

Cours de CEM

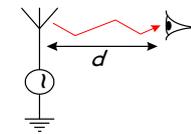
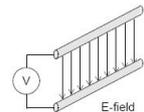
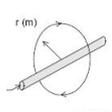
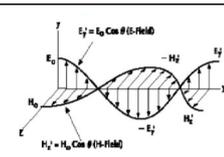
- Rappels d'électronique

Rappels d'électronique

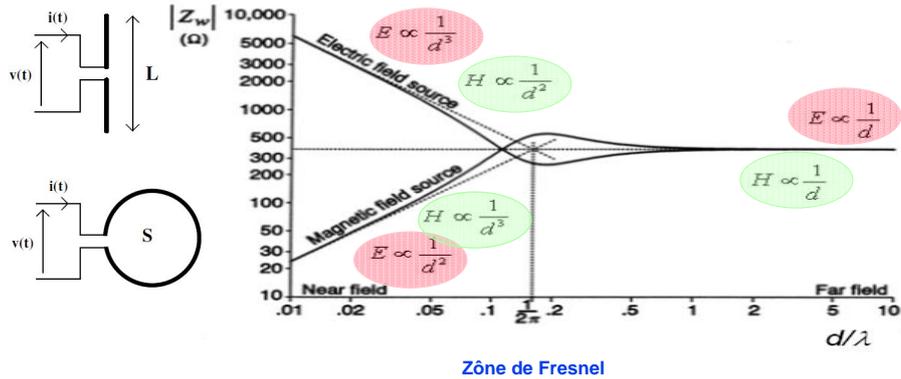
Champ Proche et champ lointain

- Les lois de propagation des perturbations varient en fonction que l'on se trouve loin ou proche de la source d'émission.

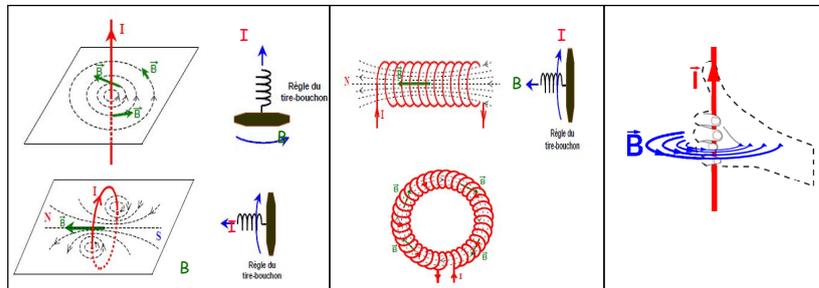
Critère de Fresnel

Champ PROCHE	$d = \frac{\lambda}{2\pi}$	Champ LOINTAIN
$d < \frac{\lambda}{2\pi}$		$d > \frac{\lambda}{2\pi}$
Le champ E ou H domine en fonction de l'impédance de l'antenne.		Les champs E ou H sont couplés à 90°C et l'impédance est de 377ohms.
 <p style="text-align: center;">E-field</p> <p style="text-align: center;">$Z_{ant} > 377\text{ohms}$</p>	 <p style="text-align: center;">H-field</p> <p style="text-align: center;">$Z_{ant} < 377\text{ohms}$</p>	 <p style="text-align: center;">$Z_{ant} = 377\text{ohms}$</p>
Faraday, Coulomb, Amper, Lorentz, ...		Maxwell, Hertz, Marconi, ...

- Les lois de propagation des perturbations varient en fonction que l'on se trouve loin ou proche de la source d'émission.
 - Les champs E et H évoluent différemment.



- Champ magnétique
 - Tout conducteur parcouru par un courant variable I dans le temps génère un champ magnétique variable B.
 - Le sens du champ magnétique est donnée par la règle du tire bouchon ou de la main droite.



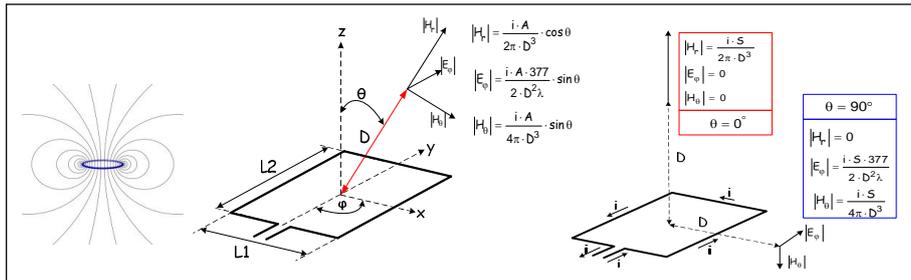
➔ Du point de vue de la CEM

- B est la perturbation. Fil, boucle, ... sont des antennes

■ Champ magnétique

▪ Champs émis par une boucle

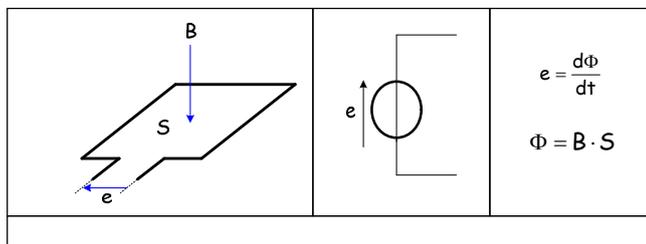
- Une boucle possède 3 composantes de champ: champ magnétique radial et tangential, champ électrique.
- L'expression de ces champs dépend de l'angle par rapport l'axe z.
- L'expression ci-dessous sont données pour une boucle fermée.



