

# Compatibilité Electromagnétique de tous les jours

# Résumé des perturbations conduites



Cas 1

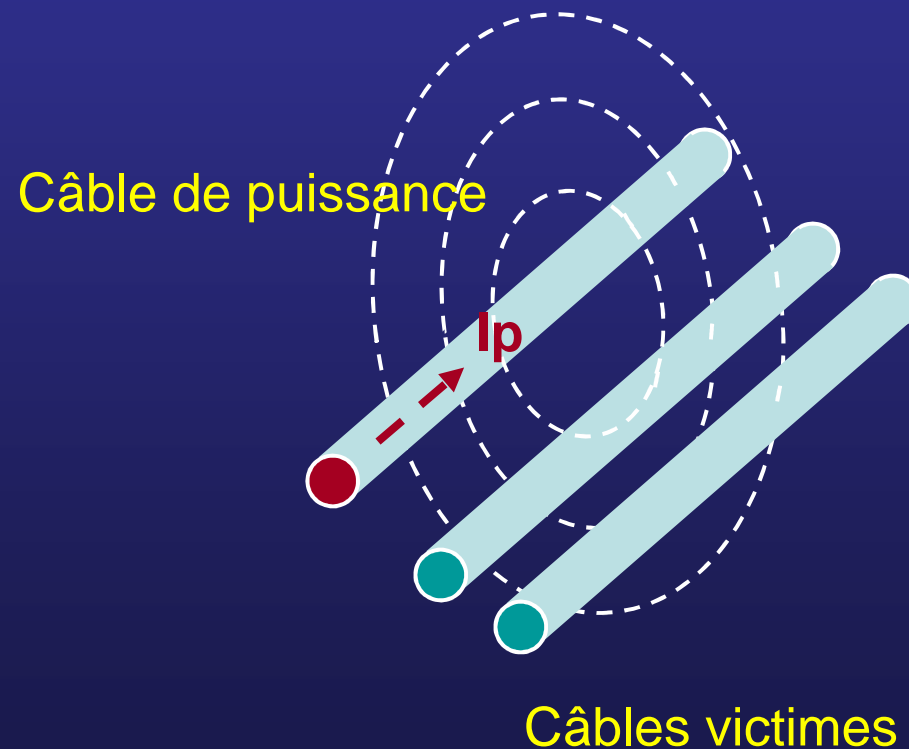


Cas 2

# Couplage par rayonnement

- Le courant  $I_p$  crée un champ magnétique qui rayonne sur les autres câbles par couplage inductif.

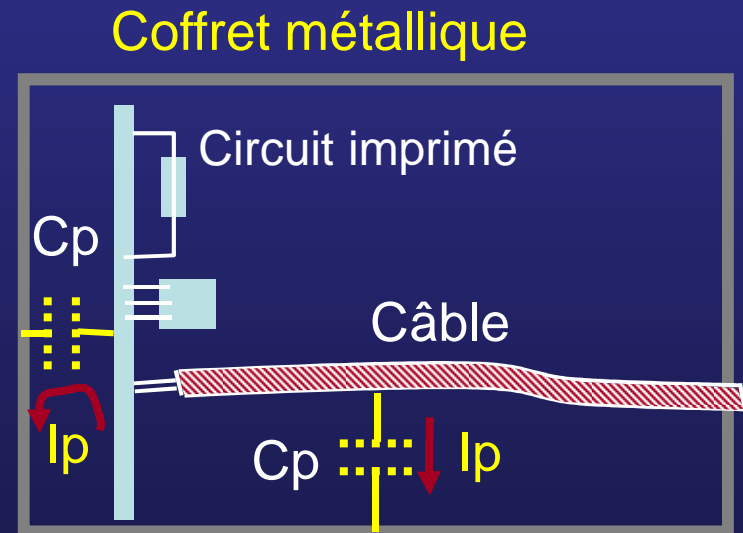
Une tension induite peut être gênante si le courant perturbateur est élevé ou de variation rapide.



# Couplage par rayonnement

- Exemple d'une électronique dans un coffret métallique. Il existe une capacité parasite :
  - entre le circuit imprimé et le boîtier,
  - entre le câble et le boîtier

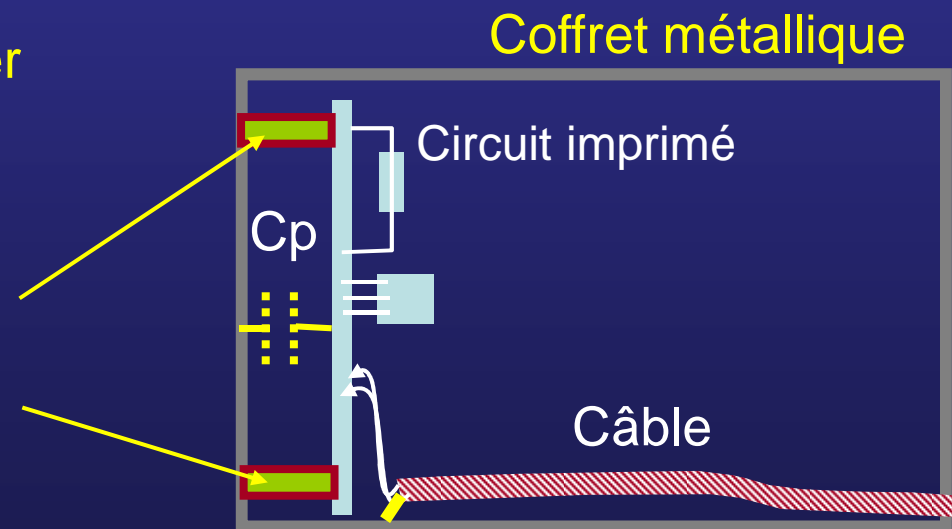
**Toute différence de potentielle entre ces éléments engendrera un courant parasite par couplage capacitif.**



# Couplage par rayonnement

- Pour améliorer ce montage...  
Il faut limiter les capacités parasites :
  - entre le circuit imprimé et le boîtier,
  - entre le câble et le boîtier

Colonnnettes métalliques  
Reliant la masse électrique  
et la masse mécanique.



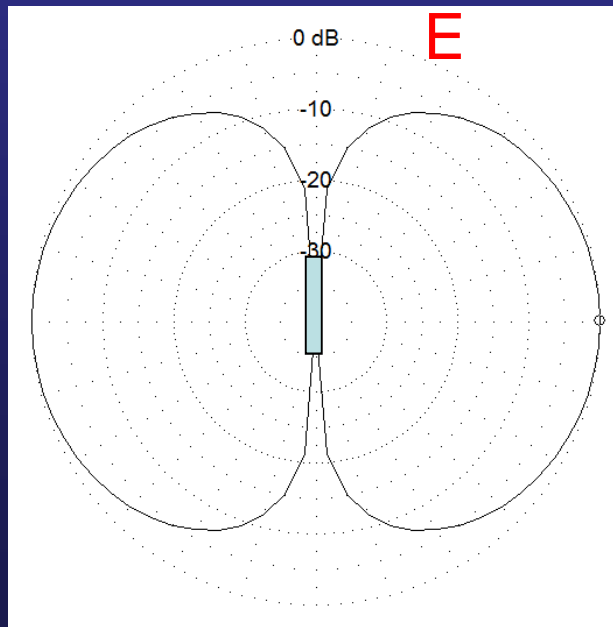
Plaquer le câble ou mieux le blinder

# Fente dans un plan de masse

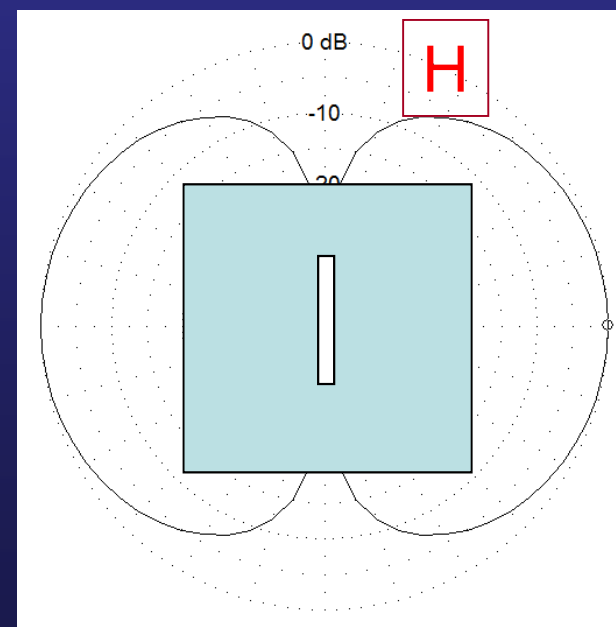
Un plan de masse a une impédance faible s'il ne présente pas de fente.  
Une fente dans un plan de masse rayonne comme une antenne métallique complémentaire (avec les champs E et H inversés).

