

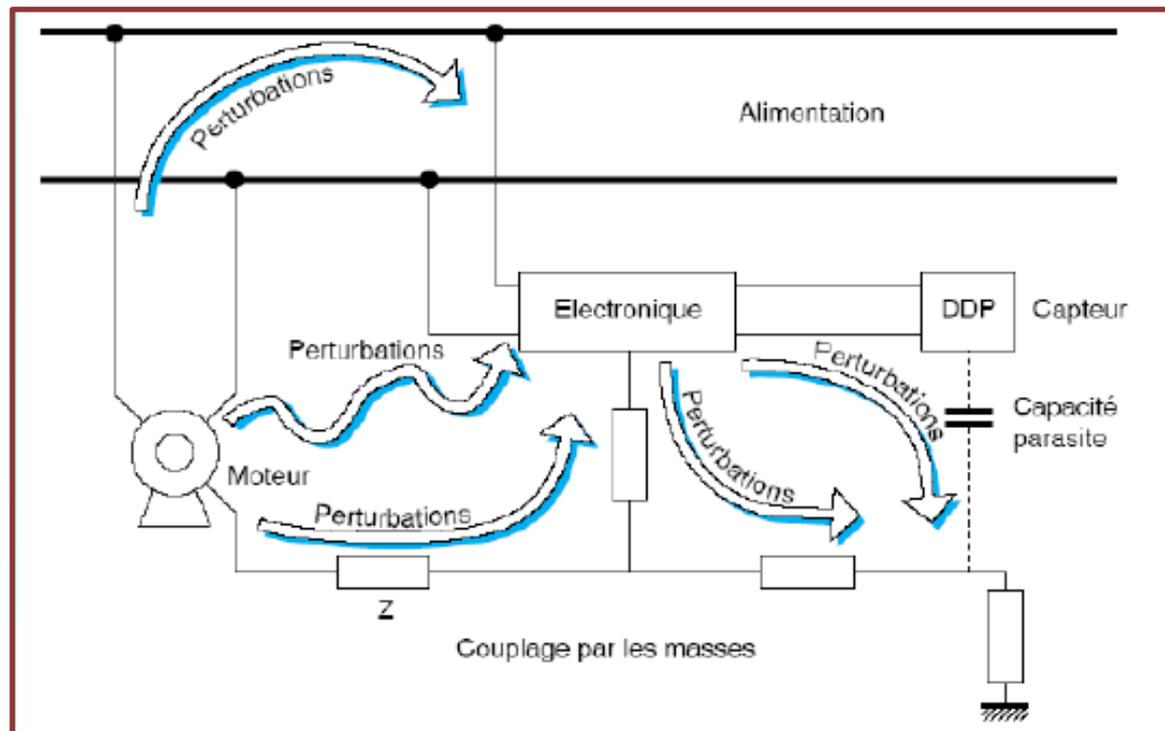
# Chapitre III: Modes de couplages

## Couplage des perturbations

- On appelle couplage le processus ou chemin (mode de propagation) par lequel l'énergie du perturbateur atteint la victime.
- Le couplage est caractérisé par un coefficient  $k$  dit de couplage, exprimé en dB (-75 dB par exemple), pouvant être défini comme l'efficacité de transmission d'une perturbation de la source à la victime potentielle  
( $k = 20 \log [A_{\text{reçue}}/A_{\text{émise}}]$ , avec  $A$  amplitude de la perturbation).
- Définir ce coefficient est important dans la connaissance de la CEM, car plus la perturbation effectivement reçue par la victime potentielle est faible, meilleure est la CEM.

