

Plan de l'exposé

Couplages des perturbations

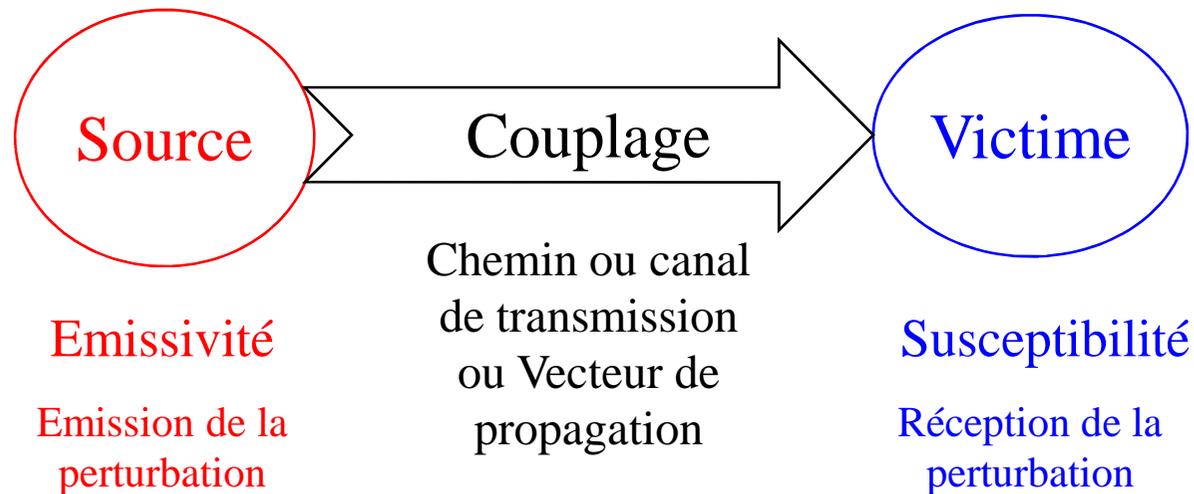
1. Acteurs de la CEM
2. Modes de couplages
 - 2.1. Mode commun
 - 2.2. Mode différentiel
3. Types de couplage
 - 3.1. Couplage par conduction
 - 3.1.1. Couplage par liaison directe
 - 3.1.2. Couplage par impédance commune
 - 3.2. Couplage par rayonnement
 - 3.2.1. Champs réactif, proche et lointain
 - 3.2.2. Champ proche – Régime quasi-stationnaire –
 - a. Couplage inductif
 - b. Couplage capacitif
 - 3.2.3. Champ lointain – Effet d'antenne –
 - 3.3. Couplage par ionisation

Acteurs de la CEM

La CEM concerne la génération, la transmission et la réception de l'énergie électromagnétique. Une source produit une émission et un canal de transfert ou de couplage communique l'énergie au récepteur. Quand ce processus est désirable, il s'agit d'un fonctionnement normal mais quand il au contraire indésirable, il s'agit du problème de CEM.

L'amélioration de la CEM est obtenue par différents types d'actions :

- ✓ tenter de supprimer la production d'énergie perturbatrice à la source,
- ✓ rendre le canal de transmission aussi inefficace que possible,
- ✓ rendre le récepteur le moins sensible possible aux perturbations.

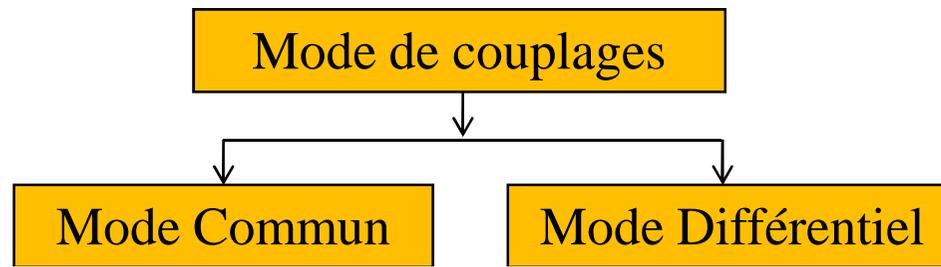


On ne peut parler de la CEM que si les 03 acteurs (Source, couplage et victime) existent.

Mode de couplages

Mode commun et différentiel

Sur une liaison bifilaire (deux conducteurs), le signal perturbateur peut se déplacer de deux façons (modes) : Mode **Commun (MC)** et Mode **Différentiel (MD)**



Dans un circuit la circulation des courants s'établit toujours par l'intermédiaire de courants de mode **commun** et de mode **différentiel**.

- Le mode **commun** utilise le réseau de masse ou de terre comme potentiel de référence commun.
- Le courant de mode **différentiel** se transmet par une liaison bifilaire en **aller et retour**. Le réseau de distribution de l'énergie SONALGAZ (phase et neutre) est du type différentiel.

Dans les deux appareils est la somme des courants issus des deux mode

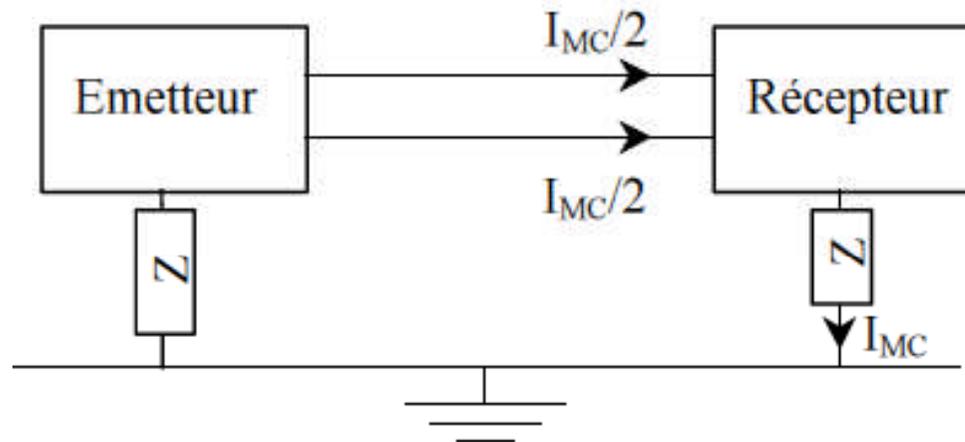
Modes commun

Le mode commun est très peu utilisé pour les signaux utiles, il correspond souvent à un mode **parasite**. Il est aussi appelé mode « **parallèle** », mode « **longitudinal** », ou mode « **asymétrique** ».