■ Force Electromotrice Induite

- Un flux d'induction magnétique traversant une boucle ouverte induit une force électromotrice (FEM) (Faraday):

$$e = \frac{d\Phi}{dt}$$

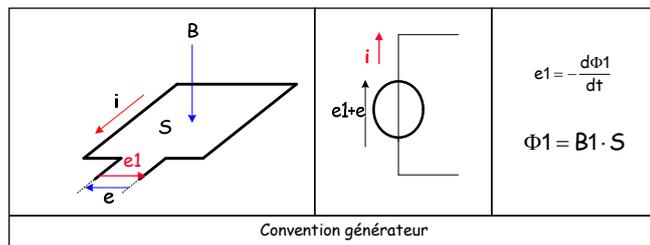


■ Force Electromotrice Induite

- Un flux d'induction magnétique Φ traversant une boucle fermé induit une FEM (Faraday)
- Cette FEM induit un courant qui génère à son tour un flux d'induction magnétique Φ_1 qui tend à s'opposer au flux d'induction Φ qui l'a créé (Lenz).

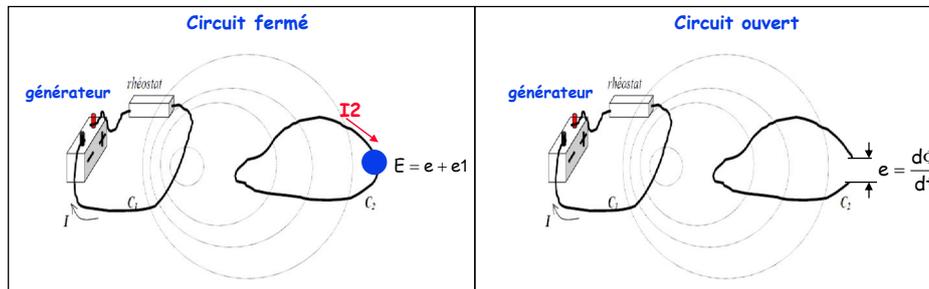
$$e_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt}$$

- La fem résultante est la somme des deux fem: $E = e + e_1$



■ Force Electromotrice Induite

- Du point de vue de la CEM
 - Toute boucle placée à coté de cette boucle émettrice reçoit par induction magnétique:
 - une **tension perturbatrice induite** pour une boucle ouverte
 - un **courant perturbateur induit** pour une boucle fermée.

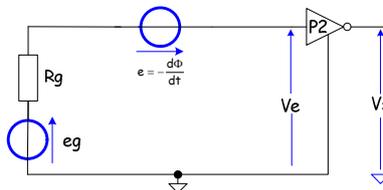
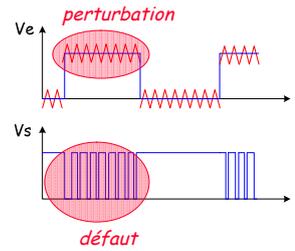
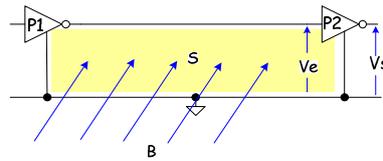


C1: circuit inducteur e: fem induite dans C2
 I: courant inducteur
 C2: circuit induit
 I2: courant induit dans C2

■ Force Electromotrice Induite

▪ Du point de la CEM

- B est la perturbation extérieure, S est le dispositif de couplage, e est la tension de perturbation induite.
- B peut provenir d'une source lointaine ou proche.

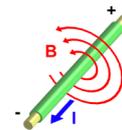


La perturbation induite se superpose au signal utile Ve.
Le seuil logique de la porte P2 est violé et sa sortie Vs oscille.

■ Auto-induction

▪ Inductance propre

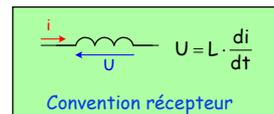
- Le champ magnétique, créé par le courant i et passant d'un conducteur, génère un flux d'induction magnétique Φ qui entoure le conducteur.



