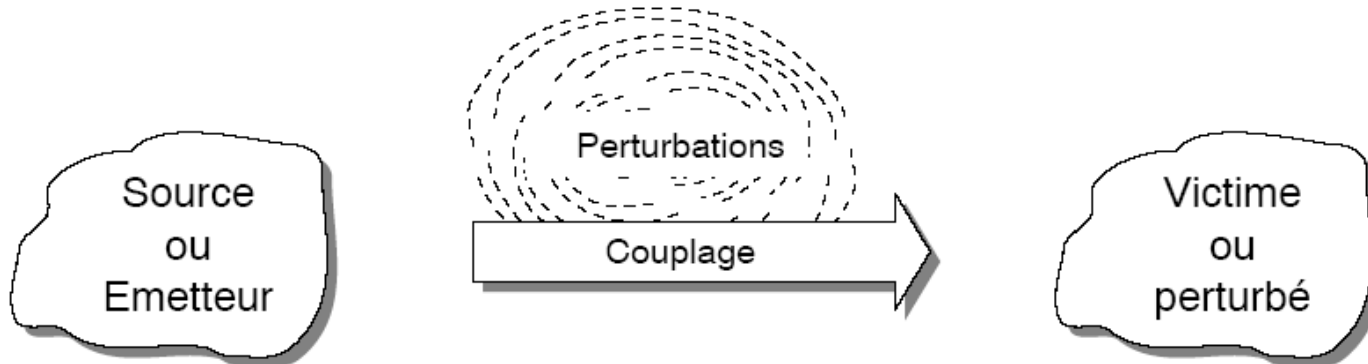


Bonjour !

Au programme aujourd'hui

- Réduction de la propagation des perturbations
 - blindages, câbles blindés
 - parasurtenseurs
 - filtres