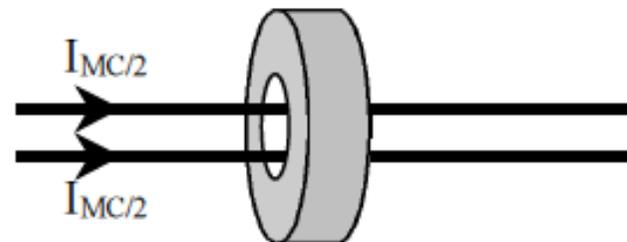
La tension de mode commun est définie comme étant égale à la valeur moyenne de la d.d.p. entre les différents fils et la masse.

Le courant de mode commun est égal au courant qui s'écoule à la masse. Ce courant se partage entre les différents fils de liaison, dans le même sens sur chacun des fils

Il peut être mesuré par une sonde de courant parcourue par les 2 fils dans le même sens.

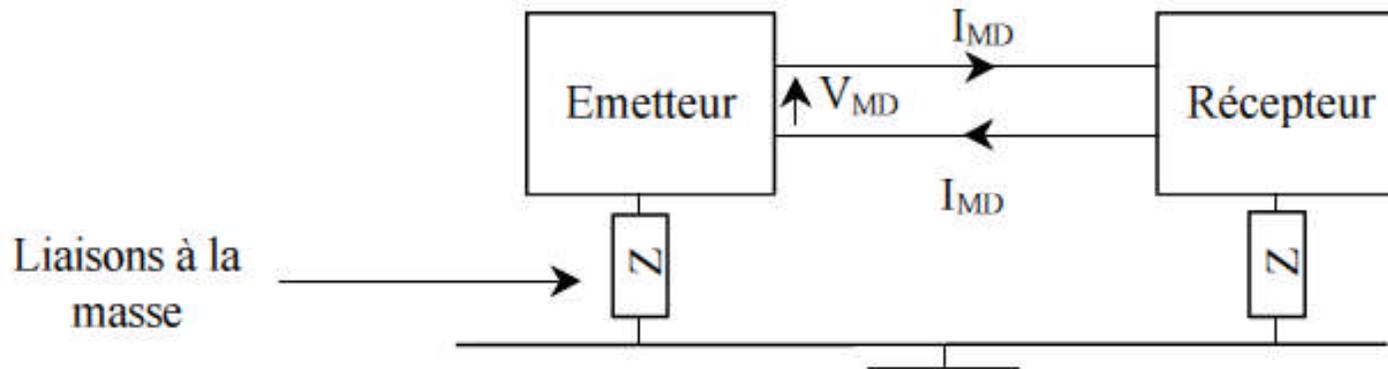


c'est le cas le plus fréquent de transmission des perturbations, car le fil de signal et le fil de retour sont proches et reçoivent la même perturbation



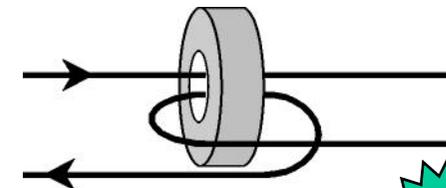
Modes différentiel

Les signaux utiles sont généralement transmis en mode **différentiel**, appelé aussi mode « **série** », mode « **normal** » ou mode « **symétrique** ». Le courant de mode **différentiel** se boucle sur les 2 fils de liaison. Il circule en sens opposé sur chacun des fils.



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.

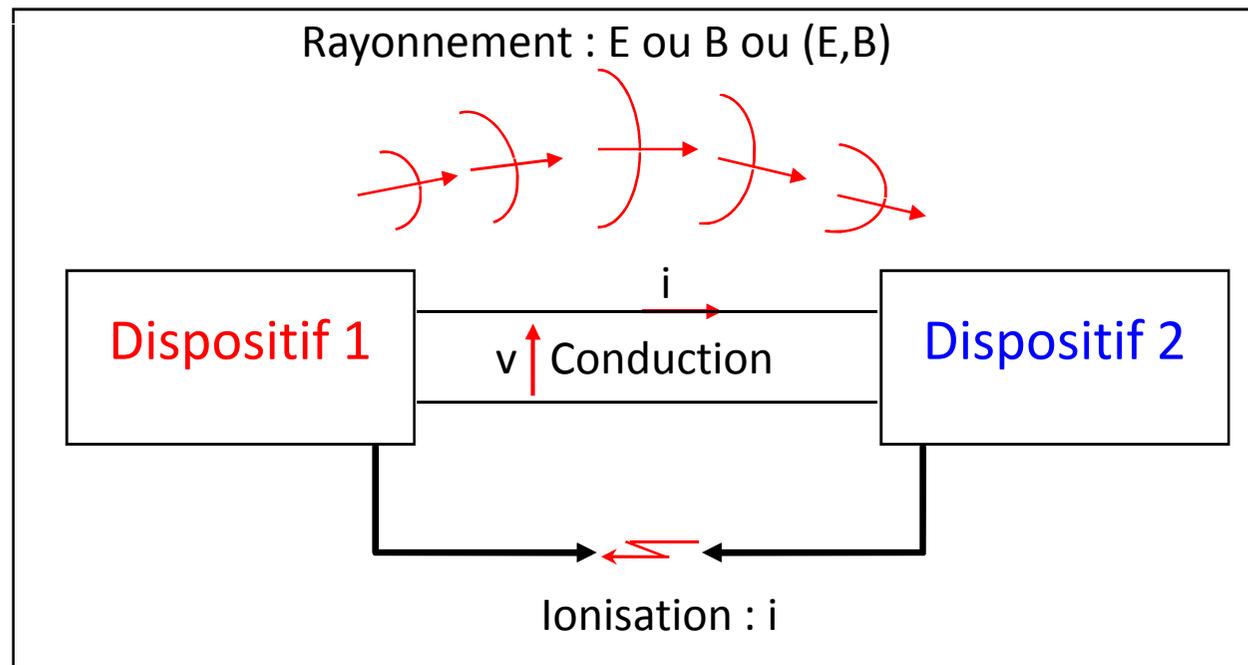
La tension de mode différentielle est mesurée entre les 2 fils, elle peut être mesurée avec une sonde différentielle.