**Il faut donc éviter de fendre un plan de masse !**

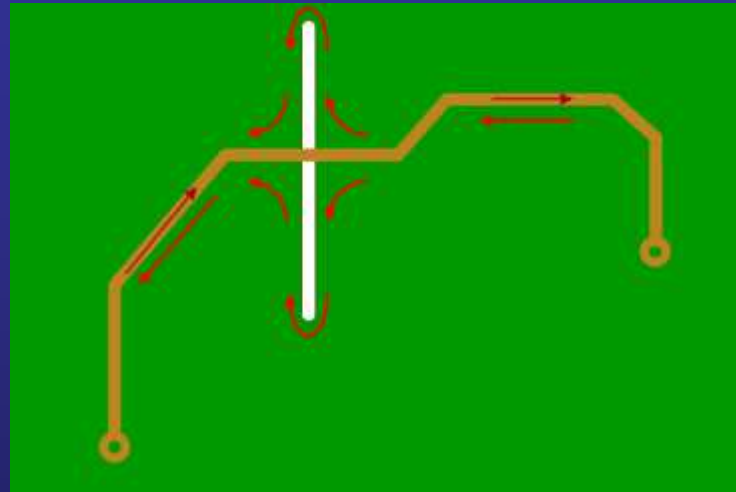
Champ électrique



Champ magnétique



# Fente dans un plan de masse



Equivalent à une antenne quart d'onde ( $L=1\text{nH/cm}$ )

# Les connexions entre éléments

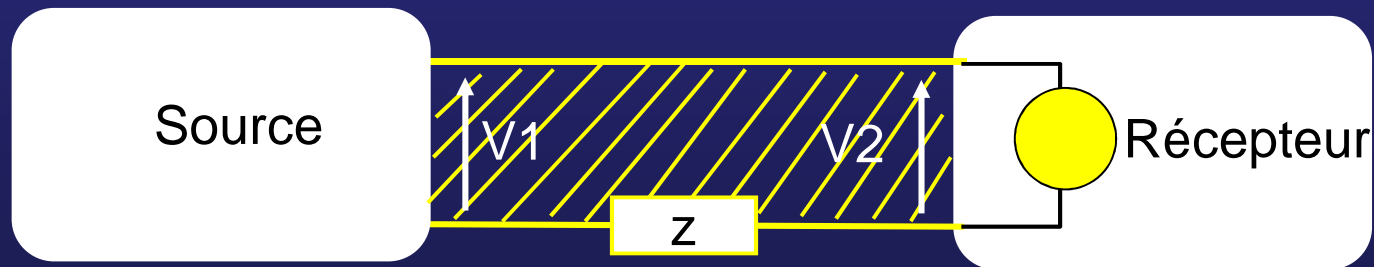
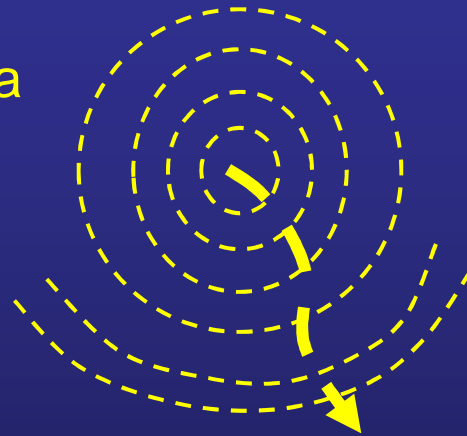
- Il existe une boucle entre la source et le récepteur.
- Si la distance entre les deux composants est importante ou si les signaux sont de fréquence élevée alors les fils présentent une impédance  $Z$ .





# Les connexions entre éléments

Un champ H va créer une tension proportionnellement à la surface de la boucle



L'impédance commune  $Z$  est telle que  $V_1 \neq V_2$

# Les connexions entre éléments

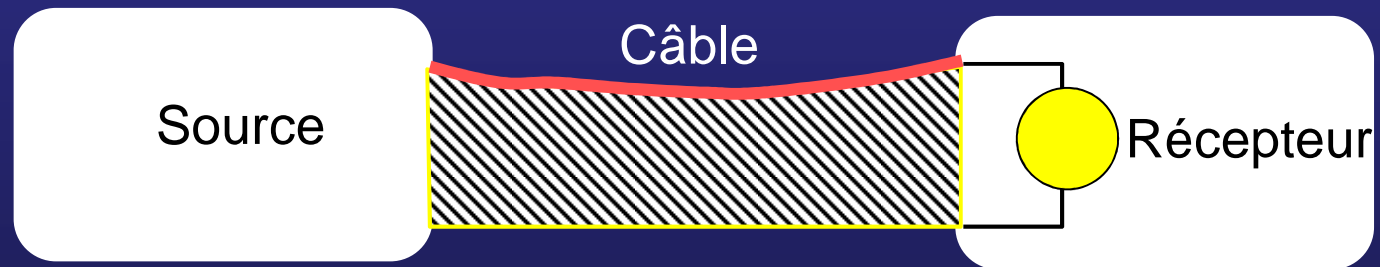
- Les fameuses boucles de masse
- Peut-on les éviter ?

# Les connexions entre éléments

- Les fameuses boucles de masse

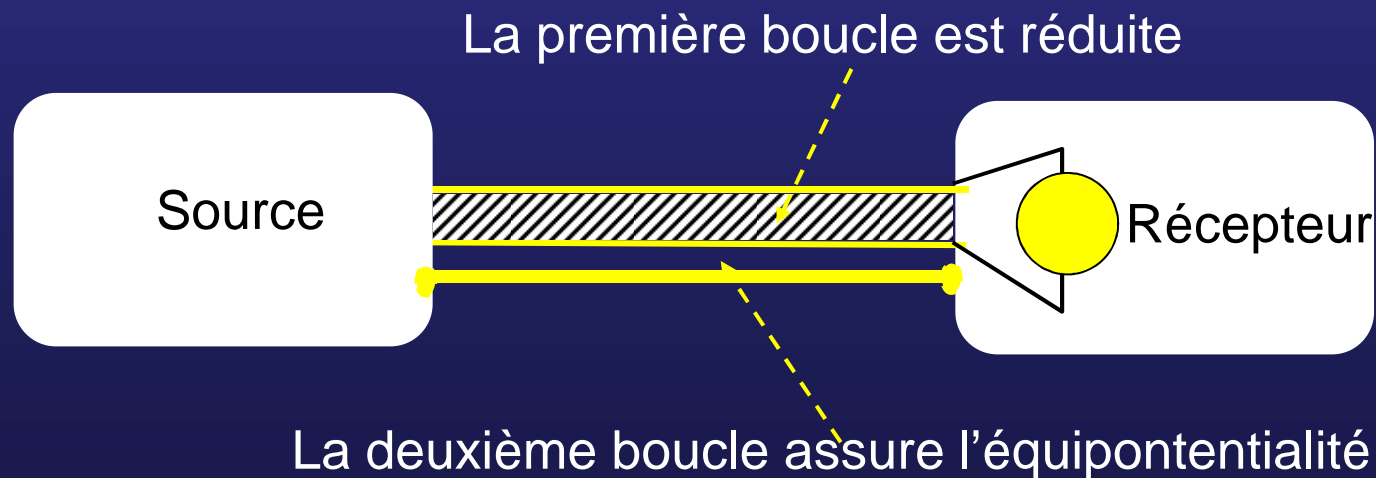
Dés que l'on connecte 2 éléments on crée une boucle !

# Les connexions entre éléments



# Les connexions entre éléments

- Il faut réduire les surfaces des boucles.
- Il faut rendre équipotentiel la source et le récepteur.
- Multiplier les boucles n'est pas gênant et permet d'augmenter l'équipotentialité.



