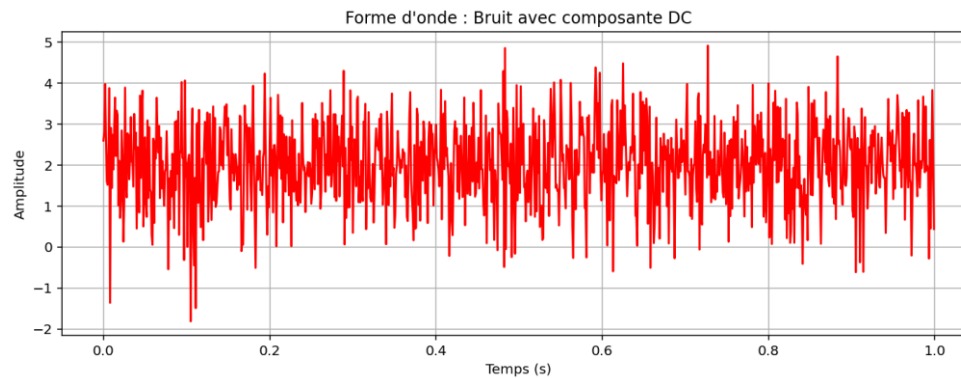
Tm	1,00E-07
Teq	2,85599E-07
Feq	3,50E+06



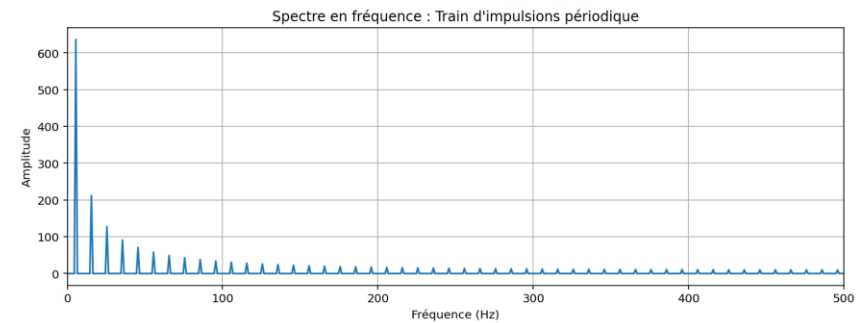
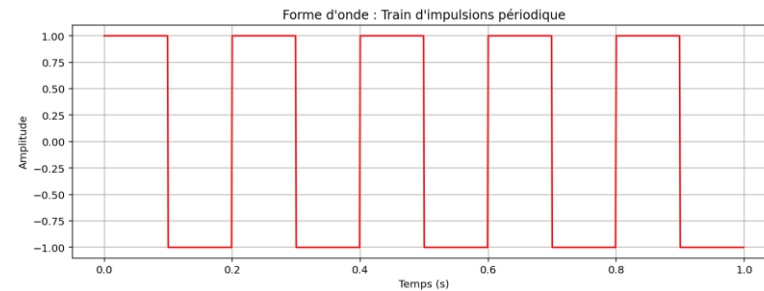
Impulsion PAC



Bruit + DC



Créneau



SOURCE -Type	F ou tm	Amplitude (V, D)	Support (carte, câble ...)	
X1				
X2				
X3				
FA4				
CA5				

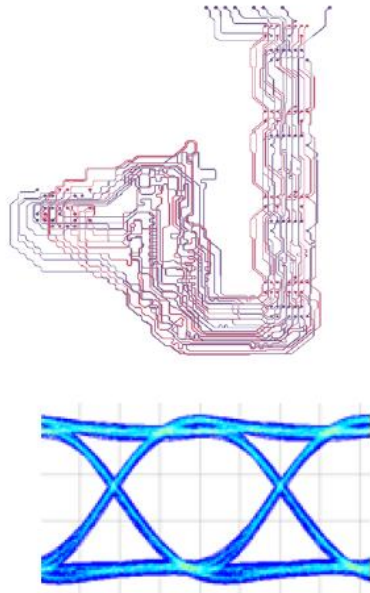
Victime - type	BP ou tm	Sensibilité (V, I)	Zentrée	Support (carte, câble
X1				
X2				
X3				
FA4				
CA5				