Types de couplages

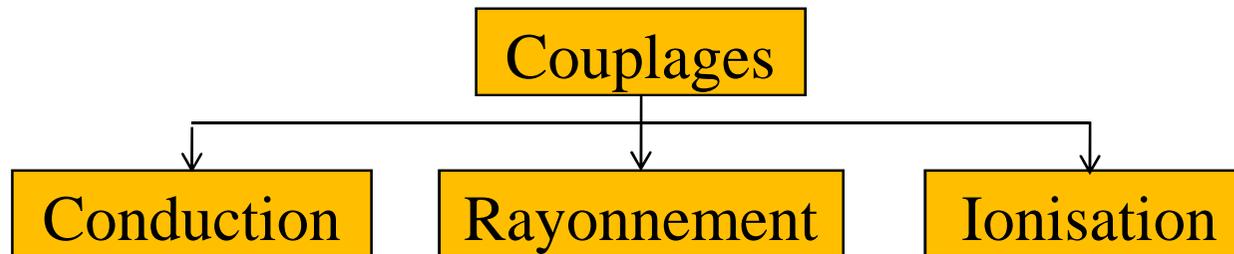
03 types de couplages :

- Couplage par **Conduction** qui se traduit par la circulation d'un courant perturbateur,
- Couplage par **Rayonnement** qui se transmet par le champ électrique E, ou magnétique B ou électromagnétique (E,B)
- Couplage par **Ionisation** qui se transmet à travers une décharge électrique dont le courant est constant.



Types de couplages (suite)

Si des courants se propagent, c'est qu'ils se sont préalablement couplés avec le système victime.

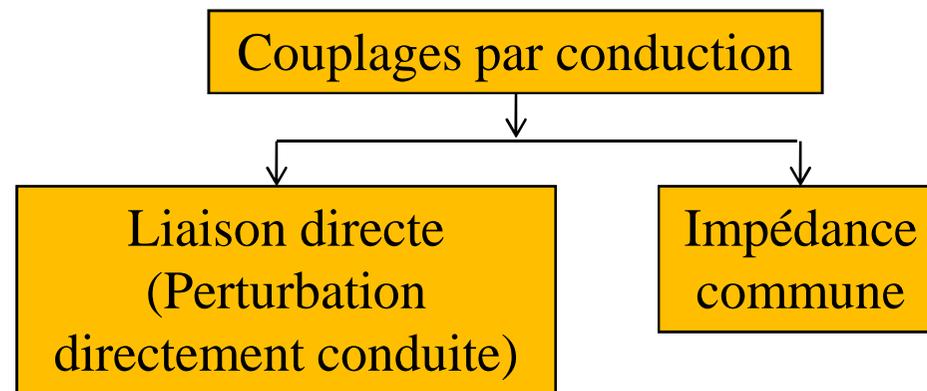


- Couplage par **Conduction** électrique (ou par impédance commune) :
 - Liaison directe,
 - A travers les câbles et les composants reliant la sources à la victime,
- Couplage par **Rayonnement** électromagnétique :
 - Rayonnement dans la zone de champ proche
 - Rayonnement dans la zone de champ lointain
- Couplage par **Ionisation** :
 - Ionisation d'un milieu diélectrique (souvent de l'air) dû à la chaleur,
 - Ionisation de l'air dû à l'humidité (foudre)

Couplage par conduction

Deux possibilités de couplage par conduction :

- Couplage par liaison directe (contact) ou perturbations directement conduites,
- Couplage par impédance commune; à travers les câbles et les composants.



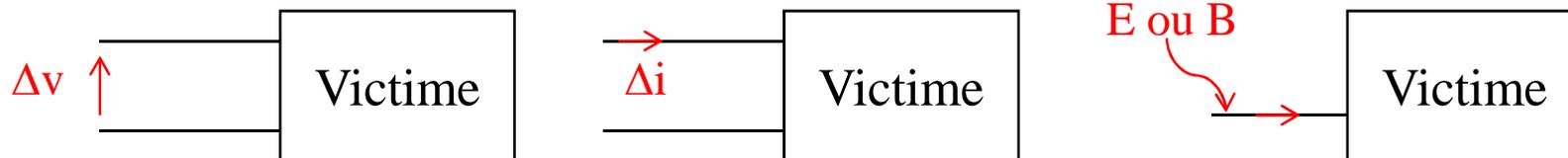
Les perturbations conduites sont transmises par un câble (lignes d'alimentation, bus de transmission de données, câbles de masses, terre, capacités parasites, ...).

Perturbation par conduction = circulation du courant perturbateur

Couplage par conduction

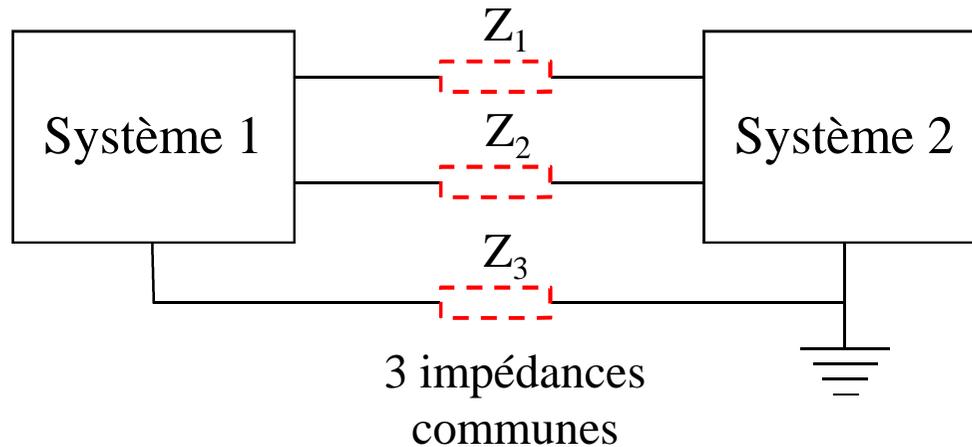
Liaison directe ou perturbations directement conduites

La perturbation provoquée est transmise directement (telle quelle) à la victime sans quelle soit modifiée lors du parcours.