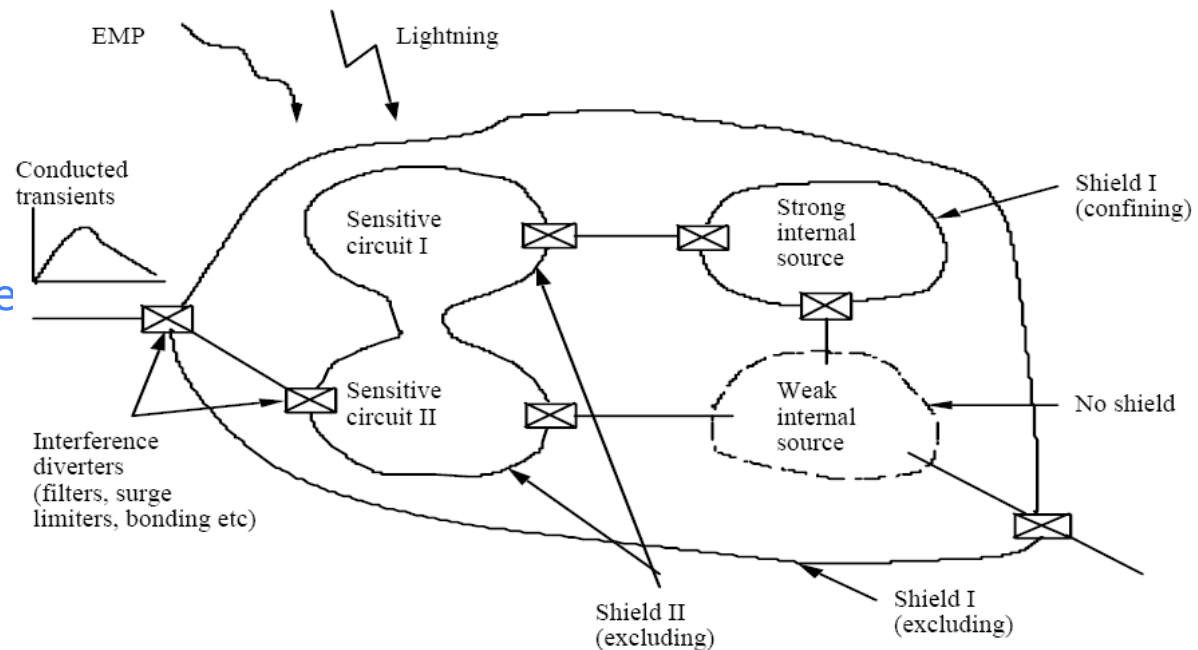
Réduction des problèmes CEM



- La réduction des perturbateurs n'est pas toujours possible
 - on ne peut agir sur des appareils extérieurs
 - puissances en jeu élevées → coûts d'améliorations élevés – pertes de rendement
- Insensibilisation des victimes
 - on ne peut agir sur des appareils extérieurs
 - il n'est pas toujours possible de distinguer les signaux utiles des perturbations
- Réduire le couplage en agissant sur le couplage perturbateur – victime
 - il y a en général 4 moyens possibles :
 - disposition et connexion adéquates des câbles et des composants
 - bonne interconnexion des masses et mise à terre
 - blindage
 - suppression des pointes de tension, filtrage

Topologie des sous-systèmes

- Soigner la disposition des sous-systèmes est le moyen le plus économique
- Exemple : topologie avec 2 niveaux de blindages
 - les circuits sensibles sont regroupés physiquement à l'abri d'une enveloppe blindée
 - les circuits perturbateurs également, à l'abri d'une autre enveloppe blindée
 - les circuits non critiques sont aussi regroupés, sans enveloppe blindée
 - tous ces groupes sont placés à l'intérieur d'une enveloppe blindée extérieure
 - chaque connexion traversant une enveloppe passe par un filtre ou un suppresseur



(source : Uppsala University, Suède)

Blindages

- Un blindage est une enveloppe
 - qui maintient en dehors les perturbations externes
 - qui maintient à l'intérieur les signaux internes... en procurant aux perturbations un chemin de diversion à basse impédance
- L'efficacité d'un blindage se mesure comme suit :

$$S = \frac{\textit{intensité du champ côté source}}{\textit{intensité du champ côté victime}}$$

ce rapport est exprimé en décibel

$$S [dB] = 20 \times \log_{10} \left(\frac{E_{source}}{E_{victime}} \right) \quad \text{ou} \quad 20 \times \log_{10} \left(\frac{H_{source}}{H_{victime}} \right)$$

(il peut s'agir du champ électrique ou du champ magnétique)

Blindages

- Efficacité des blindages

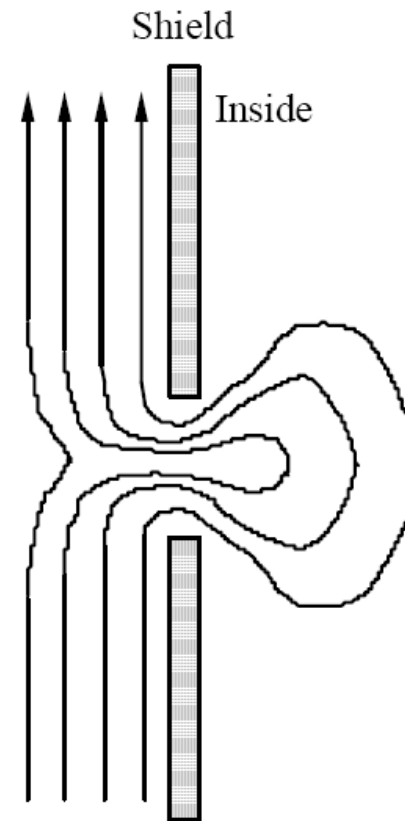
fréquence	matériau	Sa [dB]	
		t = 0,5 mm	t = 3 mm
50 Hz	Cuivre	0,47	2,8
	Acier	4,7	28
	Mu - métal	11,4	68
1 kHz	Cuivre	2,1	12,5
	Acier	21	125
	Mu - métal	51	306
10 MHz	Cu	208	1250
	Acier	2080	12500

- en haute fréquence, un blindage en cuivre même très mince est largement suffisant
- en basse fréquence, même une feuille d'acier de 0,5 mm n'atténue presque rien
il faut augmenter l'épaisseur ou choisir des matériaux à haute perméabilité μ_r