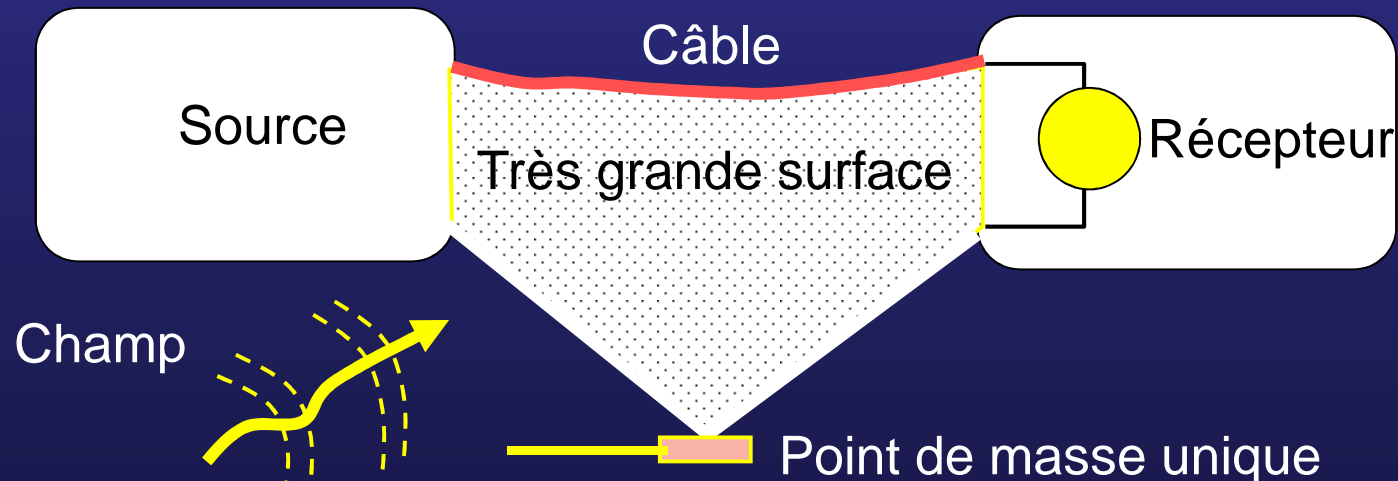
# Les connexions entre éléments

- Le câblage des masses en étoile est souvent préconisé...



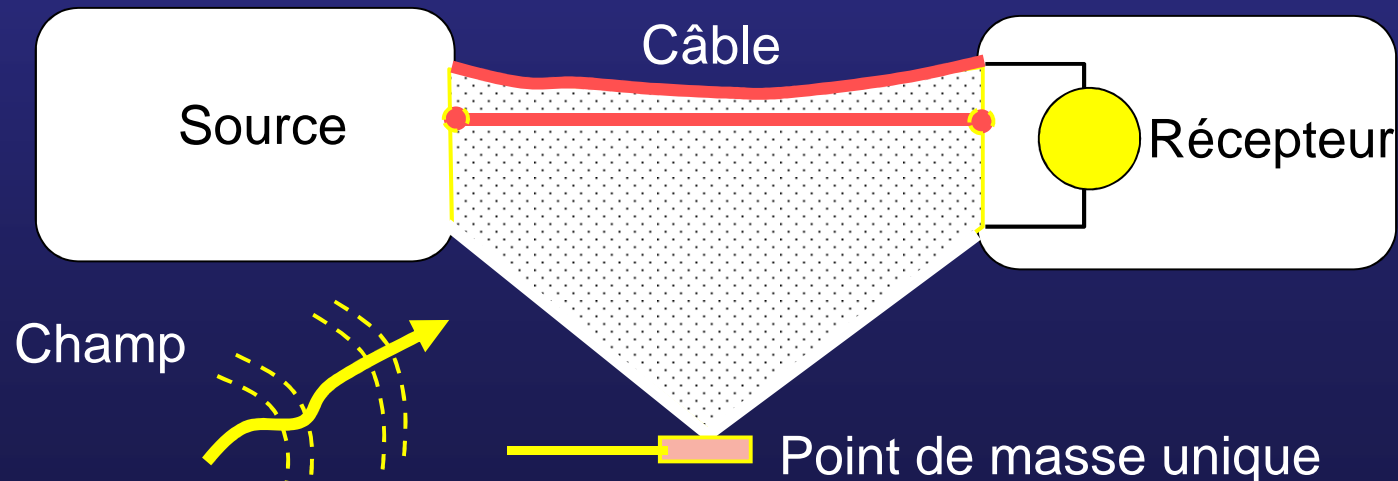
# Les connexions entre éléments

- Le câblage des masses en étoile ne doit plus être utilisé !



# Les connexions entre éléments

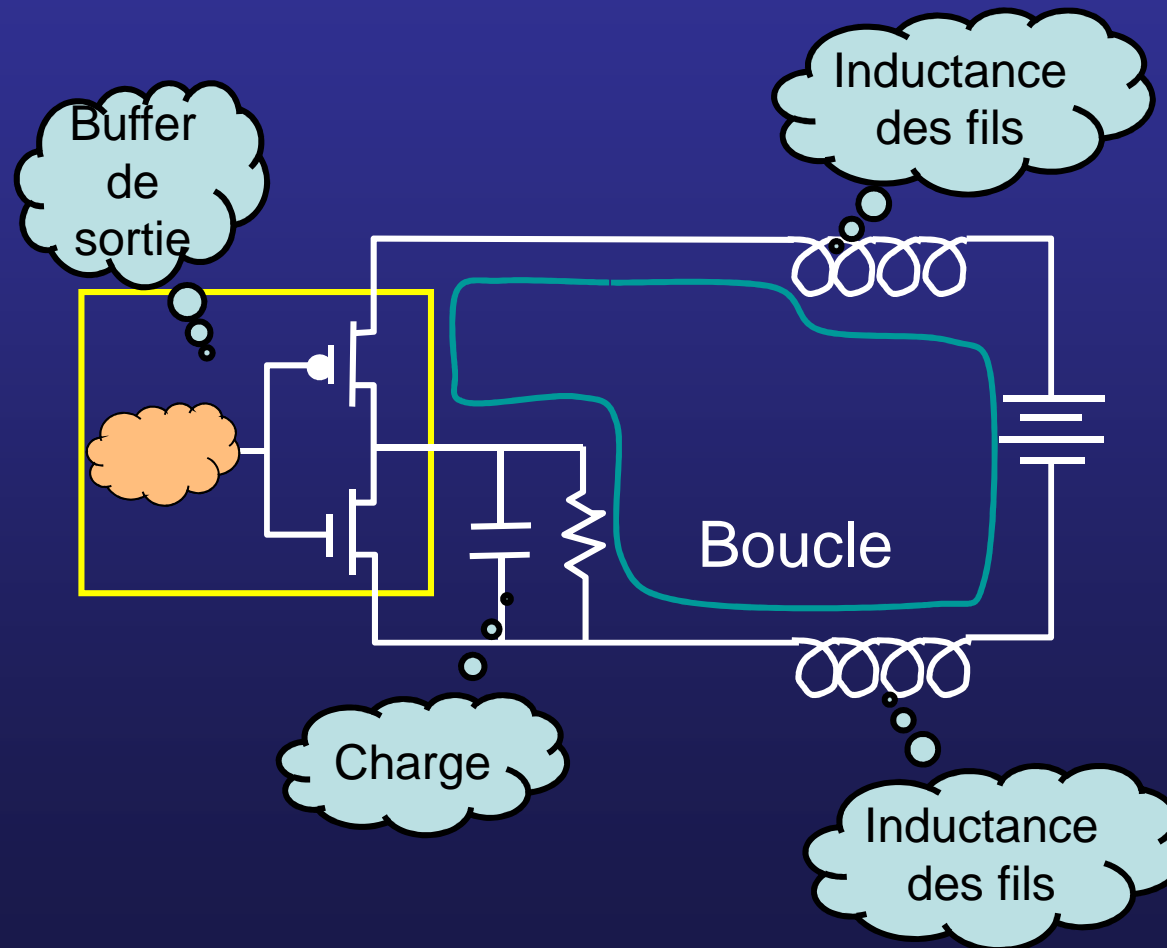
- Dans de telles installations il faut rajouter une connexion de masse pour limiter la surface de la boucle.