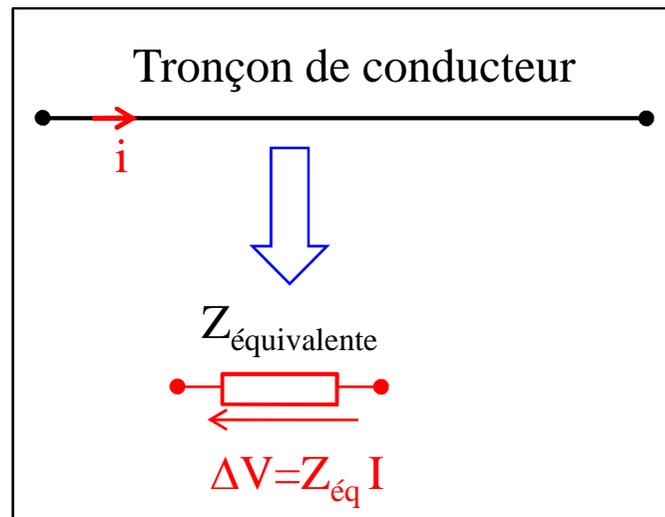


- **Variation rapide de tension** : elle est causé principalement par des défauts où la tension peut augmenter ou diminuer de quelques % dont la durée est de quelques ms.
- **Variation lente de tension** : causée principalement par la variation de la charge sur le réseau de distribution dont la durée peut atteindre plusieurs secondes.
- **Creux ou microcoupures de tension** : causées par des défauts sur les lignes d'alimentation, orage, vent (contact bref entre les lignes) pendant une durée comprise entre 1ms et 1s.
- **Surtension** : produite soit localement par une variation rapide du courant traversant un circuit bobiné ou par résonance du circuit LC, délestage du réseau, ...)

Couplage par conduction Impédance commune



Le couplage par impédance commune est mis en évidence lorsqu'un courant circule entre deux sous systèmes d'un système électrique à travers des **impédances communes** constituées par des liaisons entre les deux sous systèmes.



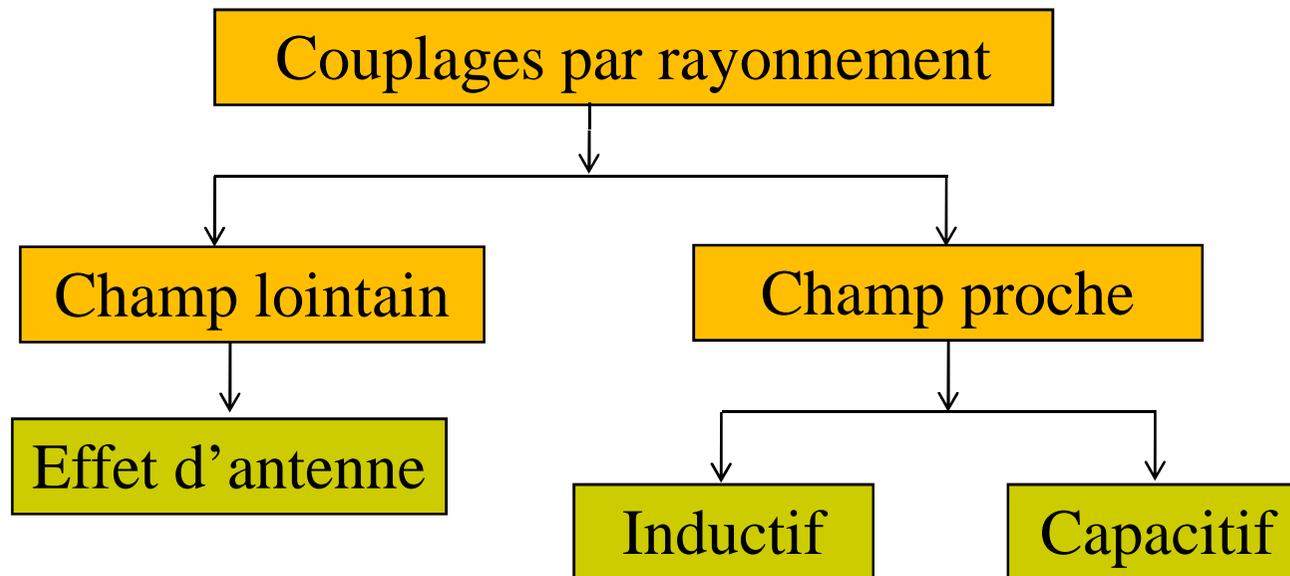
La perturbation est produite par la chute de tension ΔV dans **l'impédance commune** qui perturbe un ou les deux sous systèmes.

Dans un circuit, le couplage par **impédance commune** est mis en évidence lorsque deux mailles ont en commun un tronçon de conducteur dont l'impédance ne peut pas être négligeable.

Couplage par rayonnement

Plusieurs possibilités de couplage par rayonnement :

- Couplage par diaphonie inductive
- Couplage par diaphonie capacitif
- Effet d'antenne