Matrice (C, R, X)	X1	X2	X3	FA4	CA5
X1		C,R	C		
X2			X		
X3					
FA4					
CA5					

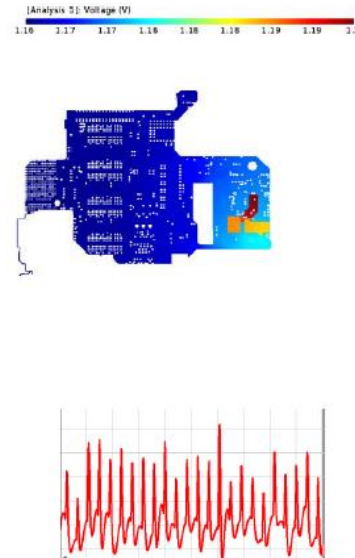
C: conduit
R: Rayonné
X: Diaphonie

Intégrité des signaux: comment se rassurer quand on n'y connaît rien en CEM

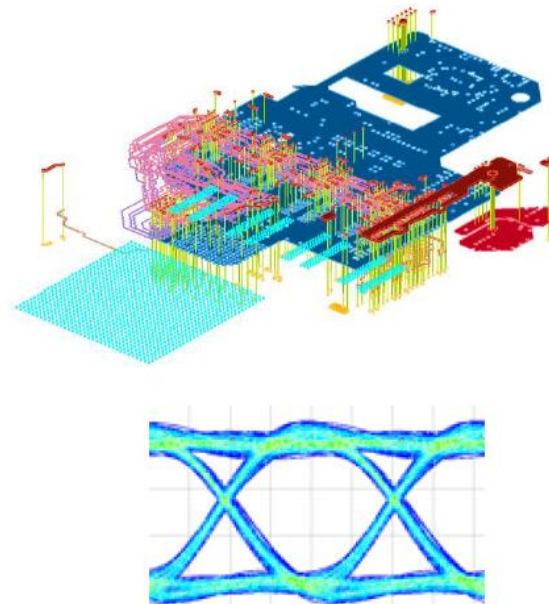
Signal Integrity



Power Integrity



SI and PI Eco-System



➔ EM Simulation (par éléments finis)

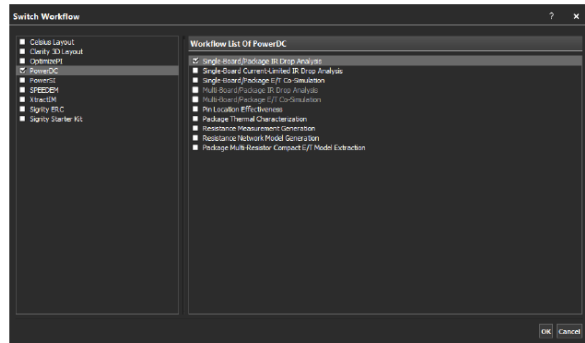
➔ Analyse du réseau de distribution de puissance sur une carte

➔ Analyse de la densité de courant, des chutes de tension et des résonances.

Outils Cadence: (1 seule license)

➤ Choix du Workflow (simulations)

- Power DC → simulation DC + thermique
- Power SI → capa de découplage, paramètres S, bruit, résonances
- Celsius 3D → simulation thermique avancée



26/06/2025

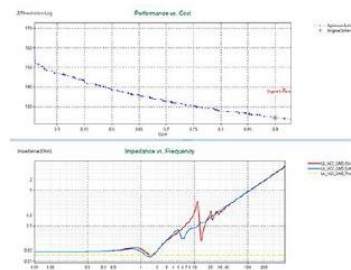
JME 2025 - IPHC Strasbourg

Sigrity Power DC

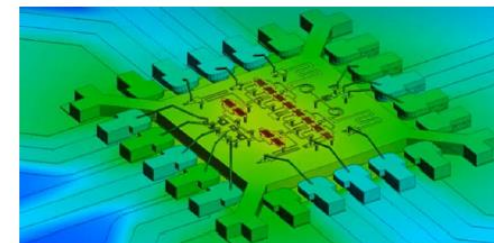


➤ Outils pour analyser les réseaux d'alimentations

- Simuler les chutes de tensions DC (IRDrop)
- Simuler la densité de courant
- Optimiser les capacités de découplage
- Simulation AC
- Simuler les effets thermiques liés à la dissipation
 - Simulations avancées → Celsius 3D