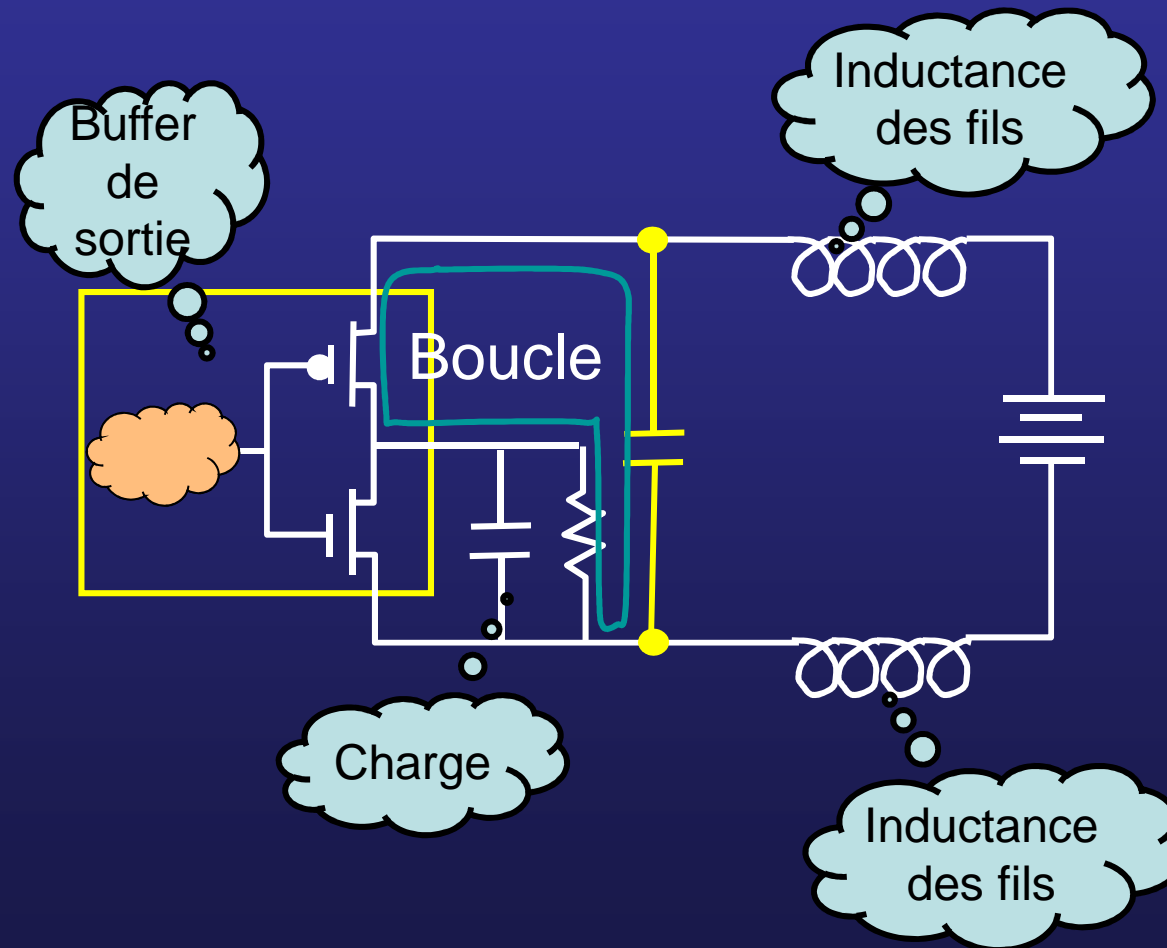
# Les connexions entre éléments

Sans condensateurs de découplage, la boucle peut être importante

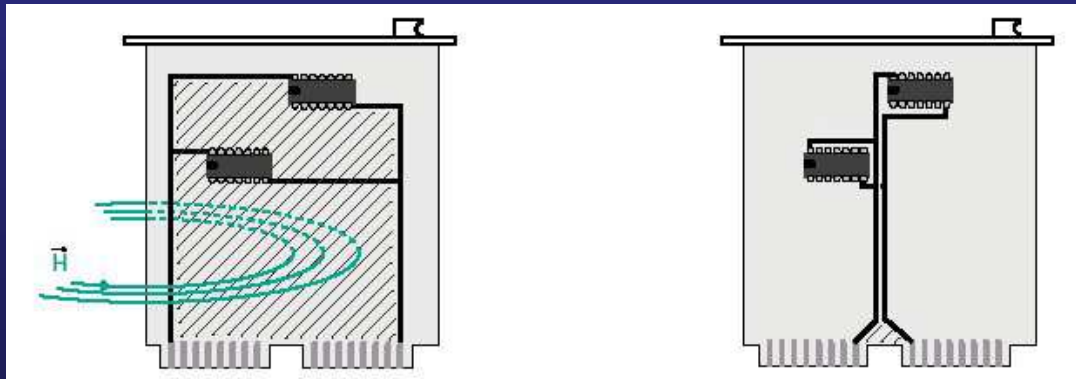
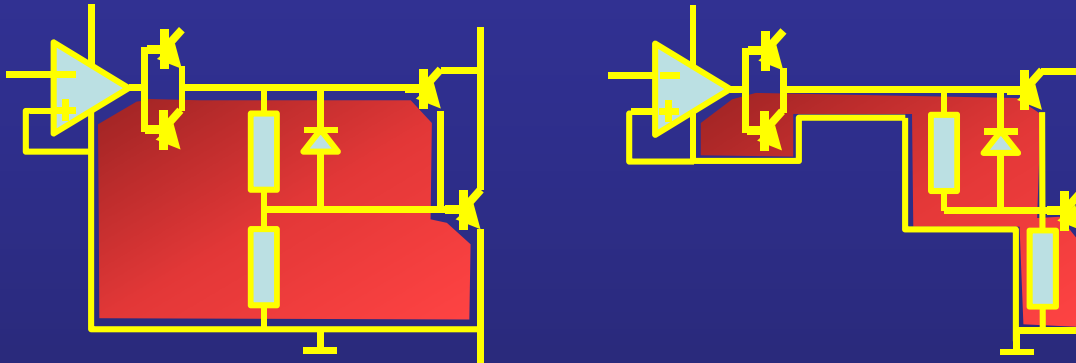


# Les connexions entre éléments

Avec un condensateur de découplage, la boucle est réduite !

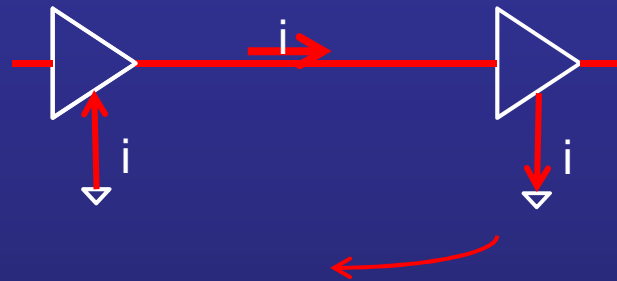


# Le routage des circuits imprimés



- Limitation des surfaces réceptrices
- Un plan de masse est idéal pour limiter les surfaces

# Par où revient le signal ?

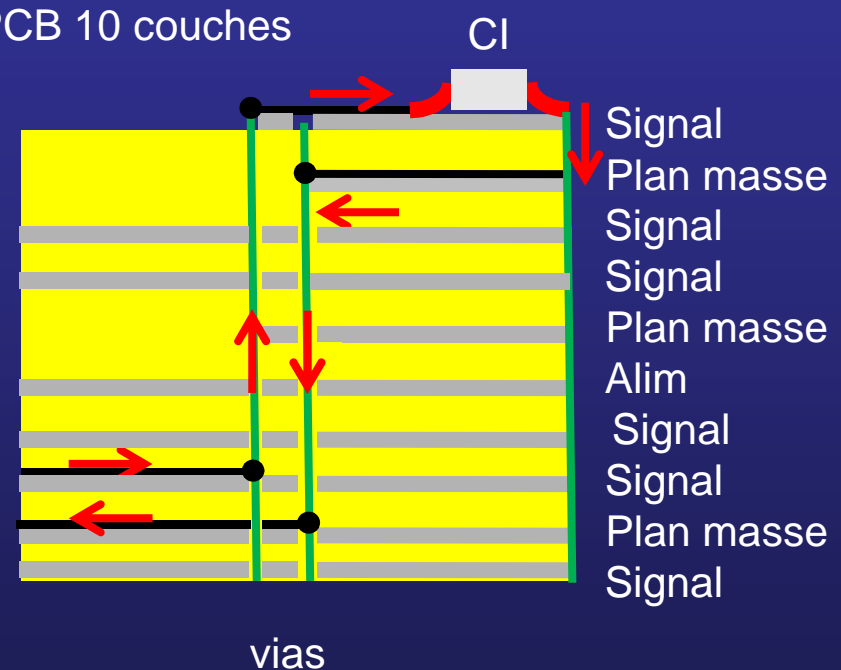


Le courant doit revenir !