Couplage par rayonnement Champ réactif, proche et lointain

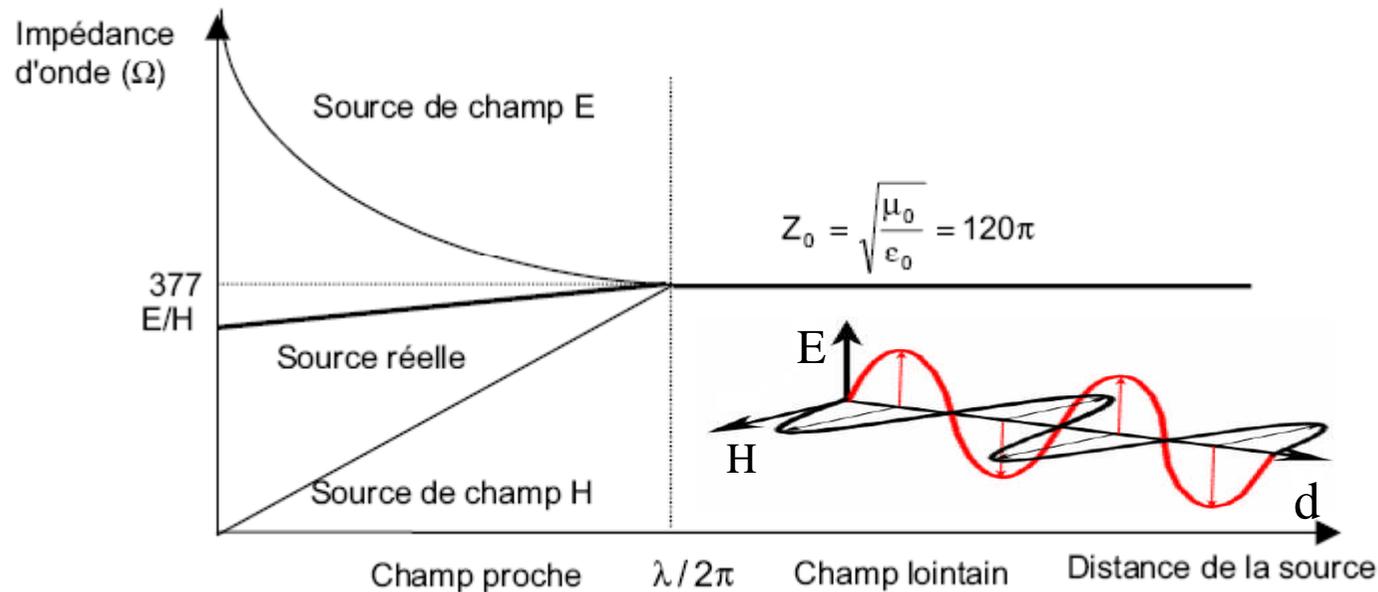
On distingue trois zones autour d'une source d'émission ou de rayonnement :

- La zone de **champ réactif** (très proche : entourant immédiatement la source) appelée zone d'évanescence ou de Rayleigh. L'onde électromagnétique n'est pas encore formée. Les deux champs **électrique** et **magnétique** sont **indépendant**.
- La zone suivante est celle de **champ proche** ou région de Fresnel. Dans cet espace, situé un peu plus loin de la source, le phénomène de propagation commence à apparaître mais on dit que l'onde n'est pas encore formée. Les champs **électrique** et **magnétiques** sont toujours **indépendant**.
- La zone de **champ lointain**, ou région de Fraunhofer, où les propriétés du champ électromagnétique sont bien établies. Il apparait le phénomène classique de **propagation des ondes électromagnétiques**. Cette région se situe généralement à plusieurs longueurs d'onde du périmètre de la source avec un champ électromagnétique dont l'amplitude diminue lorsque la distance à **l'antenne** augmente et s'annule à l'infini.

Couplage par rayonnement Champ proche et lointain – Distance limite –

Les distances à considérer sont fondées sur la longueur d'onde du signal : $\lambda = 3 \cdot 10^8 / f$

Champ proche $< \lambda/2\pi <$ champ lointain



Dans la zone proche de l'émetteur où les champs électrique E et magnétique H sont indépendants, on mesure le rapport E/H appelé impédance d'onde.

Dans la zone lointaine de l'émetteur ($> \lambda/6$), les champs E et B sont perpendiculaires à la fois entre eux et à la direction de propagation. Dans le vide (ou l'air), ils sont liés par la relation d'impédance d'onde Z_0 .

Couplage par rayonnement

Champ proche et lointain – Calcul du champ E –



À travers une boucle dont la dimension est inférieure à la longueur d'onde, le champ électrique perçu à distance « d » de la source est donnée par :

$$E = 1.32 \cdot 10^{-14} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d}\right)^2} \frac{f^2 S}{d} I \text{ [V/m]}$$

En champ proche où $d \gg \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \frac{\lambda}{2\pi d} \ll 1$ $E = 1.32 \cdot 10^{-14} \frac{\lambda}{2\pi d^2} f^2 SI \text{ [V/m]}$

Le seul cas de proximité en zone de champ très proche pour les personnes est le téléphone portable. Les personnes travaillant à l'installation ou à la réparation des antennes relais ont pour consigne de ne pas rester face à l'antenne plus de quelques dizaines de secondes d'affilée si l'antenne est branchée. Il est dangereux de se tenir à 1 cm ou à 10 cm de l'antenne relais... mais pas à 10 m. La puissance des ondes que l'on reçoit en provenance des antennes décroît en raison du carré de la distance. En passant de 10 cm à 10 m, on diminue cette puissance d'un facteur 10000 (100^2).

En champ lointain où $d \ll \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \frac{\lambda}{2\pi d} \gg 1$ $E = 1.32 \cdot 10^{-14} \frac{f^2 SI}{d} \text{ [V/m]}$

Dans la zone éloignée le champ est inversement proportionnel à la distance.