# Couplage des perturbations

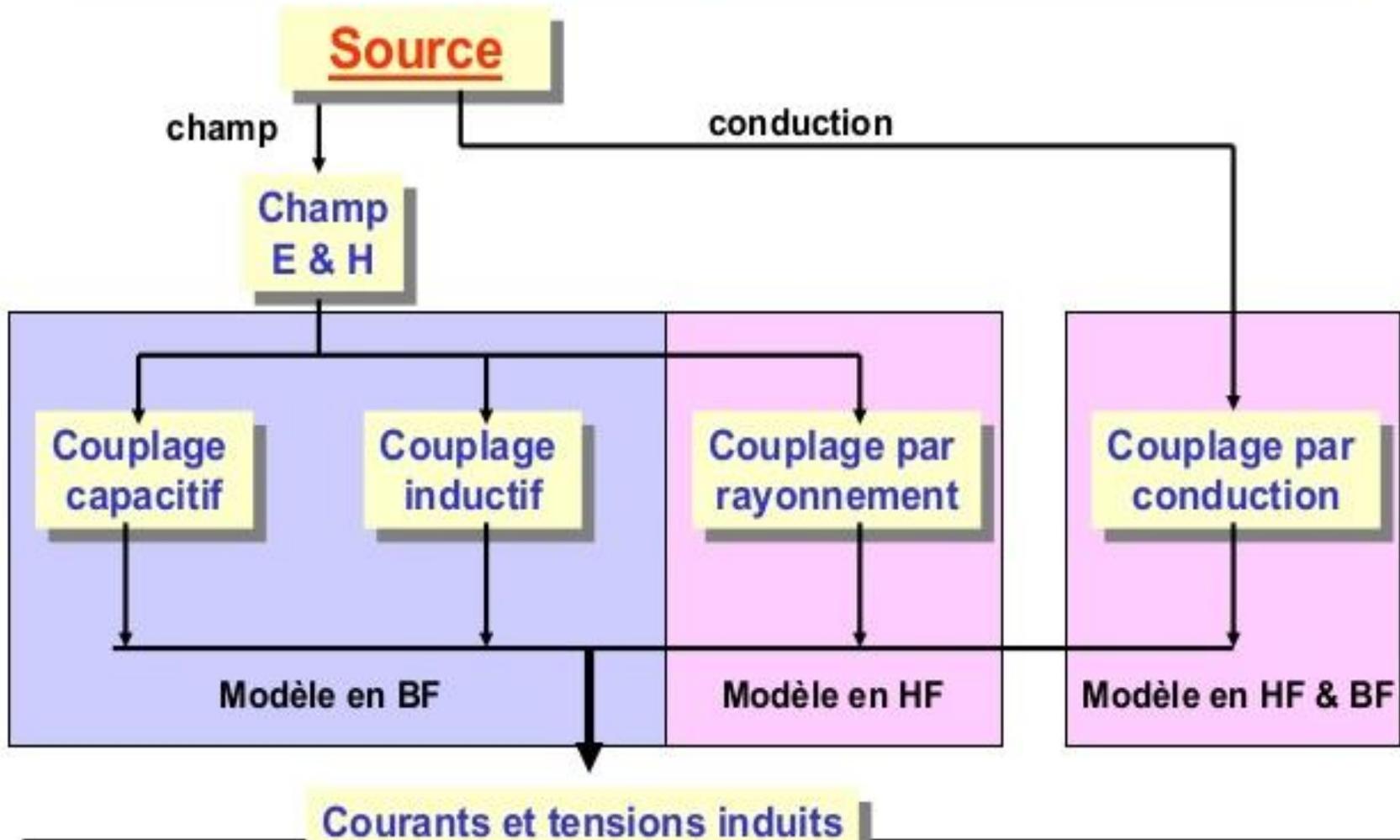
- Ces différents modes de couplage agissent **simultanément**
  - le classement par modes de couplage facilite la compréhension et l'analyse



- Tous ces couplages n'existent qu'en régime impulsionnel ou sinusoïdal
  - Seul le couplage par conduction existe également en courant continu (DC)

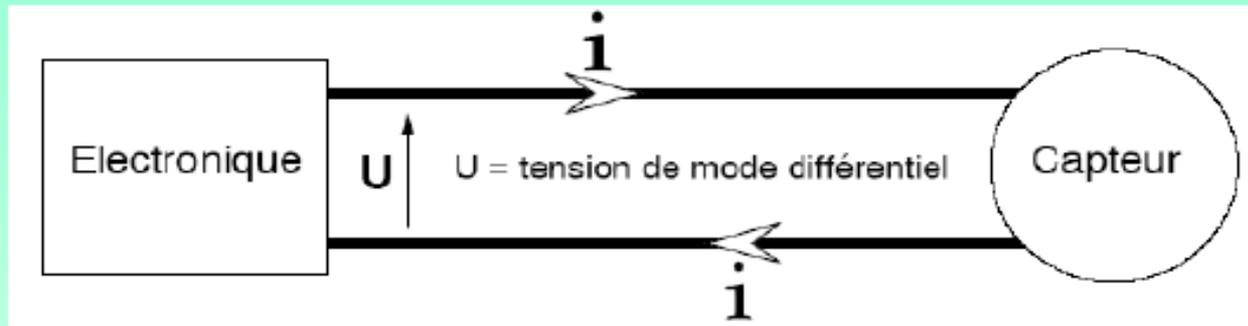
# Couplage des perturbations

## Mode de couplage en resumé :



# Propagation en mode différentiel

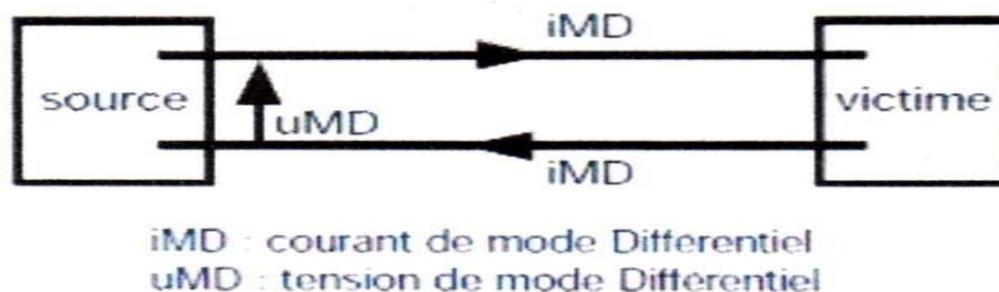
- Les courants ont deux modes de propagation dans les circuits bifilaires
  - mode différentiel
    - le courant se propage sur l'un des conducteurs, passe à travers l'appareil, et revient à la source par un autre conducteur