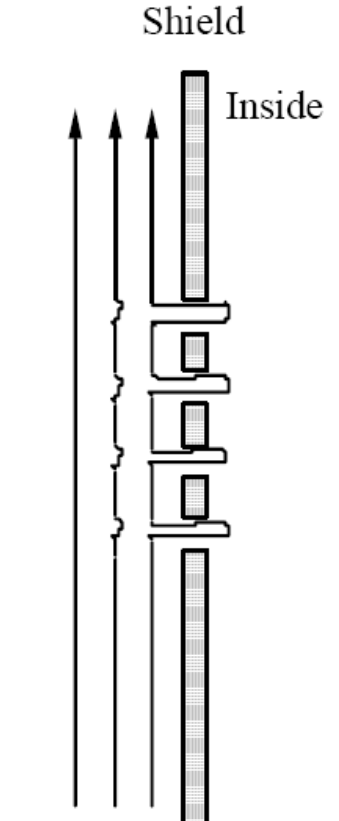
Blindages

- Effet des ouvertures dans les blindages (en haute fréquence seulement)
 - l'efficacité d'un blindage est fortement dégradée par les ouvertures qui y sont pratiquées, particulièrement les ouverture en forme de fente
 - l'influence d'une fente dépend de sa longueur de la longueur d'onde considérée

- Parade : plusieurs trous ronds plutôt qu'une fente



Single aperture



Dividing into many small apertures

(source : Uppsala University, Suède)

Blindages

- Relation entre longueur d'onde et dimensions

$$E [dB] = 20 \log_{10} \left(\frac{l}{\lambda/2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{l \times f}{150 \times 10^6} \right), \text{ avec } l \text{ en [m] et } f \text{ en [Hz]}$$

- Conseils

- ouïes de ventilation
plusieurs trous ronds plutôt qu'une fente
- fentes et joints
même la petite fente entre 2 tôles est critique

c'est la distance entre vis qui détermine l'efficacité du blindage

... à condition qu'il y ait contact électrique (contact sans peinture ni éloxage)

le plus économique : épaulements sur le bord des tôles (pas de contact visuel direct)

le plus cher : joint en gomme conductrice ou lames ressort conductrices

l = 40 mm	f [MHz]	E [dB]
	1	-71
	10	-51
	100	-31
	1'000	-11

Blindages

■ Autres découpes dans le blindage

■ fenêtres transparentes

les affichages (écrans de PC, etc.) exigent de grandes ouvertures transparentes

2 méthodes pour « métalliser » la plaque de verre ou de plastic transparent :

- réseau de fils très fins (4 à 60 conducteurs par cm) disposés en 2 couches croisées
- fine couche d'or

→ attention au contact entre métallisation et blindage, sur tout le pourtour !

→ la transparence est moins bonne (70 à 95%)

■ boîtiers plastic

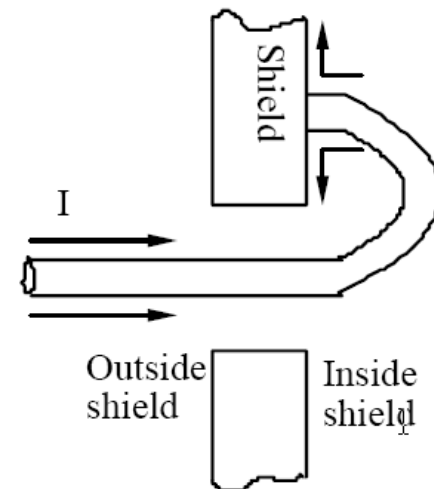
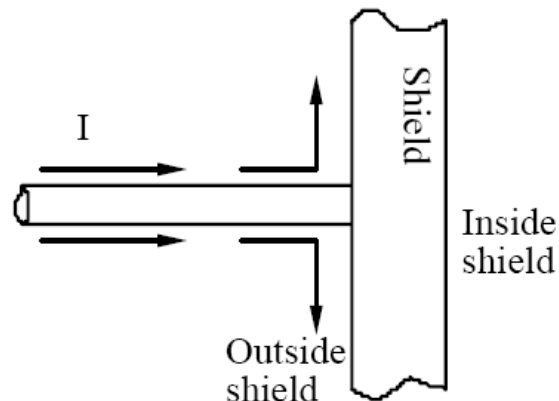
3 méthodes pour obtenir un (faible) effet de blindage

- recouvrir la face interne d'une couche conductrice (très mince)
- mouler le plastic autour d'une feuille ou d'une structure conductrice
- utiliser un adjuvant rendant la masse du plastic conducteur

ces protections suffisent contre les décharges électrostatiques, mais pas contre les rayonnement électromagnétiques