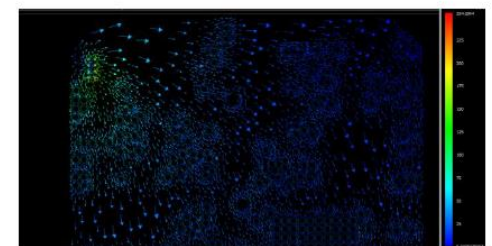
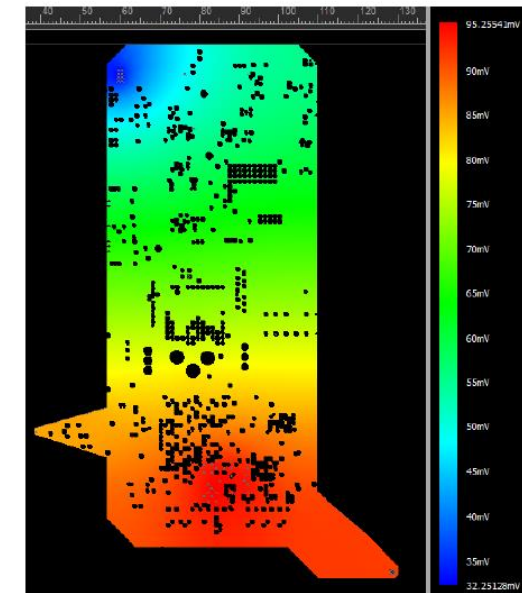


26/06/2025



JME 2025 - IPHC Strasbourg

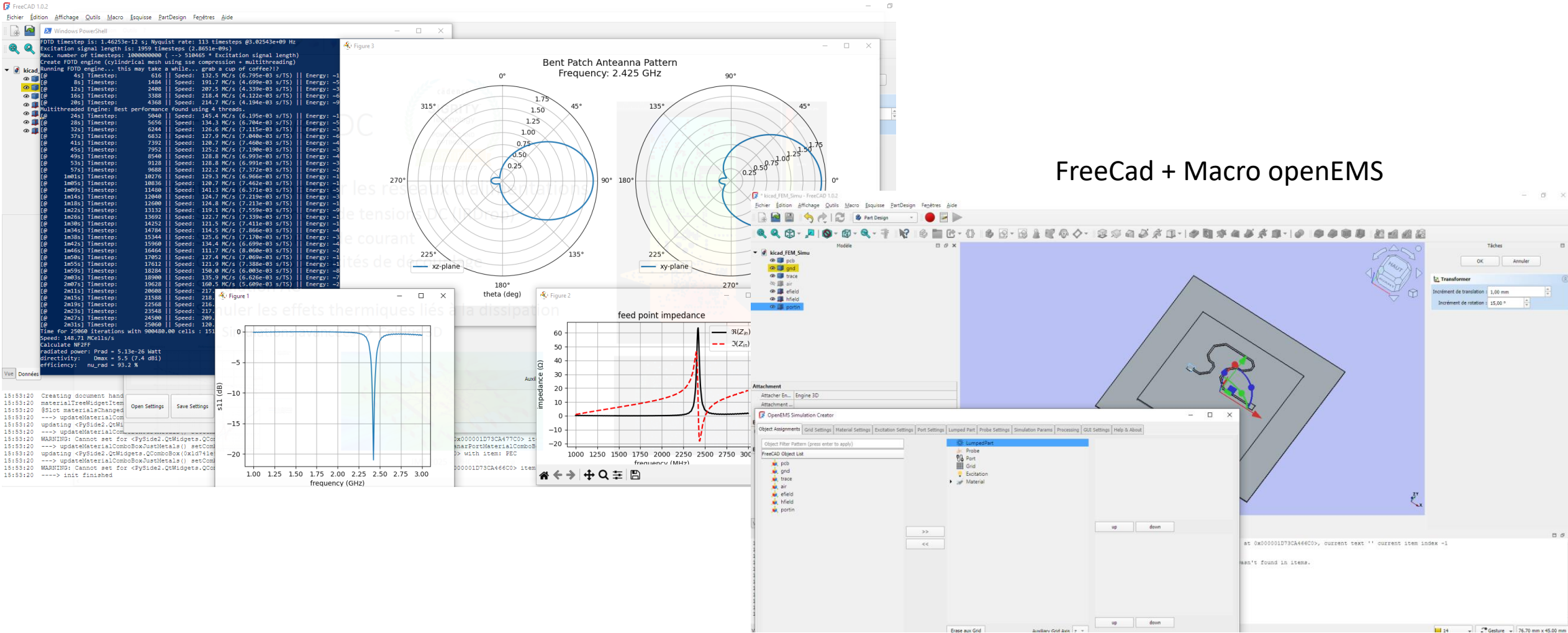
Jérôme NANNI –26/06/25
JME2025 –IPHC Strasbourg