- c'est le mode normal de fonctionnement d'une liaison électrique
  - il est difficile de filtrer une perturbation en mode différentielle si le signal utile est aussi rapide que la perturbation
  - il faut donc éviter que ce mode de couplage puisse se produire
- ce mode de couplage se produit par exemple
  - lorsque la perturbation est superposée à une alimentation (harmoniques)
  - lorsque la perturbation crée un courant supplémentaire dans la boucle

## Propagation en mode différentiel

- Soient deux conducteurs connectés à un appareil électrique ou électronique. On dit qu'une tension est appliquée en mode symétrique (ou différentiel) à cet appareil si la tension est présentée entre les deux conducteurs.
- Par exemple, la tension d'alimentation du secteur est appliquée en mode différentiel.
- Si on considère le câble constitué par l'ensemble des deux conducteurs, la somme algébrique des courants dans ce câble est nulle, puisqu'il y a un courant "aller" dans le premier conducteur, et un courant "retour" de même intensité, mais opposé, dans le second conducteur.

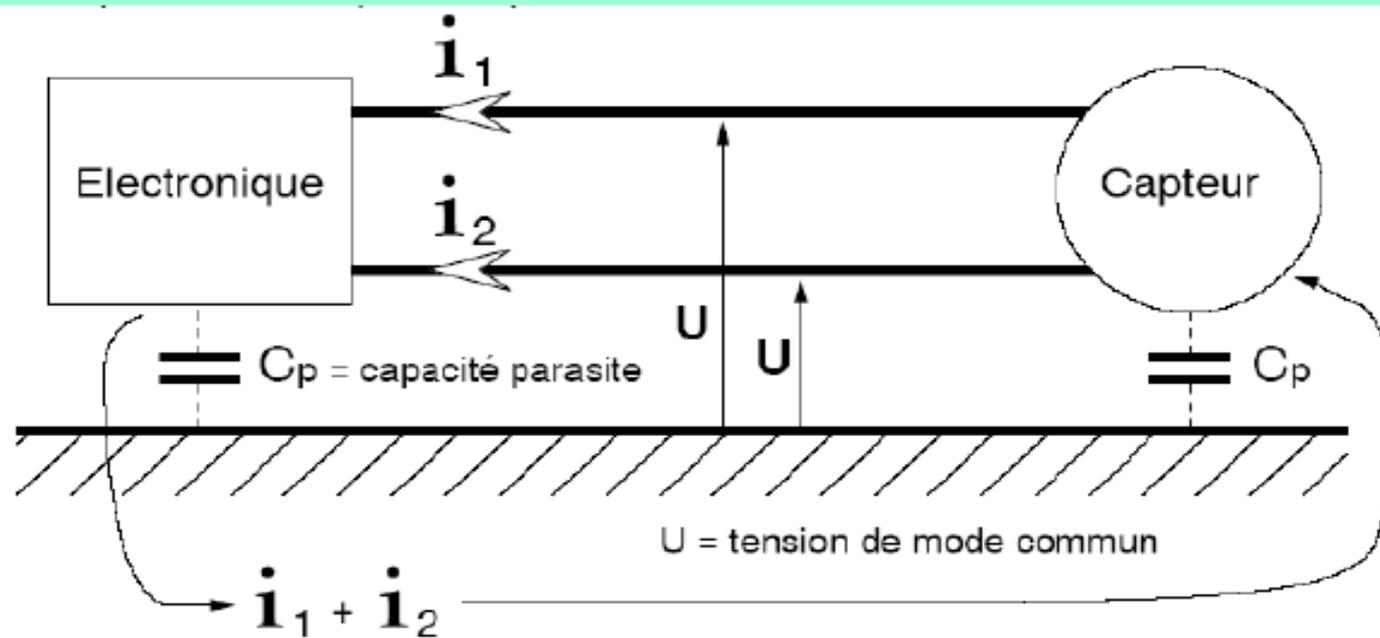


**Figure . Principe de la propagation par mode différentiel**

- Pour éviter les problèmes de CEM, il suffit que les deux conducteurs soient suffisamment proches. Le courant se propage sur l'un des conducteurs, traverse l'appareil victime, en le polluant et revient sur l'autre conducteur en sens inverse.

## Propagation en mode commun

- Les courants ont deux modes de propagation dans les circuits bifilaires
  - mode commun
    - le courant se propage sur tous les conducteurs dans le même sens et revient par la masse, par exemple via les capacités parasites