- Aussi près que possible du chemin aller

- Dans un circuit imprimé, quand le signal traverse il faut également prévoir le retour du signal au plus près

PCB 10 couches



# Empilement des couches

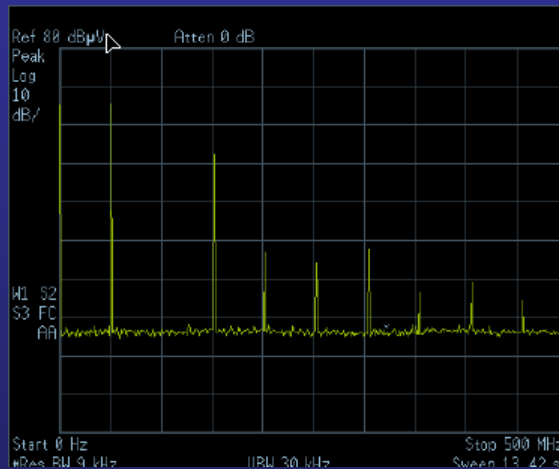
Exemple d'empilement de couches (10) d'un circuit imprimé



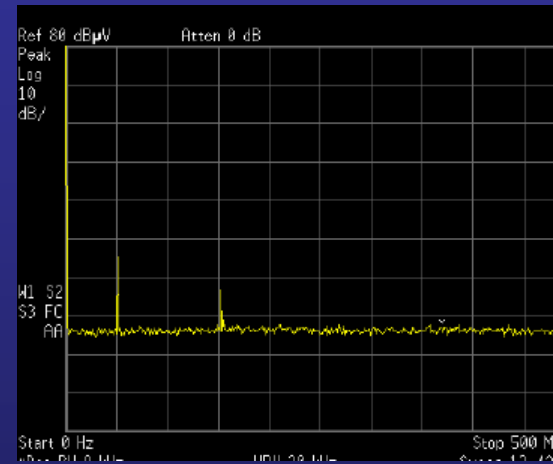
- Une couche signal proche d'un plan de masse est optimisée
- Les différents plans de masse sont interconnectés en de multiples points
- Un plan d'alim. doit être proche d'un plan de masse (augmentation de C)

# Exemple du rayonnement d'une horloge à 50MHz (tr/tf 4ns, Vp=3V)

Cas d'un circuit imprimé avec une piste de 10 cm



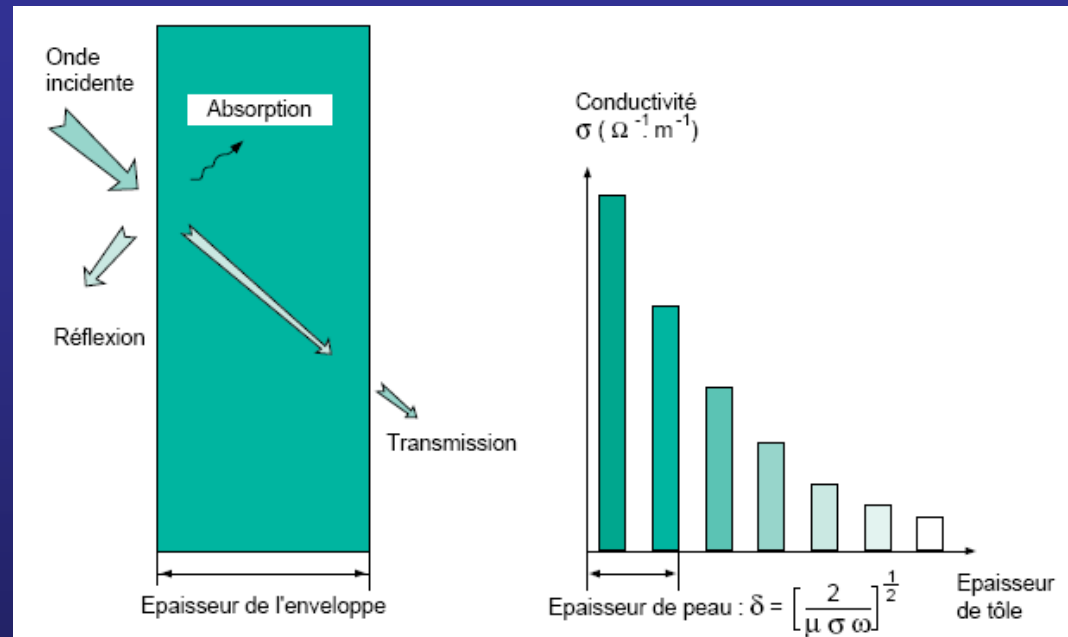
Sans plan de masse



Avec plan de masse

**Le plan de masse réduit l'émission (fondamental) de 40dB ! (100)**

# Les blindages de protection



Effet de peau

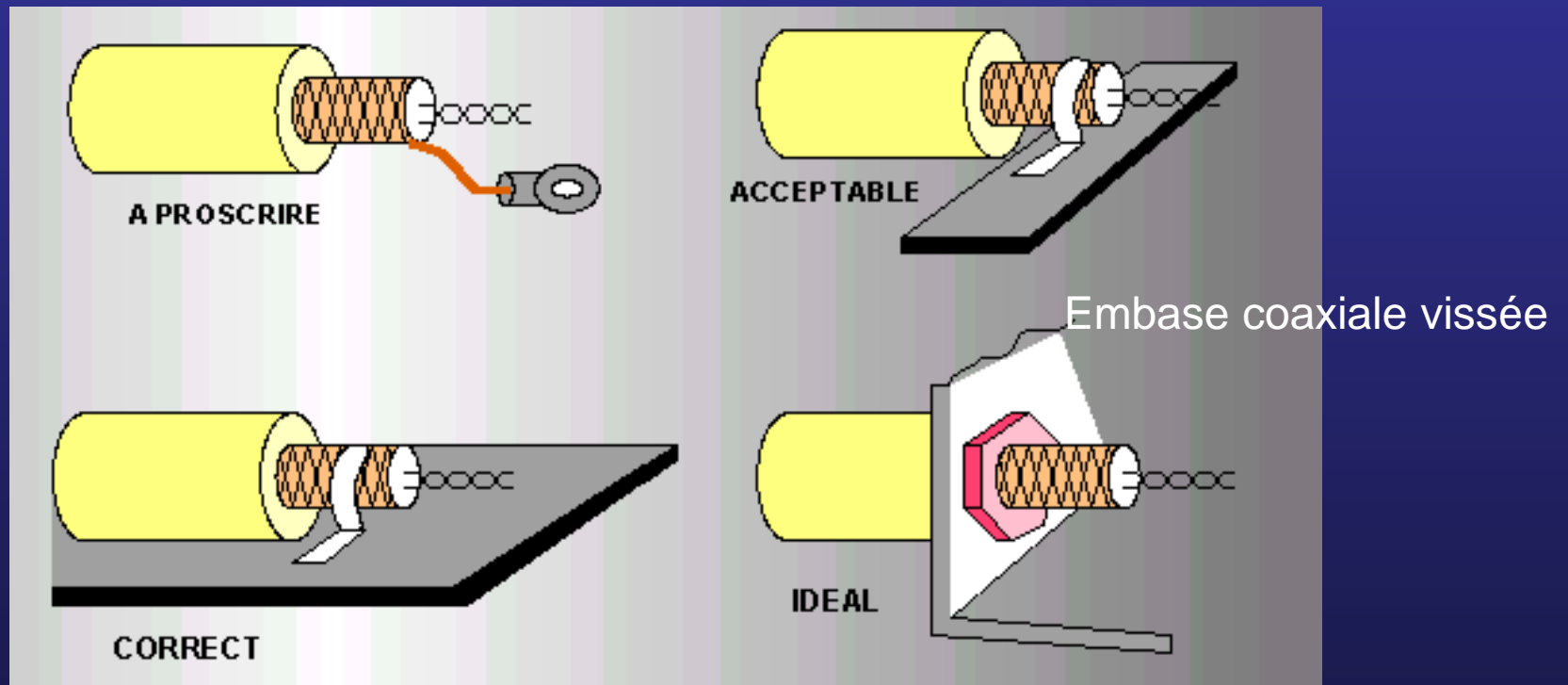
Le blindage doit être conducteur

Le champ magnétique est absorbé => **beaucoup de matière nécessaire**

Le champ électrique est réfléchi => **simple tôle suffi**

**Une fente dans un blindage ..... rayonne !**

# Raccordement des câbles blindés





# La foudre

En France : 1,1 millions de coups  
de foudre par an



# La foudre



- **Principaux risques :**
  - Destruction des matériels (20000 compteurs/an)
  - La réparation des lignes téléphoniques : 10M€/an