Blindages

- Mise à terre des blindages
 - **cas particulier** – si les circuits à protéger n'ont aucune liaison électrique avec l'extérieur, le blindage n'a pas besoin d'être mis à terre pour être efficace
 - **en général** – il est indispensable de prévoir une bonne mise à terre du blindage
 - un blindage « flottant » induirait des perturbation dans le circuit à potentiel fixe
 - cette mise à terre assure également une protection en cas de défaut d'isolation
 - **les courants perturbateurs provenant de l'extérieur doivent être « forcés » de passer par la face externe du blindage**
 - s'ils passent par la face interne, ces courants vont générer des perturbations à l'intérieur



Blindages

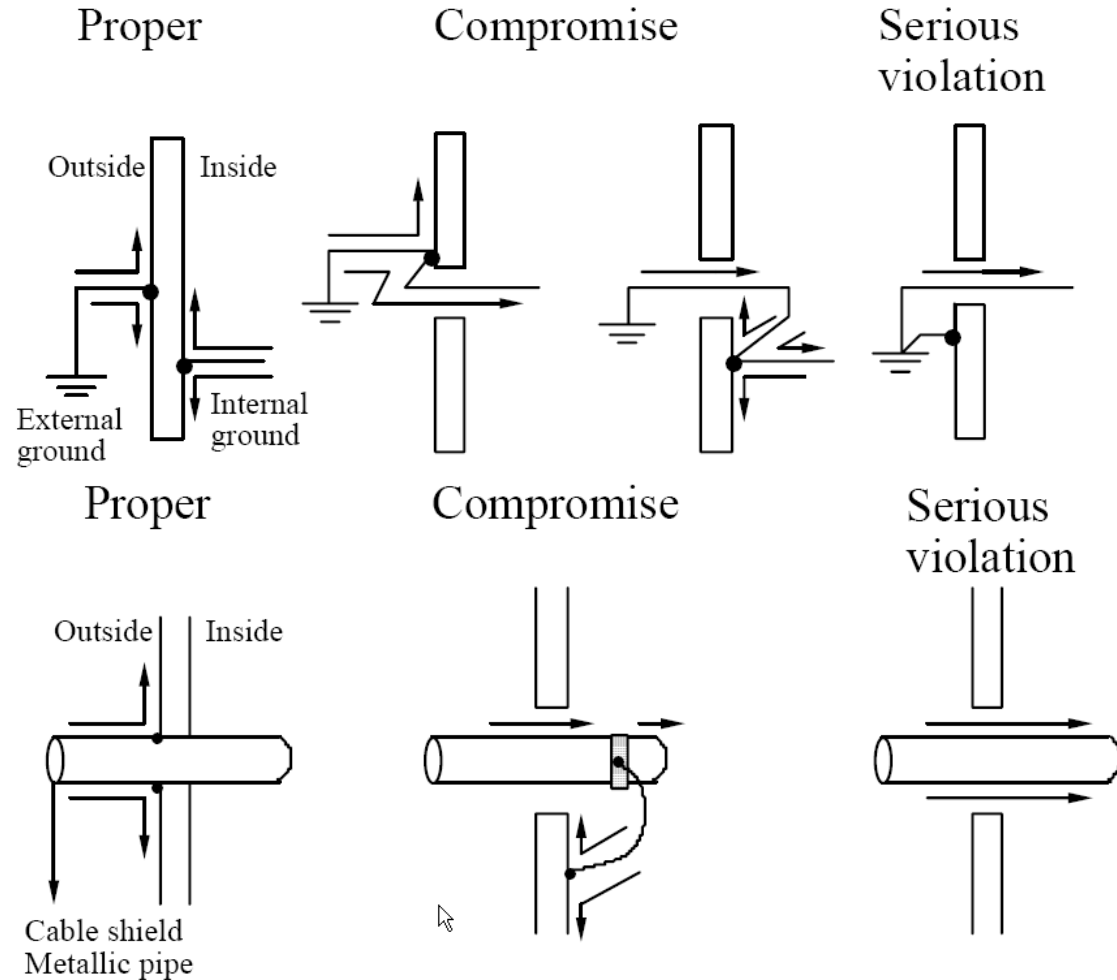
- Passage de conducteurs au travers d'un blindage

- quelques exemples

connexion correcte

connexion « tolérable »

connexion à éviter



(source : Uppsala University, Suède)