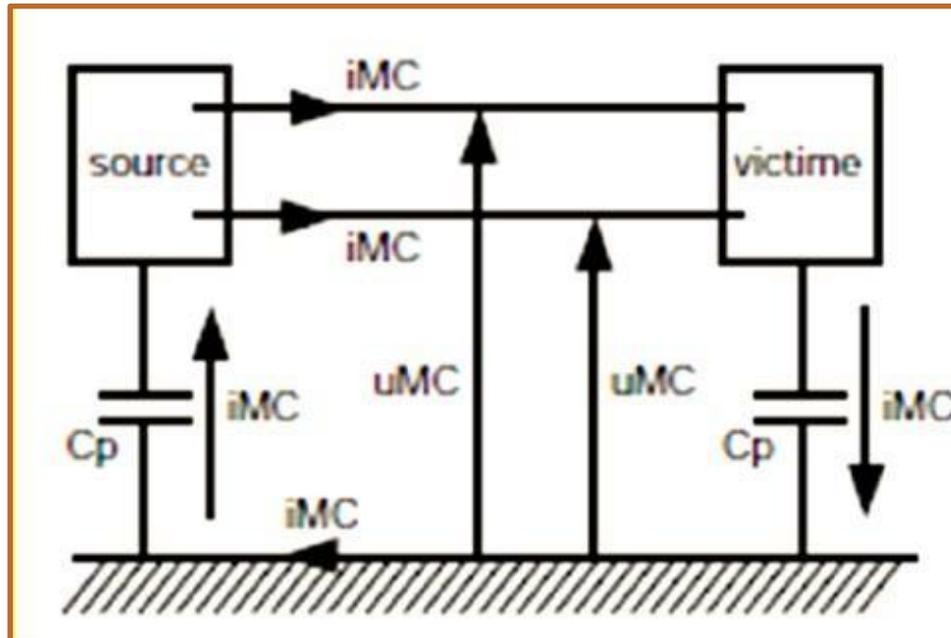


- c'est le cas le plus fréquent de transmission des perturbations
  - par exemple pour les câbles, car le fil de signal et le fil de retour sont proches et reçoivent la même perturbation

## Propagation en mode commun

- La propagation d'une perturbation en mode commun est considérée par la plupart des ingénieurs en compatibilité électromagnétique comme le principal problème de la CEM !
- Soit un câble constitué de plusieurs conducteurs, connecté à un appareil électrique ou électronique. Supposons que des champs électromagnétiques extérieurs induisent un courant parasite dans l'ensemble des conducteurs de ce câble. Ce courant entre dans l'appareil victime par ce câble.
- Remarquons que dans le mode différentiel, il existait dans le câble un conducteur pour le courant «aller» et un conducteur pour le courant «retour».
- Ce n'est pas le cas ici: le champ électromagnétique a induit des courants en phase dans tous les conducteurs du câble. Le courant se propage donc, en phase sur tous les conducteurs et se reboucle par les circuits de masse via les capacités parasites ( $C_p$ ).

# Propagation en mode commun

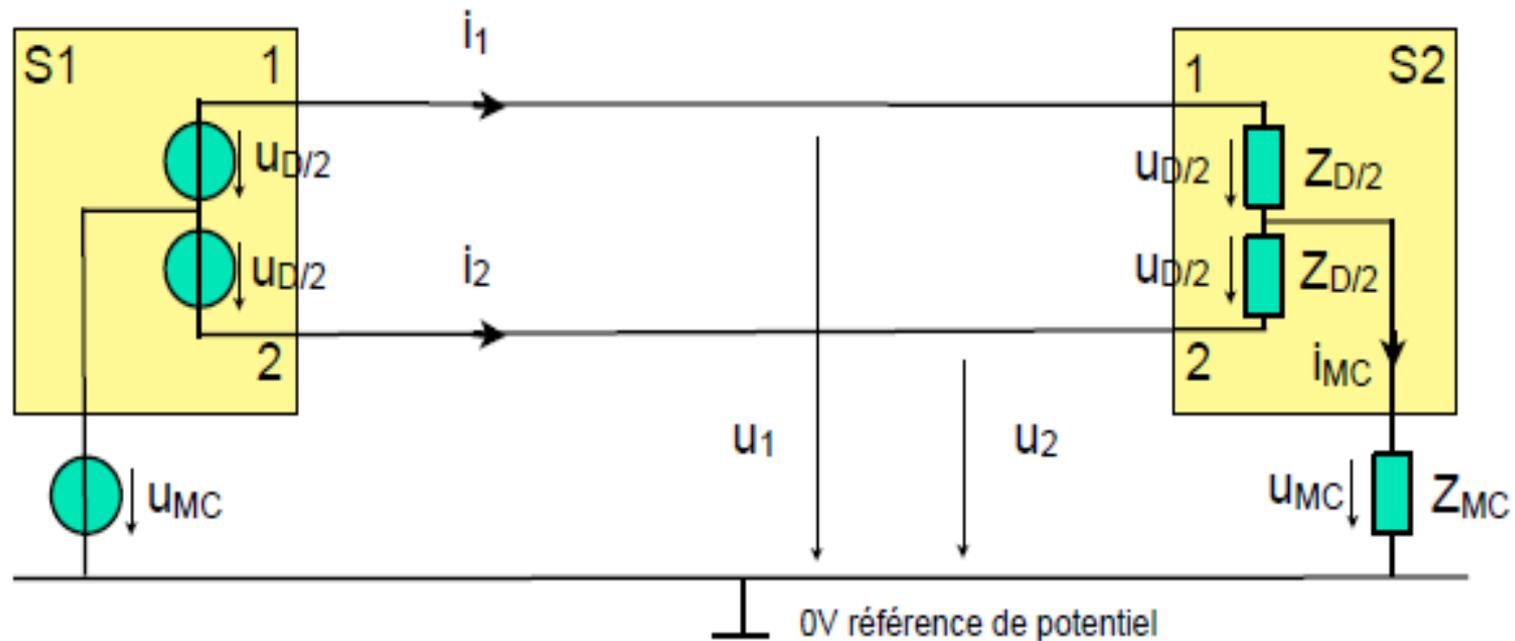


$i_{MC}$  : courant de mode commun     $u_{MC}$  : tension de mode commun

Figure . principe de la propagation par mode commun

- Puisque ce courant est "entré" dans l'appareil, il va nécessairement en ressortir :
  - par d'autres câbles de l'appareil, s'ils existent.
  - par un conducteur de "terre", s'il existe,
  - par la capacité entre l'appareil et la «terre», qui existe toujours.