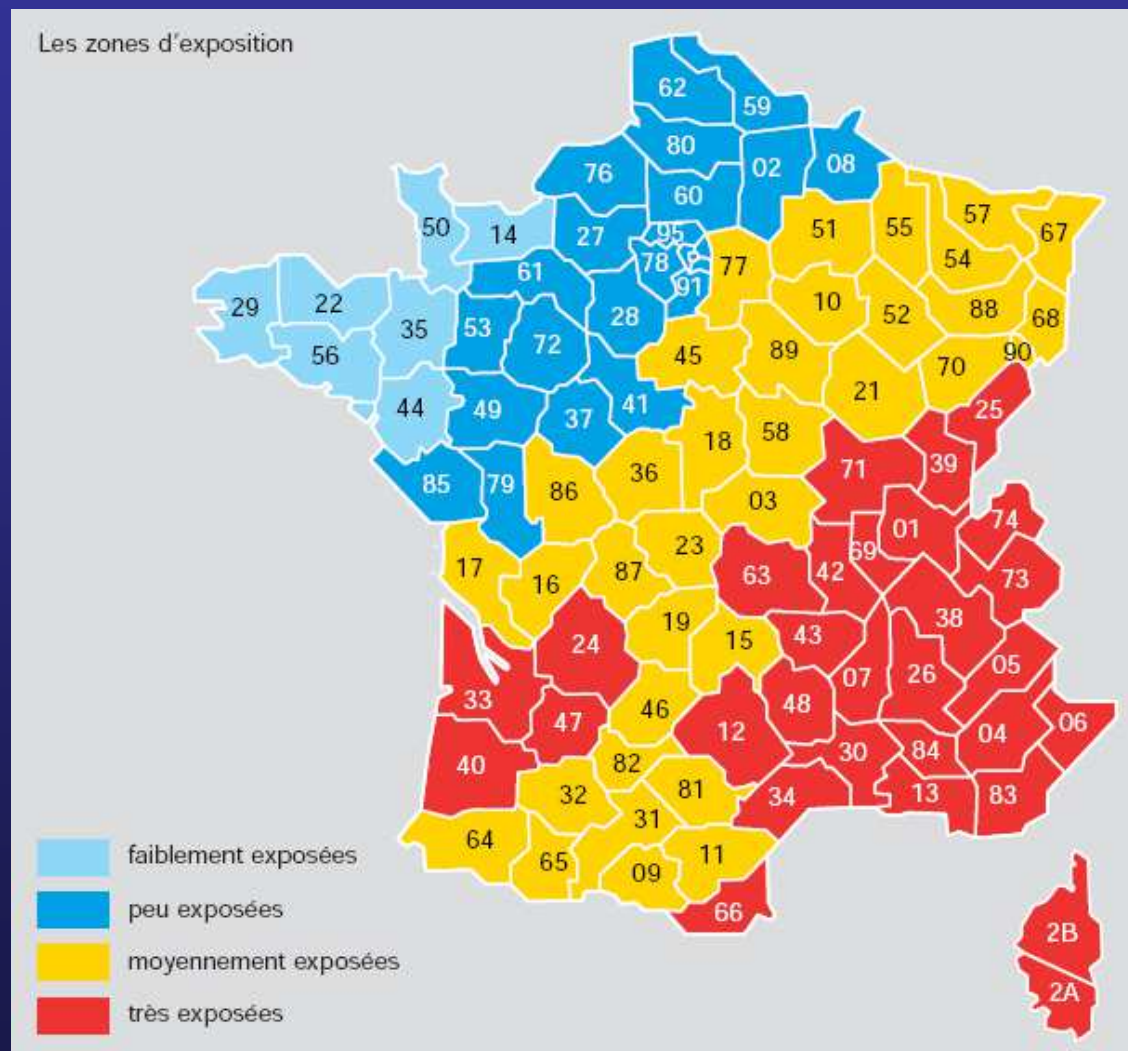
Mais il n'est pas rentable de protéger toutes les lignes.

- 40 personnes/an foudroyées (15 morts)
- Risque important lié au rayonnement

# La foudre



Obligation de se protéger  
dans les zones à risque



# La foudre

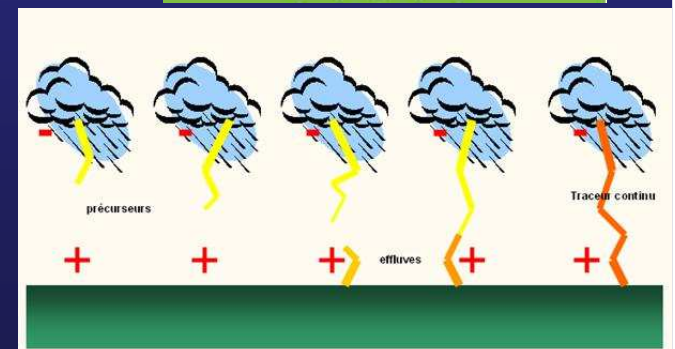
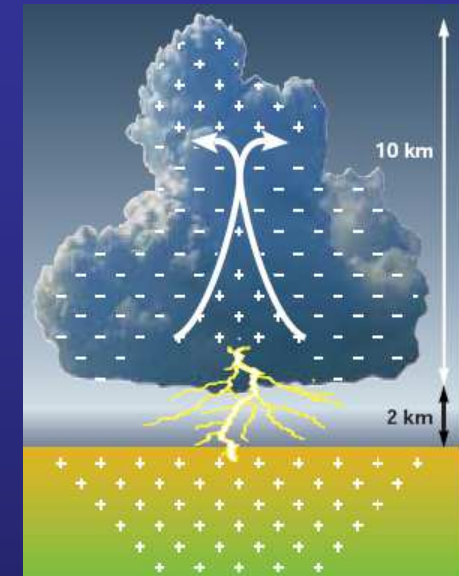
L'humidité du sol et la chaleur provoque un gros nuage : le cumulo-nimbus.

Des vents violents dans le nuage séparent les charges + et - comme dans une grosse machine électrostatique. Les charges positives migrent vers le sommet du nuage.

Au sol se concentrent des charges positives.

Quand le champ électrique est de l'ordre de 10 à 20 KV/m un précurseur descend du nuage vers le sol.

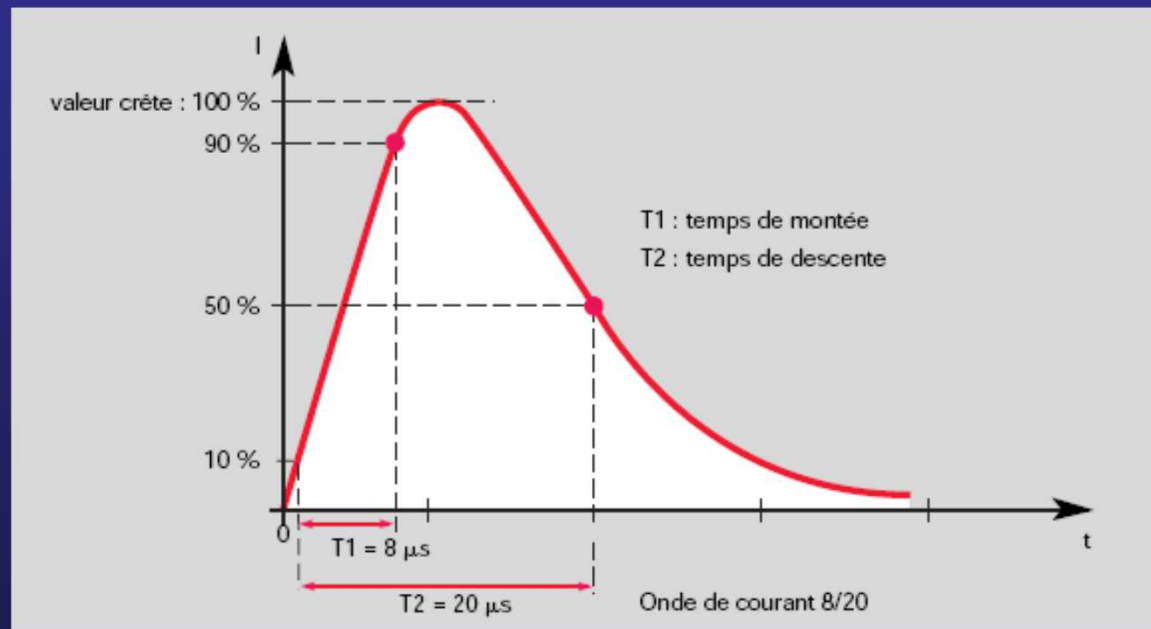
A quelques dizaines de mètres du sol un arc en retour monte du sol vers le nuage. Quand les 2 arcs se rejoignent c'est la décharge vers le sol. Le tonnerre est l'onde sonore qui accompagne la décharge.



# La foudre



Un courant très fort pendant un temps très court



# La foudre **Les effets directs**

- Au point d'impact
- Dus à l'écoulement du courant dans les éléments plus ou moins conducteurs :

**Électrocutions, incendies, destructions de matériel**



# La foudre Les effets indirects

## Par conduction

Une surtension  
>10KV peut créer  
un courant >1KA !