Câbles blindés

- Constitution des câbles blindés
 - Un écran (tresse, feuillard) autour du câble permet d'atténuer l'influence des perturbations HF

- Les câbles blindés servent à
 - protéger les signaux transmis par les fils intérieurs contre les perturbations
 - fournir un « retour » d'alimentation ou une « masse » de référence

- La qualité d'un câble blindé est surtout fonction de sa mise en oeuvre
 - enceintes blindées imparfaites
 - connexions entre blindage du câble et enceintes blindées imparfaites
 - cheminement des câbles relativement aux masses

Choix des câbles

- Les signaux typiques des installations peuvent être classés en 4 groupes

■ GRUPE 1

Très sensible

■ GRUPE 2

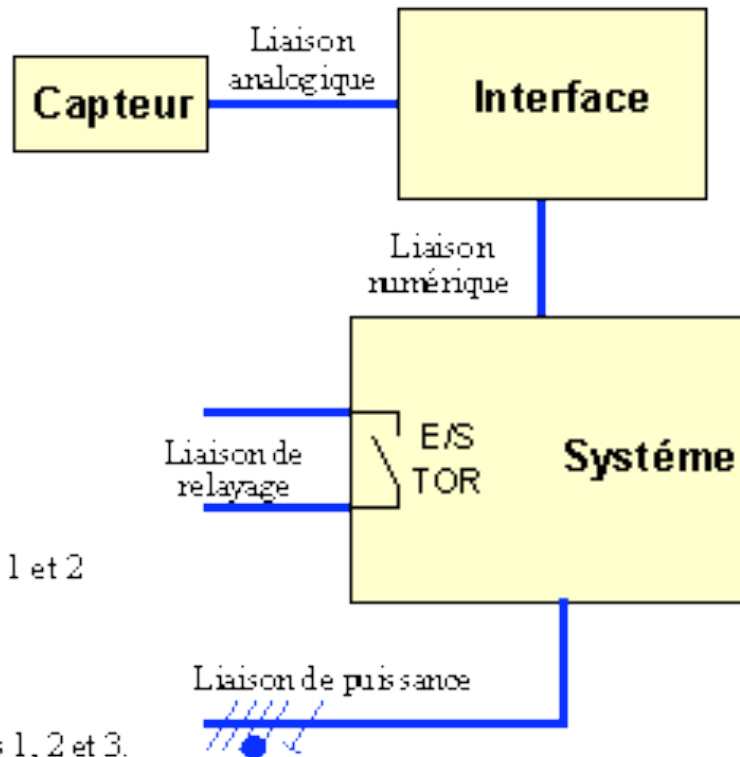
Sensible.
Perturbe le groupe 1

■ GRUPE 2

Peu sensible et peu
perturbateur.
Perturbe les groupes 1 et 2

■ GRUPE 4

Perturbateur.
Perturbe les groupes 1, 2 et 3.



(Source : Alain Borie, France, <http://perso.wanadoo.fr/alain.borie/ablec.htm>)

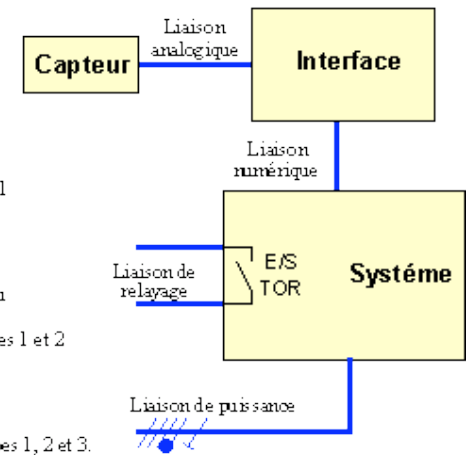
Choix des câbles

- On choisira en fonction du groupe d'utilisation l'un des types de câbles suivants

Groupe	Unifilaire	Paires torsadées	Paires torsadées blindées	Blindés (écran, tresse ou feuillard)	Blindés mixtes (tresse ou feuillard + écran ferrite)
1	non	oui	oui	trop cher	trop cher
2	oui	oui	oui	trop cher	trop cher
3	oui	oui	oui	trop cher	trop cher
4	non	non	non	oui	oui