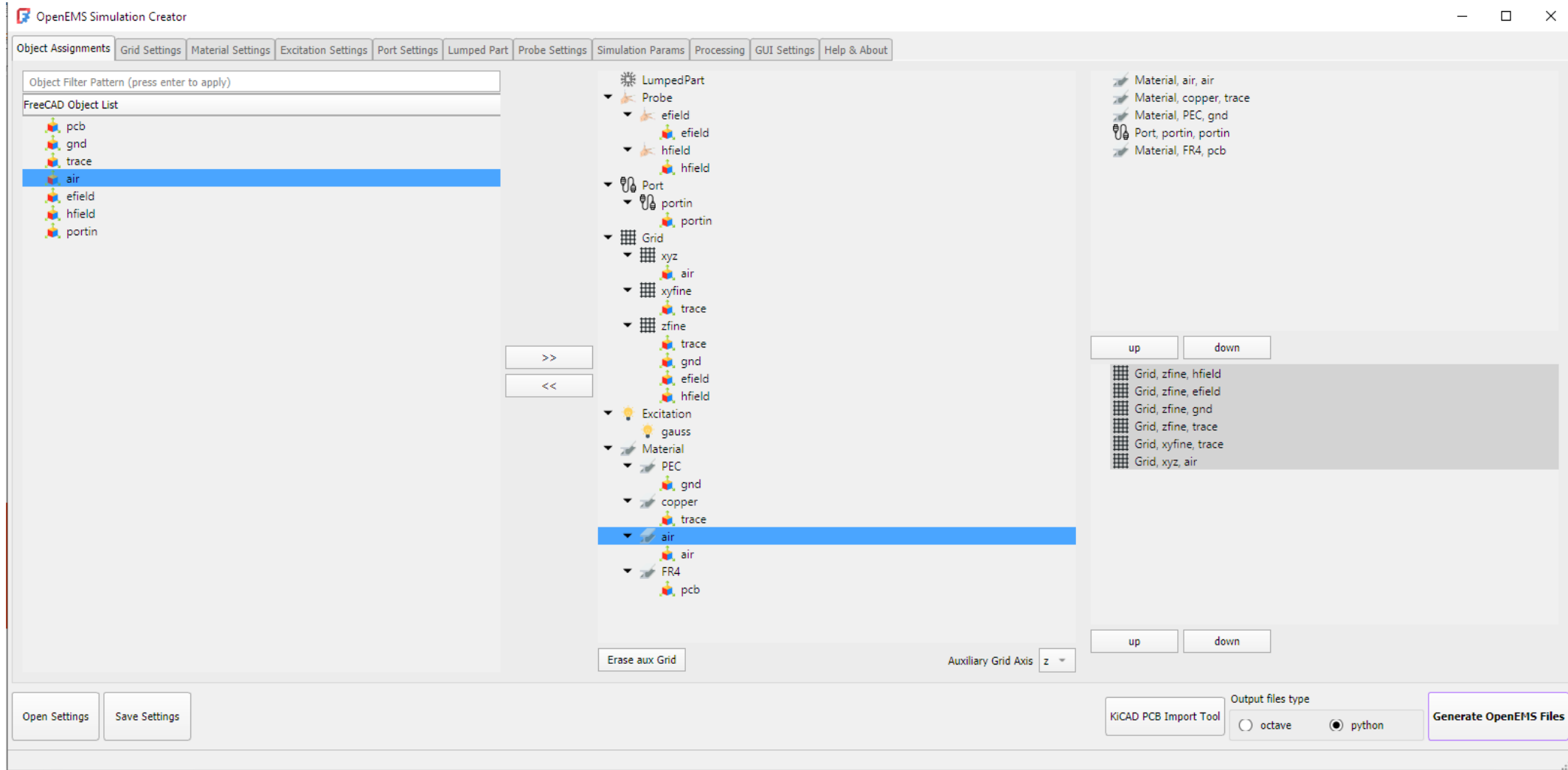
5

Outils Open source: KiCad + FreeCad+OpenEMS

openEMS



FreeCad + Macro openEMS



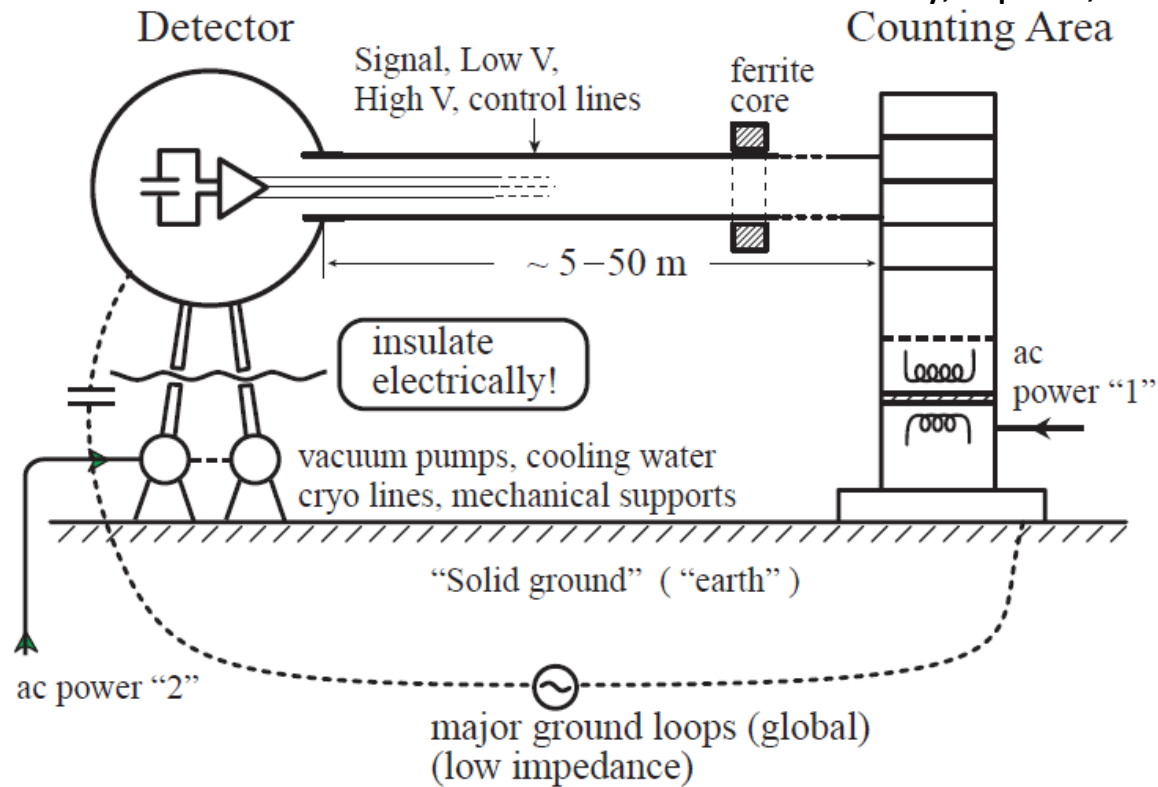
Exemples de simulation

PUBLICATION: SHIELDING AND GROUNDING IN LARGE DETECTORS

Veljko Radeka

Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000 (radeka@bnl.gov)

Et au niveau système ?



- 1- Equipotentialité réel < 0,03 Ohms
- 2- Eviter les boucles de masse
- 3- Eviter les boucles avec les signaux
- 4- Ajouter des capacités de découplage
- 5- Ajouter des connexions aux masses

Figure 1. An illustration of shielding and ground loop control concepts.

En conclusion,

- ☐ On sait identifier les victimes (signaux critiques) et les perturbateurs dans nos circuits
- ☐ On sait calculer les niveaux d'immunité
- ☐ On sait les combattre

- ☐ On sait simuler la CEM ➔ Intégrité des alimentations, des signaux

- ☐ On a une procédure pour rendre nos systèmes résistants aux perturbations

- ☐ DE LA MASSE, DE LA MASSE, DE LA MASSE