## Par rayonnement

Le champ rayonné va  
créer des surtensions  
dans toutes les boucles



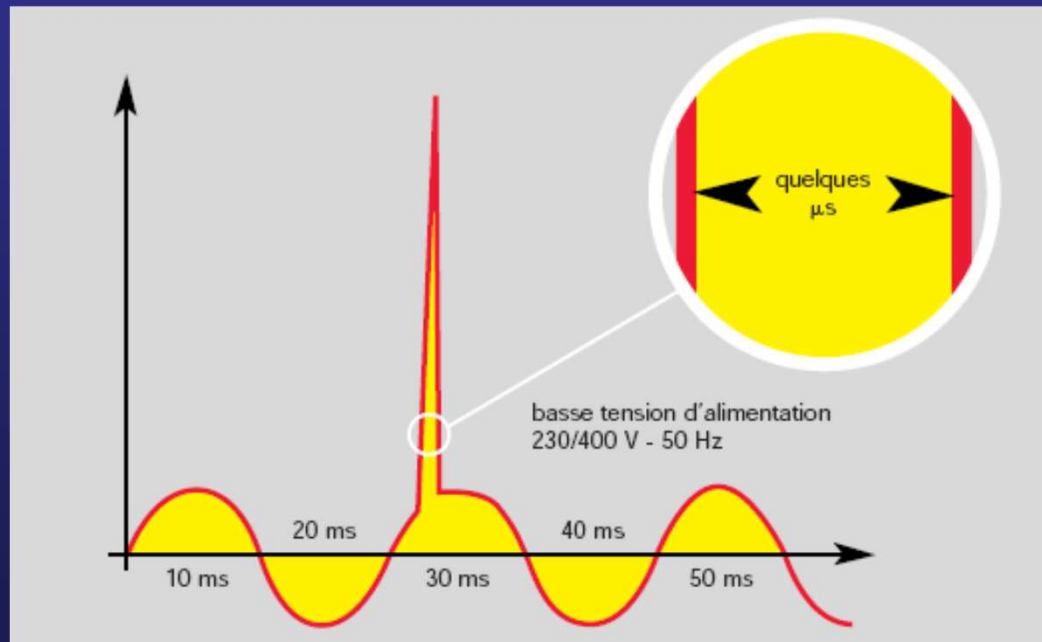
## Par montée du potentiel de terre

Les fils de terre  
peuvent s'élever en  
potentiel : >1000V



# La foudre

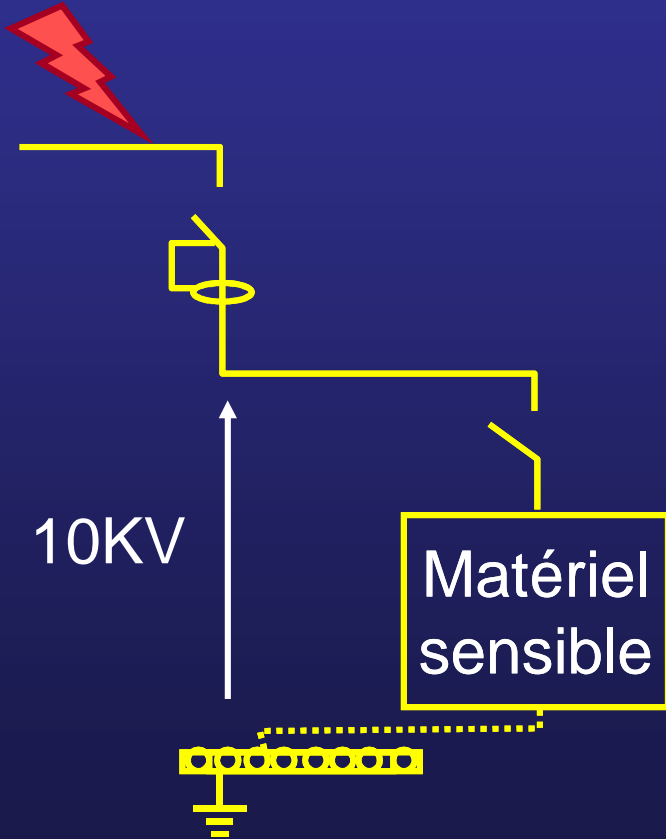
## Les surtensions transitoires...