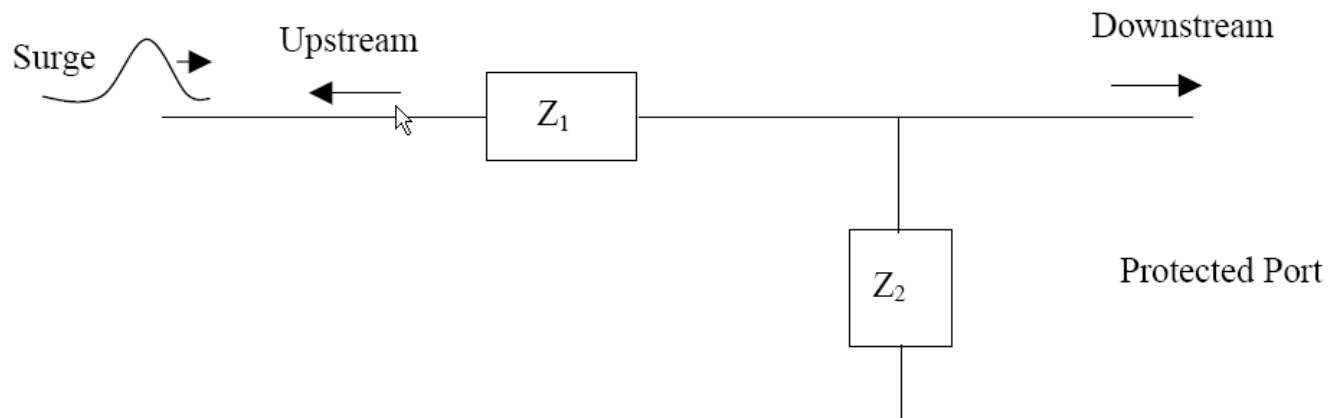
- les câbles à paires torsadées
 - annulation des effets d'un champ magnétique
- les câbles blindés
 - atténuation de l'influence des perturbations HF
- les câbles à paires torsadées blindées
 - cumulation des 2 effets ci-dessus
- les câbles blindés avec écran ferrite
 - blindage classique contre les perturbations HF
 - écran élastomère chargé de poudre ferrite contre les perturbations BF

- GROUPE 1**
Très sensible
- GROUPE 2**
Sensible.
Perturbe le groupe 1
- GROUPE 2**
Peu sensible et peu perturbateur.
Perturbe les groupes 1 et 2
- GROUPE 4**
Perturbateur.
Perturbe les groupes 1, 2 et 3.



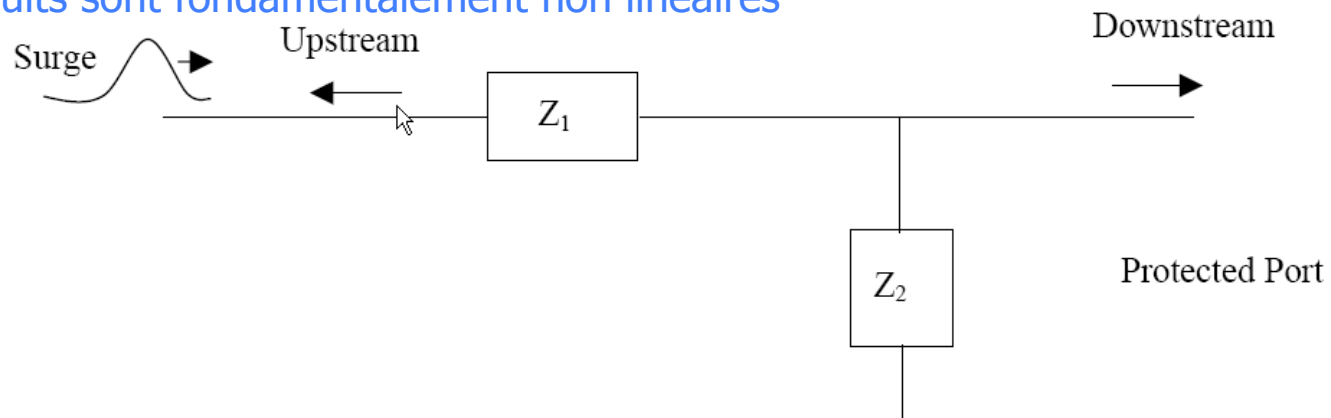
Parasurtenseurs

- Les **surtension** (en anglais : « surge » ou « transient ») **provoquent une surcharge électrique de brève durée** – quelques millisecondes
 - elles peuvent **perturber le fonctionnement d'un système électronique**
 - elles peuvent même les **endommager de manière irréversible**
- **Stratégie de protection**
 - **bloquer ou limiter le courant** résultant par une forte impédance en série
 - **dériver le courant** résultant vers la masse par une faible impédance en parallèle
 - combinaison des deux solutions