Couplage par rayonnement Champ lointain – Calcul du champ E –

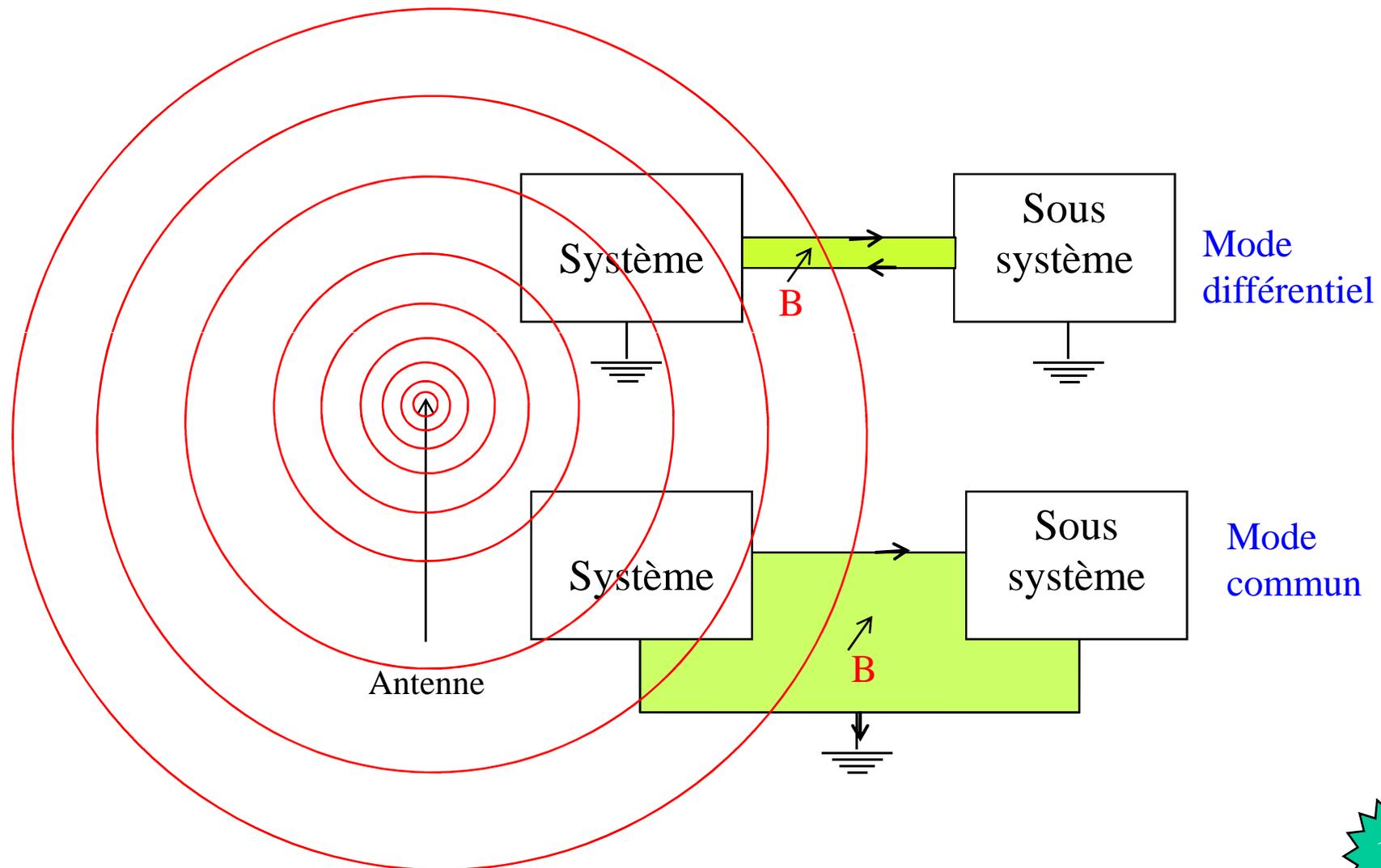
Le champ électrique émis par une antenne à grande distance de celle-ci est :

$$E(\text{V/m}) = \frac{\sqrt{60 P G}}{d}$$

- E est l'intensité du champ électrique (en V/m),
- P est la puissance transmise à l'antenne,
- d est la distance séparant l'observateur de l'antenne,
- G est le gain directif de l'antenne (1 pour une antenne isotrope 1/8 d'onde, 1.3 pour une antenne fouet, 4 à 10 pour une antenne log périodique, 300 à 2000 pour une antenne parabolique)

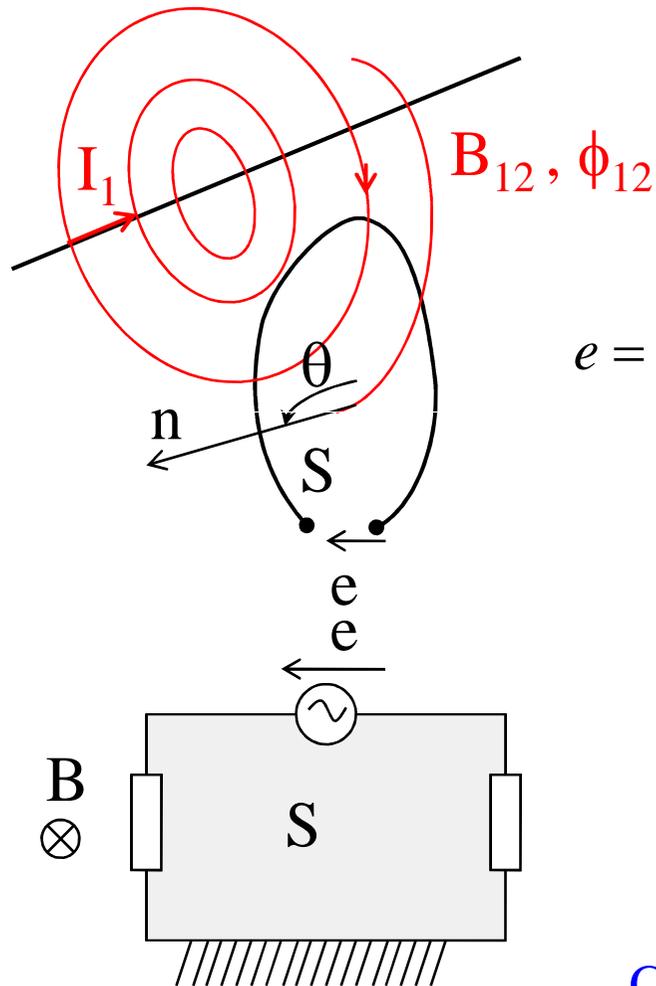
Couplage par rayonnement

Champ lointain – Mode de couplage –



Couplage par rayonnement

Champ proche – Couplage inductif –



$$\phi_1 = \iint B_1 dS = L_1 I_1$$

$$\phi_{12} = \iint B_{12} dS = B_{12} S \cos \theta = M_{12} I_1$$

$$e = -\frac{d\phi_{12}}{dt}$$

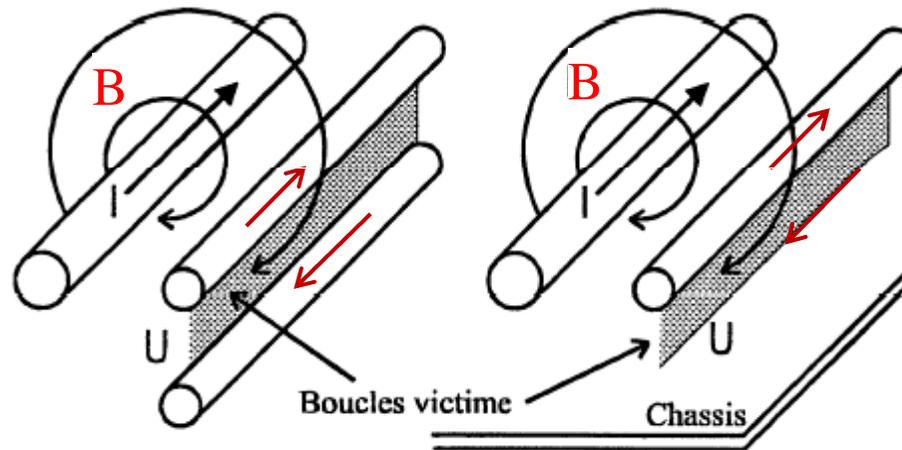
$$e = -j\omega B_{12} S \cos \theta = -j\omega M_{12} I_1$$