## Propagation en mode commun et différentiel



La source de tension  $u_{MC}$  est chargée avec l'impédance  $Z_{MC}$  uniquement.

$$\begin{aligned} u_D &= u_1 - u_2 & u_{MC} &= \frac{u_1 + u_2}{2} \\ i_D &= \frac{i_1 - i_2}{2} & i_{MC} &= i_1 + i_2 \end{aligned}$$

# Couplage par impédance commune

- Couplage par les câbles

- Les perturbations captées par un fil sont conduites à l'intérieur de l'appareil

- Couplage par impédance commune

- Ce couplage est réalisé par une **impédance commune  $Z$**

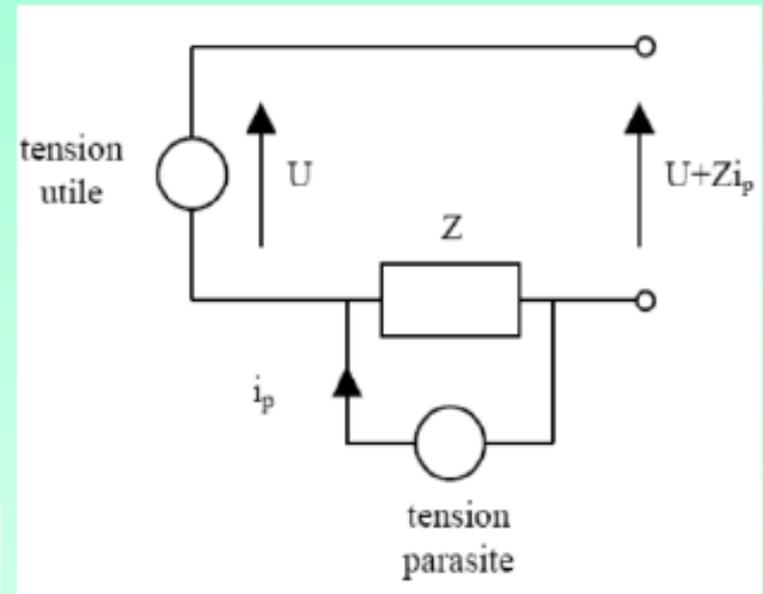
- au circuit coupable
- au circuit victime

- Pour réduire cette action, on peut

- diminuer la tension parasite
- diminuer l'impédance commune

- Le couplage est dû à la **présence d'un circuit commun entre différents appareils**

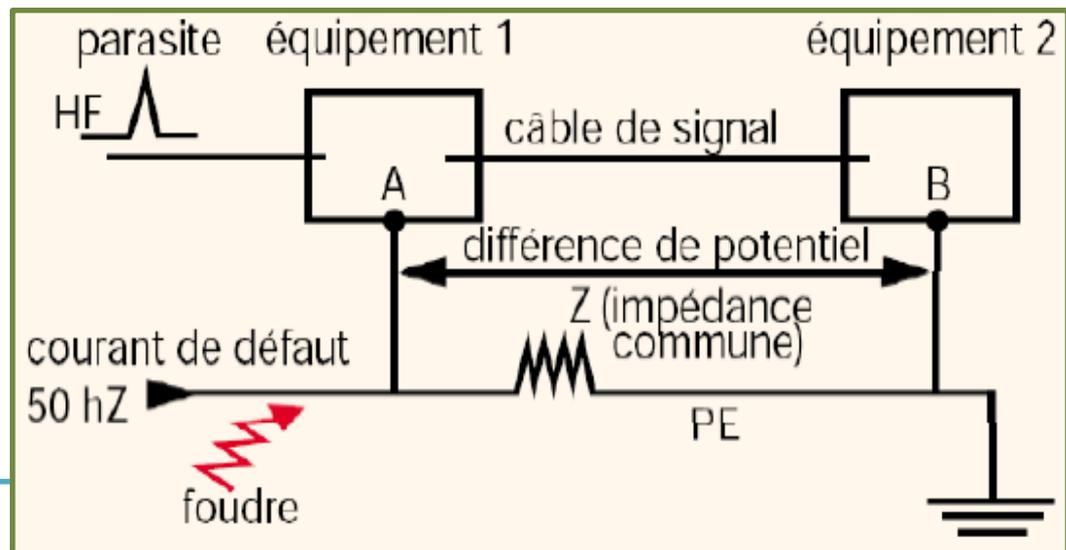
- le circuit d'alimentation
- le circuit de masse
- le réseau de protection PE, PEN



# Couplage par impédance commune

- Comme son nom l'indique, le couplage par impédance commune résulte de la présence d'une impédance commune à deux ou plusieurs circuits, cette impédance commune peut être la liaison de masse, le réseau de terre, le réseau d'alimentation, etc.
- Aux bornes de cette impédance commune se trouve une tension générée par le courant passant dans le circuit perturbateur, Comme cette impédance est également présente dans le circuit de la victime, cette victime subie cette tension parasite.
- Exemple: deux appareils sont branchés sur le réseau 230V : un perturbateur qui génère des tensions parasites sur la tension du réseau, et une victime qui utilise la tension du réseau, et qui récupère en même temps cette tension parasite.