Parasurtenseurs

- Les circuits de protection doivent présenter les qualités suivantes
 - influence minimale en fonctionnement normal
 - impédance série très faible
 - impédance parallèle très élevée
 - effet maximum en cas de surtension, avec inversion des caractéristiques
 - impédance série très élevée
 - impédance parallèle très faible
 - l'inversion des caractéristiques doit être très rapide
 - ils ne doivent pas être eux-mêmes endommagés par les surtension
 - ces circuits sont fondamentalement non linéaires



Parasurtenseurs

- Types de systèmes de protection
 - absorption d'énergie : conduit du courant à partir d'un seuil de tension
 - court-circuit : se met en court-circuit en cas de surtension

Type	Principe	Temps de réponse	Courant absorbé	Coût	Capacité parasite	Particularité
varistance	absorption d'énergie	< 0,5 ns	quelques kA	bon marché	1 à 10 nF	peut absorber beaucoup d'énergie
diode zener	absorption d'énergie	< 0,1 ns	quelques A	bon marché	1 à 3 nF	choix de U_{max} (6 à 200 V)
diode	absorption d'énergie	< 0,1 ns	quelques A	bon marché	très faible	U_{may} 0,7 à 2,0 V
éclateur	court-circuit	lent	plusieurs kA		< 2 pF	> 100 V à l'allumage; quelques V avec arc allumé
Thyristor	court-circuit	2 ms	forts courants			tension d'allumage ajustable; quelques V avec arc allumé

Filtres

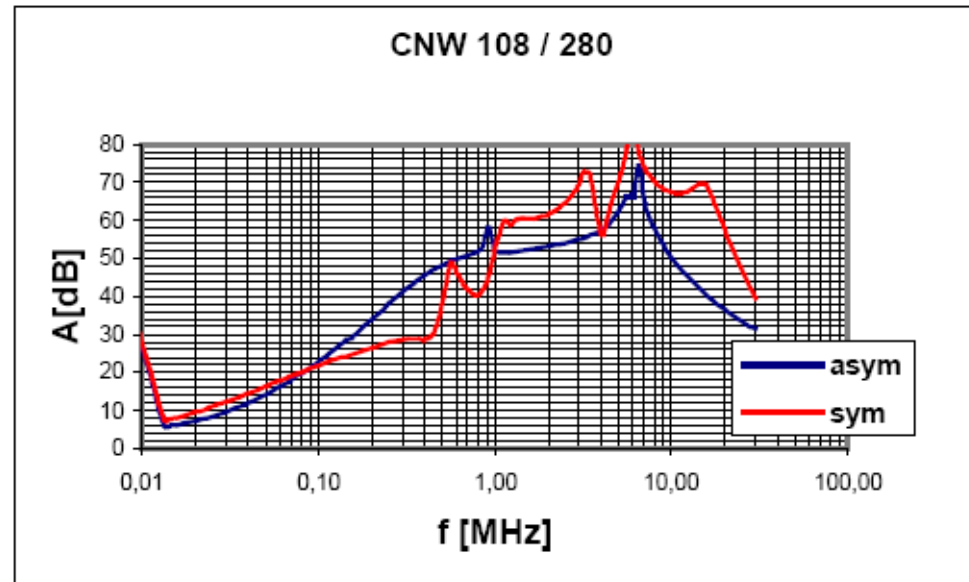
- Les filtres d'alimentation sont placés en série avec l'alimentation des équipements électriques
 - comportement « passe-bas »
 - les signaux utiles passent
 - les courants HF sont bloqués
 - les perturbations sont coupées

- Un filtre est caractérisé par sa « perte d'insertion »

$$PI [dB] = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{\text{sans filtre}}}{U_{\text{avec filtre}}} \right)$$

(fonction de la fréquence)