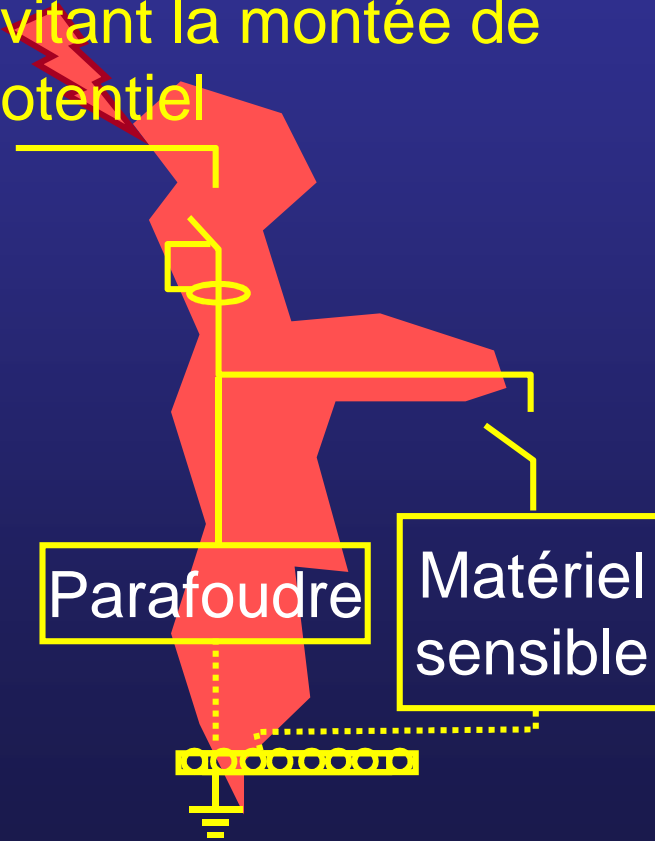


# La foudre

Sans parafoudre le matériel sera détruit



Le parafoudre protège le matériel sensible en évitant la montée de potentiel

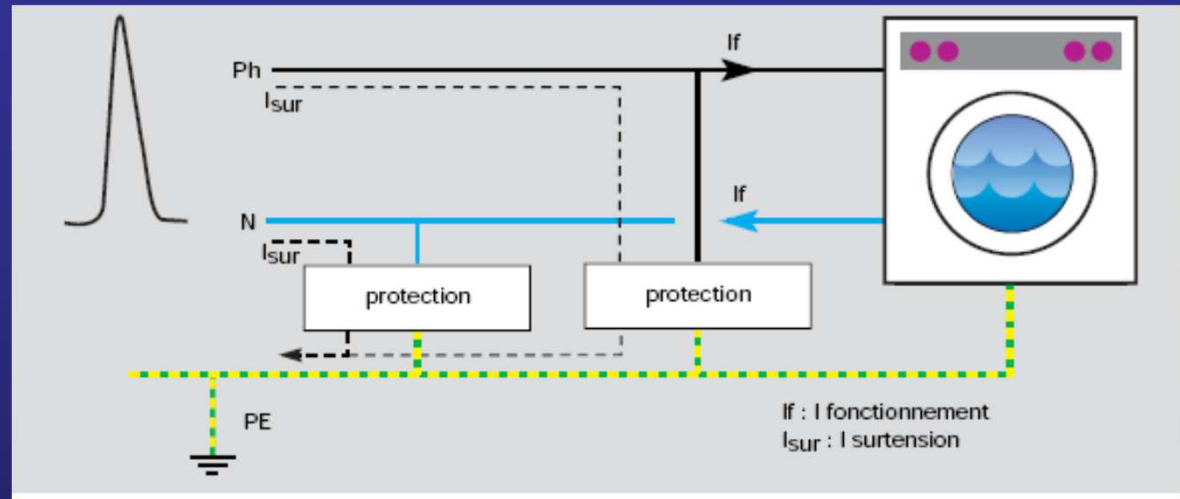


# La foudre

## Protection en mode commun

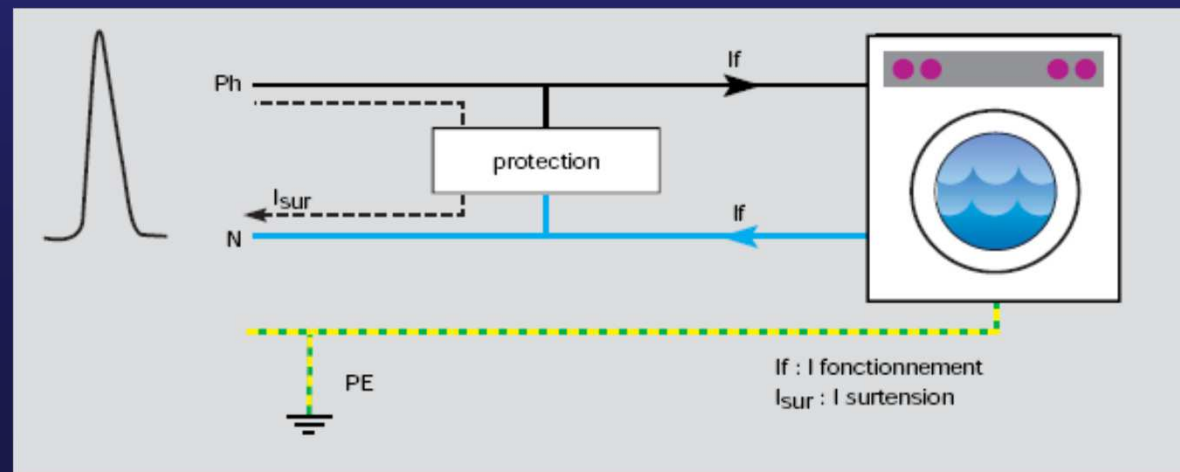
Entre phases et terre

Entre neutre et terre

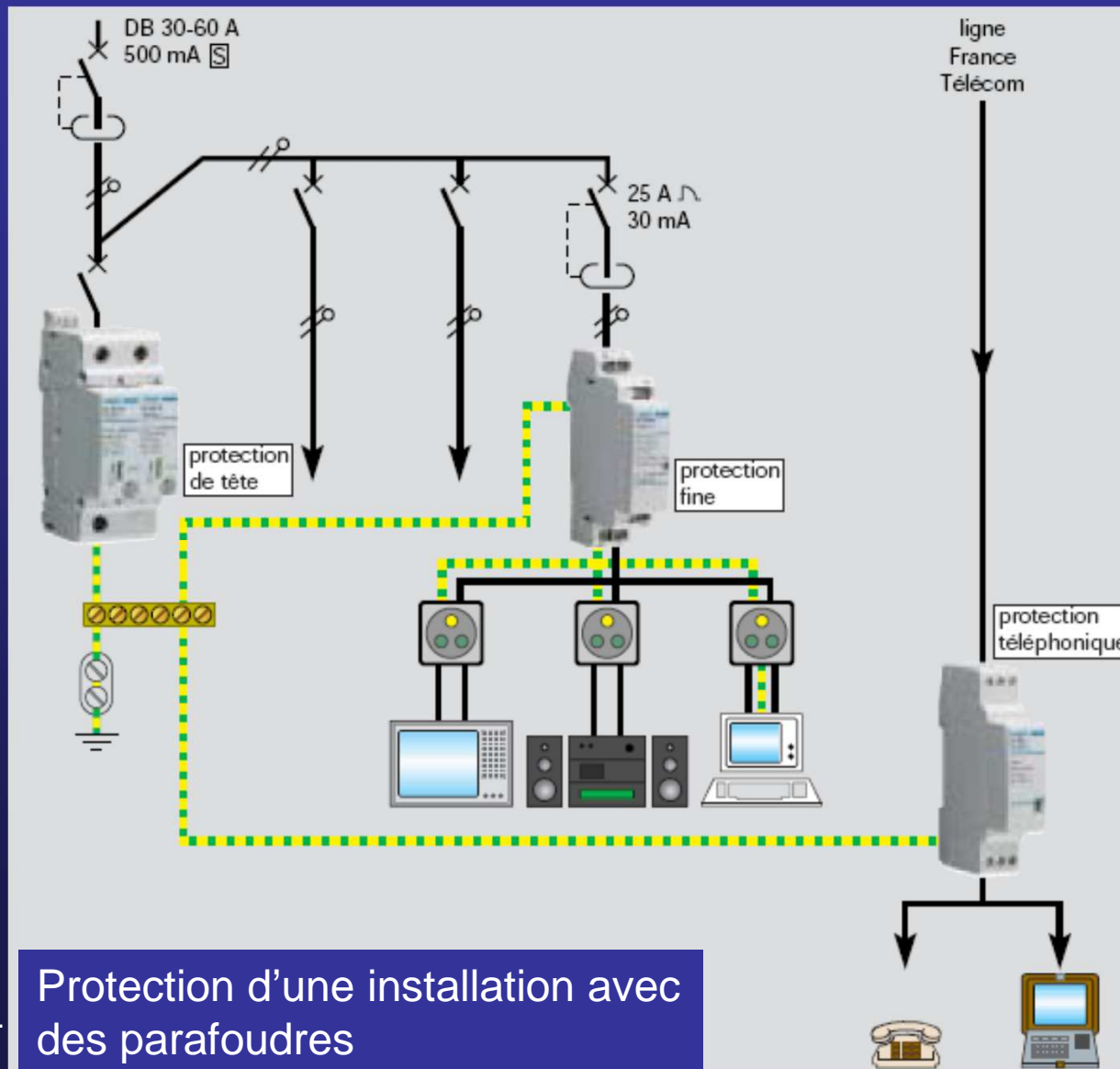


## Protection en mode différentiel

Entre phases et neutre



# La foudre



Protection d'une installation avec des parafoudres

# Quelques petits problèmes

- **Énergie d'un choc de foudre**

- Un choc de foudre de produit à  $h \sim 5\text{Km}$
- Le champ électrique statique moyen est de  $10\text{KV/m}$
- La charge totale  $Q$  de l'éclair est de  $50\text{ Coulombs}$
- Il y a environ **1,5 millions de chocs de foudre par an** en France (soit un choc toutes les 20 secondes)

DDP entre nuage et sol :  $U = E.h = 10^4 \times 5 \times 10^3 = 50\text{MV}$

Capacité équivalente :  $C = \frac{Q}{U} = \frac{50}{50 \times 10^6} = 1\mu\text{F}$

Énergie stockée dans ce condensateur :  $W = \frac{1}{2}CU^2 \approx 10^9\text{ Joules}$

Puissance moyenne dissipée par la foudre :  $P = \frac{W}{T} = \frac{10^9}{20} = 50\text{MW}$

# Quelques petits problèmes

- La tension de pas

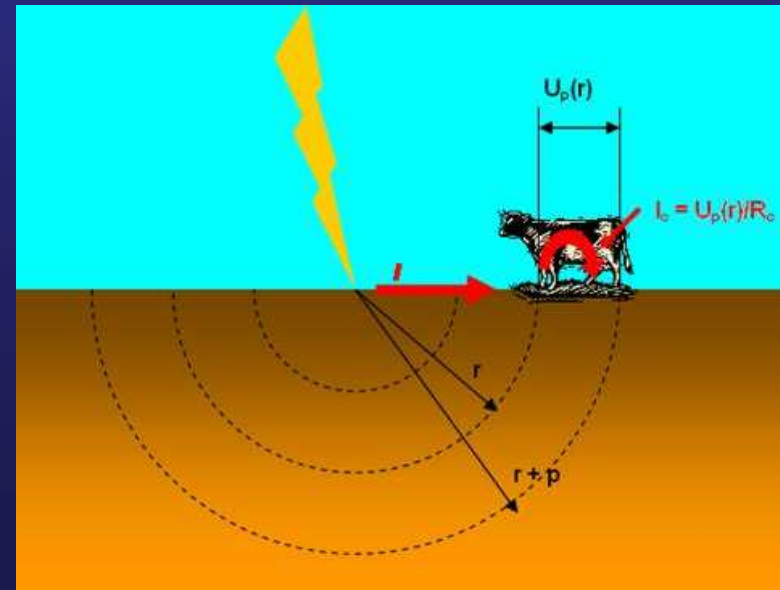
Quelle est la DDP entre les pattes d'une vache qui broute à 100 m du point d'impact d'un choc de foudre de 25KA ? (la résistivité du sol est ~ de 1000 ohms.m).

D'après le théorème d'Ampère :  $U = \frac{0.2 \times I \times \rho}{r}$

$$U_{100} \approx \frac{0.2 \times 25 \times 10^3 \times 10^3}{100} = 50000 \text{ Volts}$$

$$U_{101} \approx \frac{0.2 \times 25 \times 10^3 \times 10^3}{101} = 49500 \text{ Volts}$$

$$U = U_{100} - U_{101} = 500 \text{ Volts}$$



# Fin

Merci !