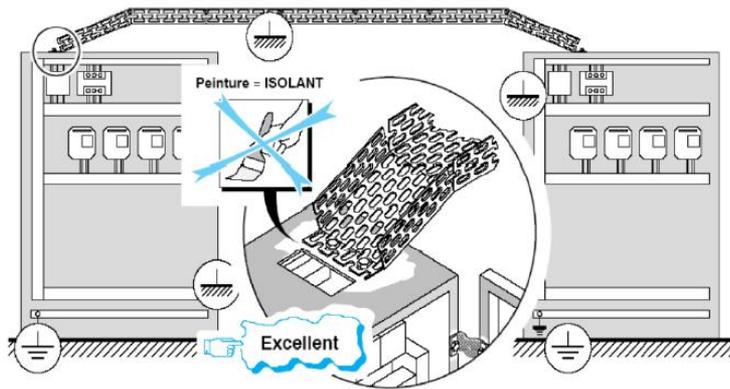
**Figure : Couplage par impédance commune**



# Couplage par impédance commune

- La figure montre que lorsque des courants (haute fréquence, de défaut 50 Hz, foudre) circulent dans des impédances communes  $Z$ ; les deux équipements vont être soumis à une différence de potentiel ( $V_A - V_B$ ) indésirable (risque pour les circuits électroniques bas niveau). Tous les câbles, y compris le PE, présentent une impédance qui augmente avec la fréquence.
- ***Nota : Un câble rond quelle que soit sa section est équivalent à une inductance de  $1 \mu\text{H}/\text{m}$ .***
- **Remèdes:**  
Réduction de l'impédance commune par:
  - maillage des circuits communs,
  - liaison des chemins de câble métallique,
  - utilisation de câbles blindés reliés des deux côtés,
  - utilisation de tresses plates (liaisons larges et courtes),
  - filtre haute fréquence.

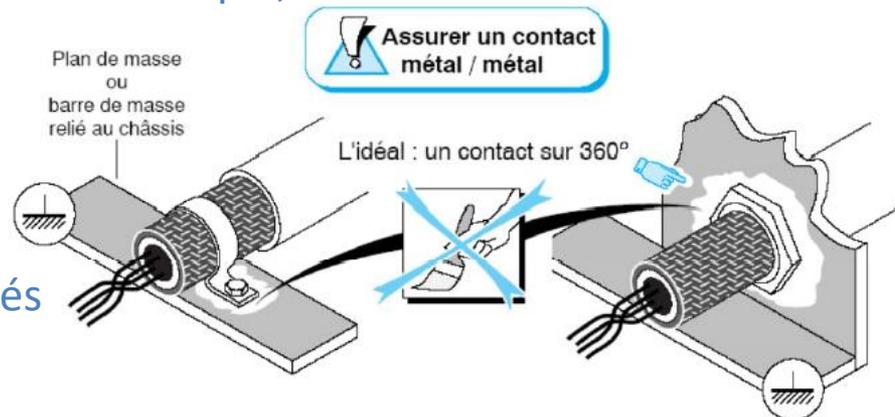
# Couplage par impédance commune



liaison des chemins de câble métallique,

utilisation de tresses plates

utilisation de câbles blindés



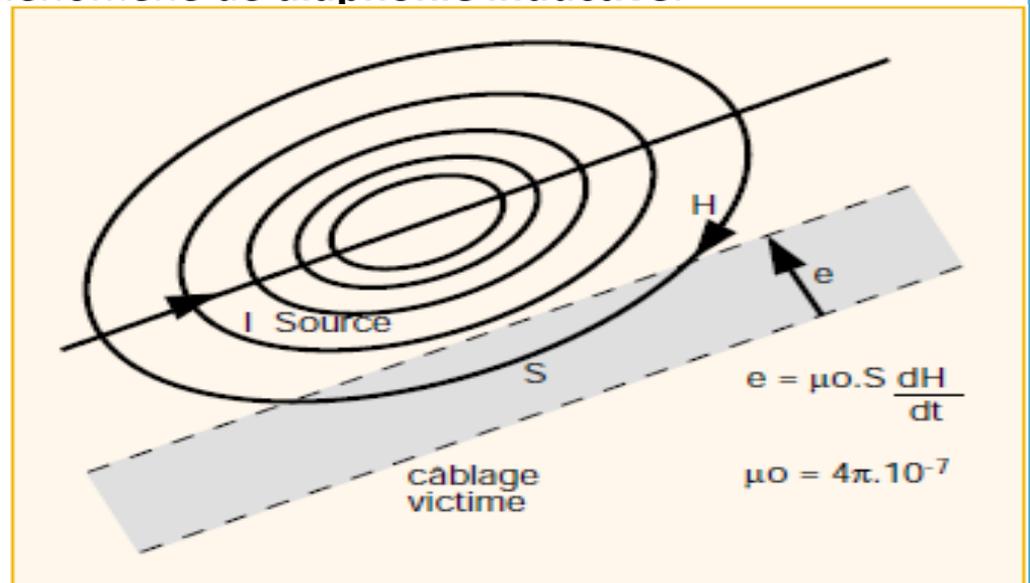
## Couplage magnétique (diaphonie inductive)

Nous avons sur un circuit perturbateur un courant susceptible de produire des perturbations.