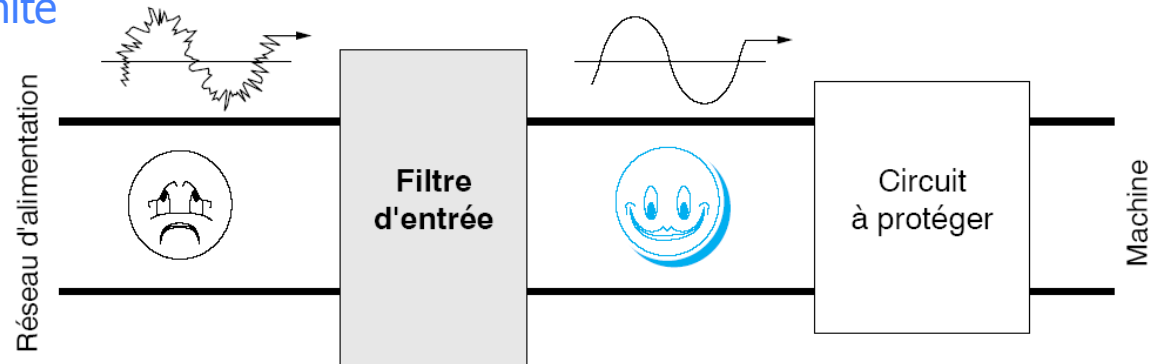
- à ne pas confondre avec la fonction de transfert (rapport sortie / entrée)
- certains constructeurs spécifient l'inverse (l'atténuation)



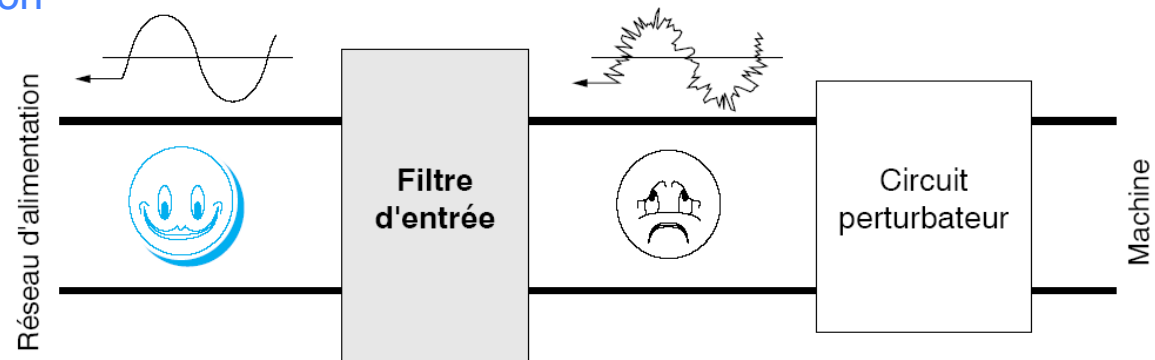
(Exemple d'un filtre - Source : REO INDUCTIVE COMPONENTS AG, Allemagne)

Filtres

- Sens d'action des filtres
 - un filtre d'alimentation protège l'équipement des perturbations venant du réseau
→ limite d'immunité



- il protège également le réseau des perturbations générées par l'équipement
→ limite d'émission



Exercices

- Calculer à partir de quelle longueur les fentes d'ouïes de ventilation dégradent l'efficacité d'un blindage de 20 dB pour des perturbations à 1 GHz
 - longueur d'onde = $300'000'000/1'000'000'000 = 0,3 \text{ m}$
 - $E < -20 \text{ dB} \rightarrow I > 10^{-1} \cdot 0,3 \text{ m} / 2 = 7,5 \text{ cm}$

- Représenter les différentes protections que vous placeriez à l'entrée d'une ligne téléphonique aérienne à l'intérieur d'un bâtiment
 - la ligne peut être soumise à la foudre ($\sim 100 \text{ kV}$)
 - on ne peut pas compter sur l'allumage d'un arc sur les poupées d'isolation
 - il faut donc prévoir un éclateur à l'entrée du bâtiment
 - comme la tension d'allumage de l'arc est encore trop importante, il faut ajouter
 - un fusible (pour limiter l'énergie si la surtension dure trop longtemps)
 - une varistance ou un diode zener limitant la tension à environ 35 V
 - aucune perturbation en fonctionnement normal
 - tension limitée à 50 V en cas de coup de foudre

Merci de votre attention !