Le champ magnétique variable créé par un conducteur parcouru par un courant, est intercepté par un conducteur voisin se comportant comme une boucle. Il y a donc apparition d'une force contre-électromotrice. Il est pratique de modéliser le couplage entre les 2 boucles par une mutuelle entre les deux circuits.

Création d'une source de tension variable « e »

Couplage par rayonnement Champ proche – Couplage inductif –

La tension e pourra apparaître sous forme différentielle ou sous forme de mode commun.

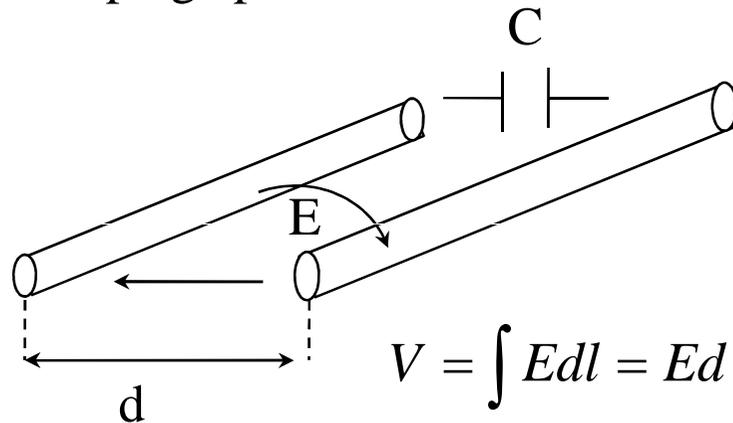


Couplage différentiel

Couplage commun

Couplage par rayonnement Champ proche - Effet capacitif -

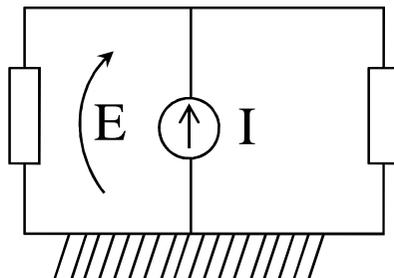
Un champ électrique E variable appliqué sur un circuit conducteur ouvert fait apparaître une tension V . Le couplage par champ électrique est équivalent au couplage par l'intermédiaire d'une capacité.



une différence de tension variable entre ces deux circuits va générer un courant électrique de l'un vers l'autre à travers la capacité parasite.

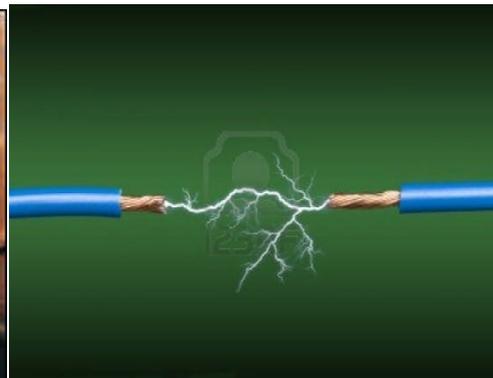
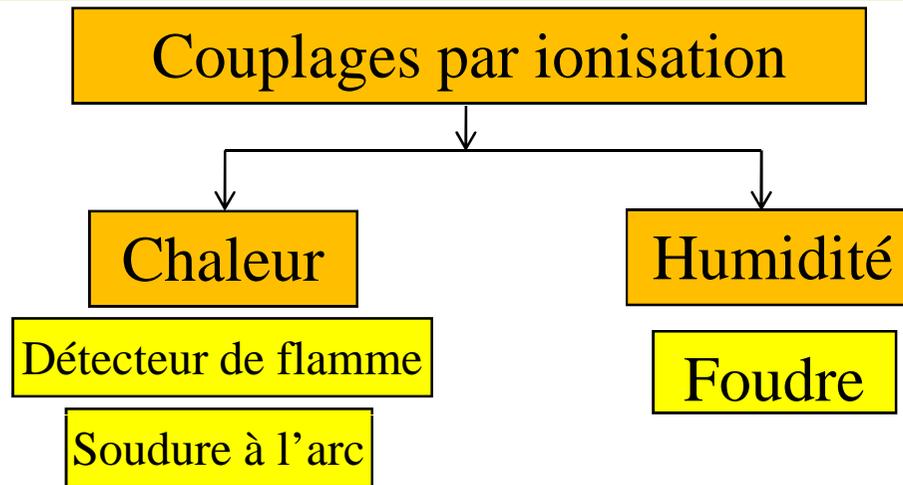
$$I = C \frac{dV}{dt} = Cj\omega V = j2\pi f CV$$

Ce courant est d'autant plus élevé que la fréquence et la capacité sont élevées.