Le courant  $i$  circulant dans un fil génère un champ magnétique autour de celui-ci. Si ce champ est variable, il induit une tension perturbatrice  $e$  dans les boucles voisines (victimes) :  $e = -L di/dt$  (loi de Lenz),

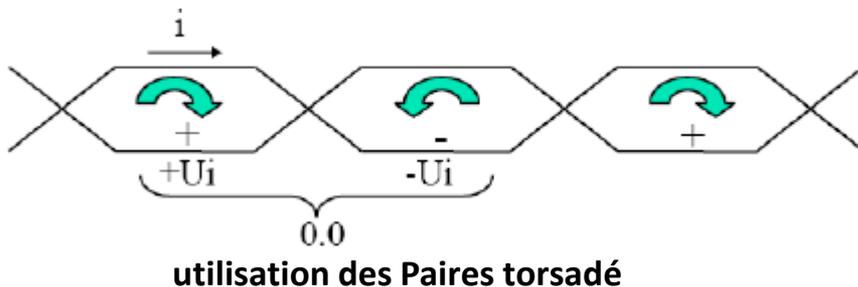
$L$  est l'inductance mutuelle entre les deux circuits et  $di/dt$  la vitesse de variation du courant, donc du champ. C'est le phénomène de **diaphonie inductive**:

Figure . Couplage par diaphonie inductive



## Couplage par champ magnétique (Champ à boucle)

- Remarquons là aussi l'existence d'un deuxième cas, **le couplage par champ magnétique**, de même nature que le couplage inductif cité auparavant.
- Au lieu d'identifier le perturbateur lui-même, on identifie ici le champ magnétique qu'il a généré.
- **Exemple:** foudre, four à induction...
- **Remèdes:**
  - Diminuer le courant émetteur
  - réduction des surfaces de boucle de câblage
  - Torsadage des câbles de nature identique



## Couplage électrique ou capacitif

- Dans ce cas, nous avons sur un circuit perturbateur une tension susceptible de produire des perturbations. Il existe aussi un autre circuit qui sera la victime.
- Ces deux conducteurs étant proches, il existe une capacité entre eux, responsable du couplage.
- Par cette capacité, de l'énergie électrique perturbatrice atteint le circuit victime.
- On distingue deux cas:

# Diaphonie capacitive

Une variation brutale de tension  $V_1$  entre un fil et un plan de masse ou entre deux conducteurs, génère un champ électrique variable. Celui-ci injecte à son tour un courant  $i$  sur le conducteur voisin par effet capacitif. On récupère donc une tension  $V_2$  sur le câble victime.

La diaphonie capacitive est un couplage par champ électrique.

La transmission de perturbations entre deux câbles se fait par capacité parasite  $C_p$ .

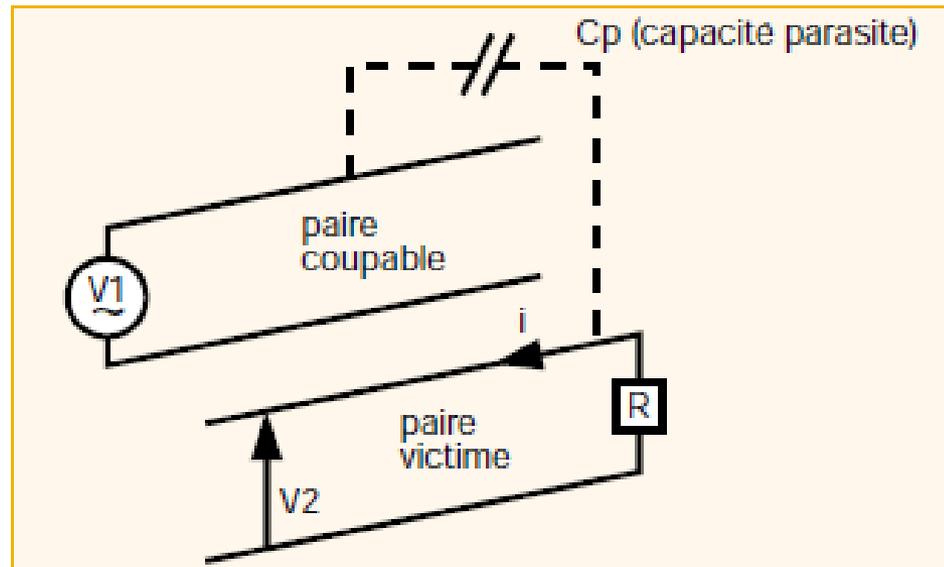
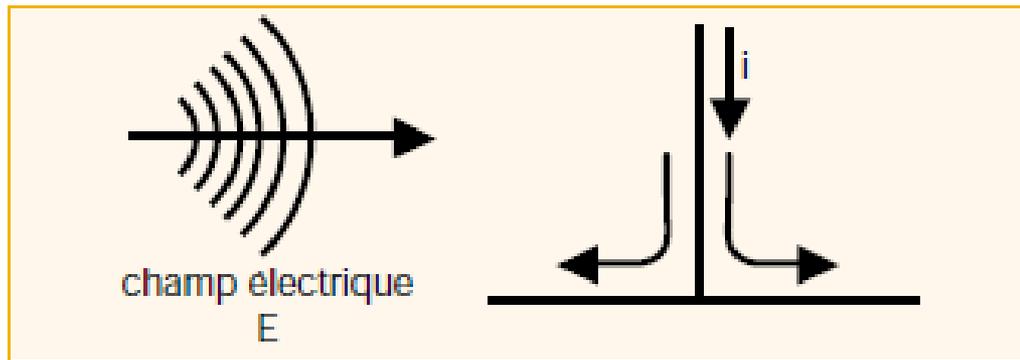