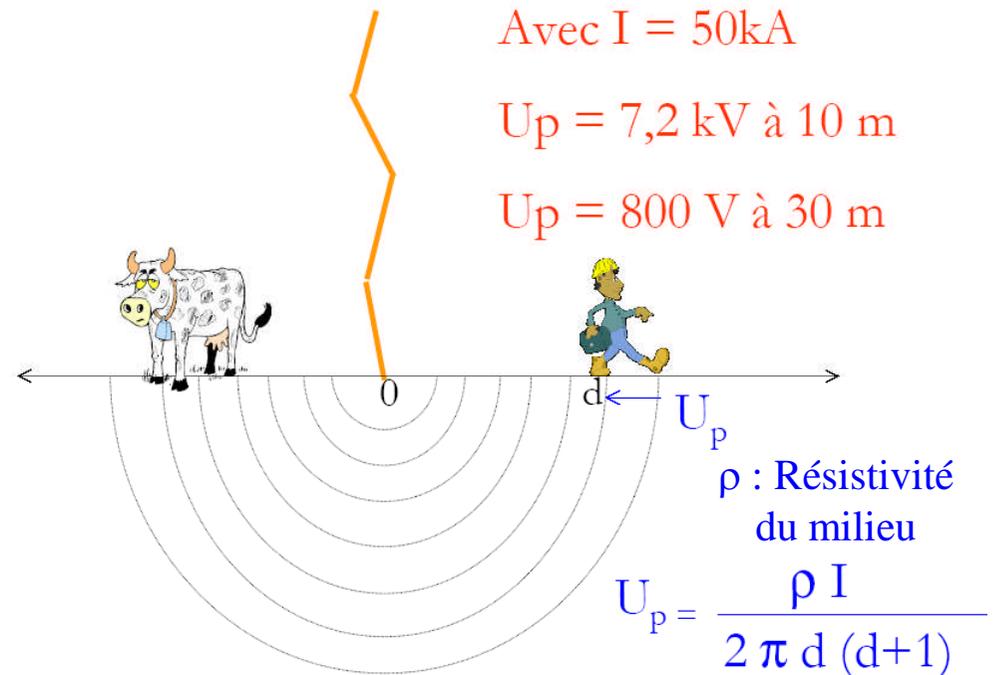
Création d'une source de courant variable « I »

Couplage par **ionisation**



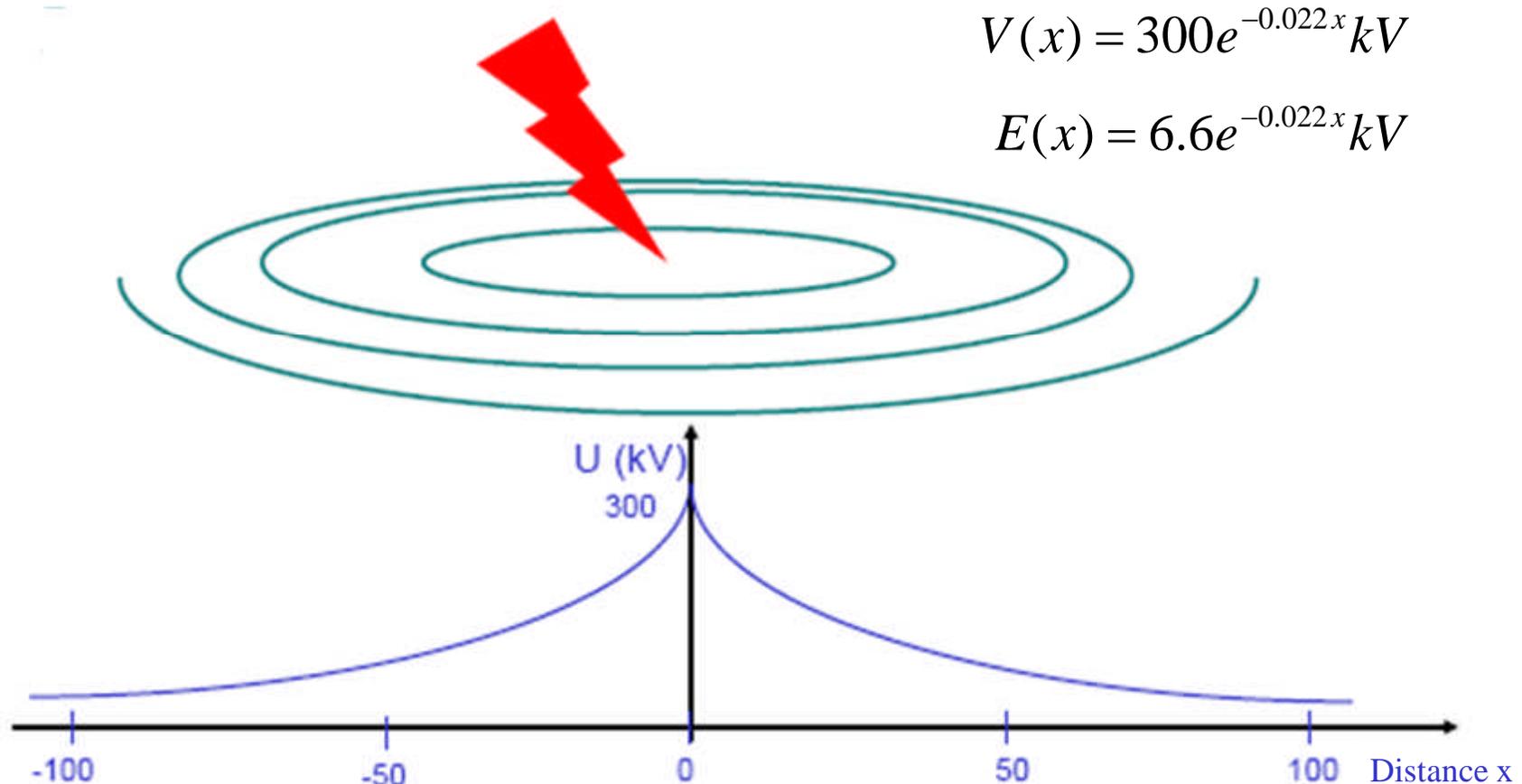
Couplage par **ionisation** Foudre - Champ rayonné -

- Il y a production d'un champ rayonné qui peut à son tour induire des courants dans les installations (ou structures métalliques) environnantes.
- On assimile le canal de foudre à un conducteur vertical qui engendre à une distance d un champ $H = I/(2\pi d)$ A/m et un champ électrique $E = Z_0 H$ ($Z_0=377$).
- Sur les réseaux de distribution électriques, un coup de foudre engendre une onde de choc (surtension) qui se propage sur la ligne.



- Le courant de foudre circulant dans la prise de terre, provoque une élévation du potentiel du conducteur de protection.
- Si le courant de foudre circule dans des structures métalliques, il provoque une élévation du potentiel des masses métalliques.
- Ceci entraîne des circulations de courant dans les câbles, des dysfonctionnements, voir des défauts d'isolement.

Couplage par **ionisation** Foudre - Champ rayonné -



Remerciement

**Merci de
votre
attention !**