Figure . Couplage par diaphonie capacitive

## Couplage champ à câbles

- Lorsque le conducteur est soumis à un champ électrique variable (talkie-walkie, GSM, manœuvre d'appareillage, radar...), un courant  $i$  est induit sur ce conducteur.



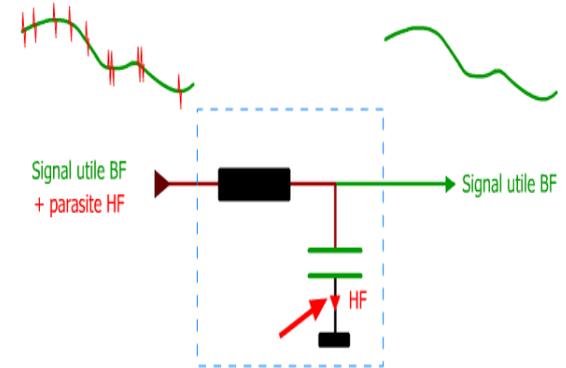
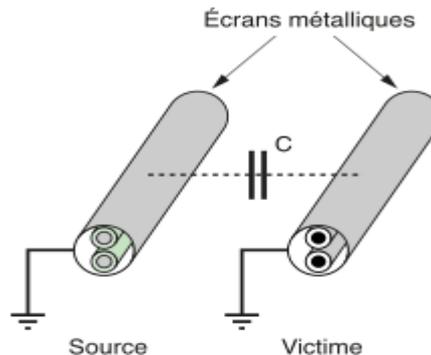
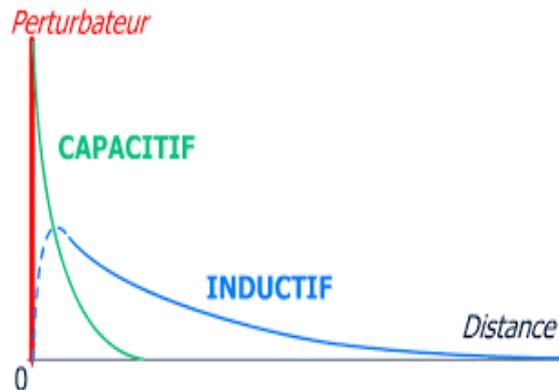
*Figure . Couplage capacitif champ / câble*

- La différence avec la diaphonie capacitive est due au fait que le perturbateur est plus éloigné, au lieu d'identifier le perturbateur lui-même, on identifie le champ électrique qui en est issu.
- **Exemple:** le champ électrique impulsionnel issu d'une bougie d'allumage de moteur atteint l'antenne d'un récepteur auto-radio.

# Couplage champ à câbles

- **Remèdes:**

- éloignement source/victime,
- plaquer les câbles victimes près des structures métalliques (chemin de câble, conduit métallique...) évitant les phénomènes d'antenne,
- ajouter des câbles d'accompagnement de masse,
- blinder les câbles victimes en soignant le raccordement à la masse des deux côtés,
- filtrage haute fréquence ou ferrites sur le câble victime.



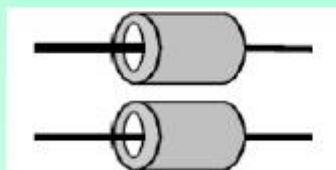
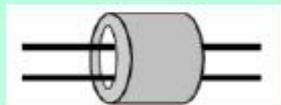
Dans tous les cas, l'augmentation de la distance entre bourreau et victime potentielle réduit la transmission.

Il est important de dépasser  $\lambda / 2\pi$  lorsque l'on appose aucun écran pour ne pas subir de couplage capacitif, le plus violent à haute fréquence...

# Ferrites

## ■ Les Solutions : Les câbles avec blindage ferrite (ou métallique et ferrite)

Le blindage ferrite est constitué d'un élastomère chargé de poudre de ferrite. Son efficacité en mode commun est bonne en HF (à partir de 10 ou 20 MHz). Une tresse ou un feuillard métallique épais peut être utilisé comme deuxième blindage, si nécessaire, pour arrêter les champs BF



*Protection du mode commun    Protection du mode différentiel*