- Le coefficient de proportionnalité entre le flux Φ et le courant i définit l'inductance propre.

$$L(H) = \frac{\Phi \text{ (Weber)}}{i(A)}$$

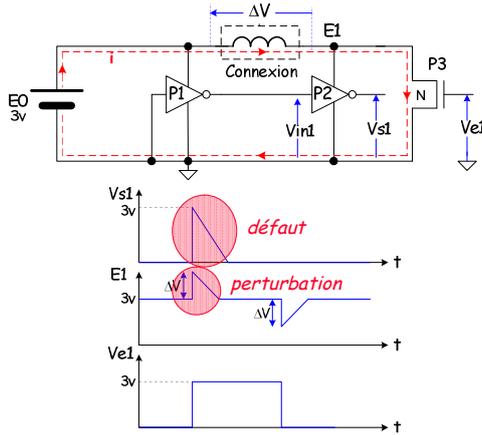
- L'inductance s'oppose à l'établissement du courant (Lentz).



■ Auto-induction

▪ Du point de la CEM

- L'inductance est le dispositif de couplage et ΔV la perturbation.
- Les variations rapides de courant occasionnent des variations de tension et donc des perturbations propagées en mode conduit.



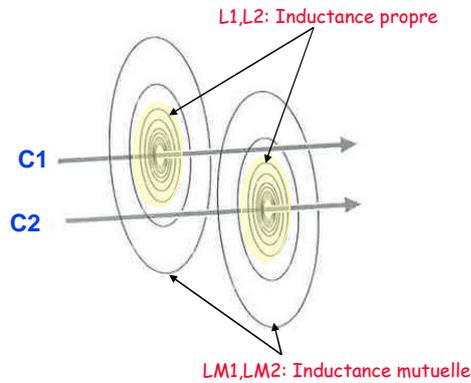
- Seuil de déclenchement Haut de P2
 $V_{ih1} = 0.8 \cdot 3v = 2.24v$
 - Niveau logique de l'entrée P2
 $V_{in1} = 3v$

Pendant la transition positive
 - Variation de tension aux bornes de la connexion:
 $\Delta V = +1.5v$
 - Nouveau seuil V_{ih1} :
 $V_{ih1} = 0.8 \cdot (3v + 1.5v) = 3.6v$
 - Défaut de fonctionnement
 $V_{in1} < V_{ih1} \rightarrow V_{s1} = 3v$

■ Induction magnétique (Diaphonie magnétique)

▪ Deux conducteurs proches l'une de l'autre s'influencent:

- Les lignes de champs magnétiques du conducteur C1 entourent C2 et vis et versa,
- Le flux d'induction magnétique vu par Cn est la somme du flux d'auto-induction et du flux induit par l'autre conducteur,
- L'inductance équivalente est donc la somme de l'inductance propre et de l'inductance mutuelle.



$$\Phi_T = \Phi_1 \pm \Phi_2$$

$$L_T = \frac{\Phi_1}{i_1} \pm \frac{\Phi_2}{i_2}$$

$$L_1 \quad LM_1$$

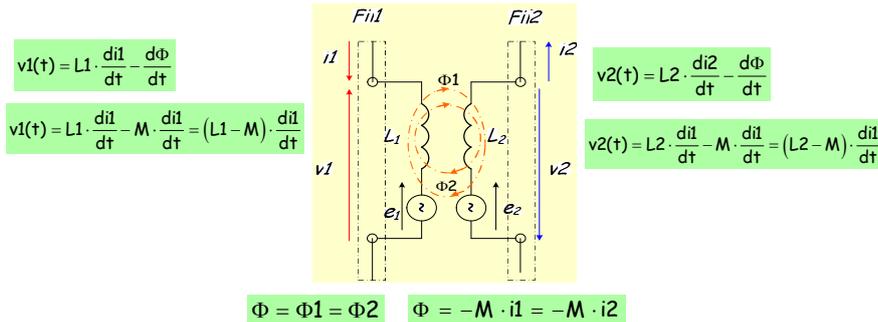


$$L_2 \quad LM_2$$



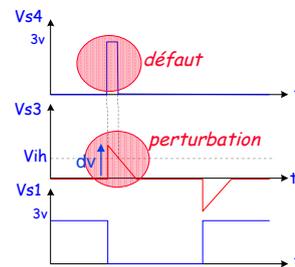
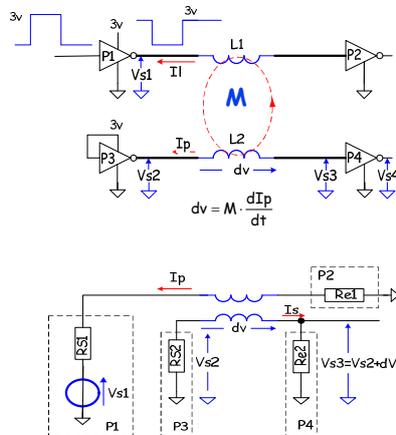
■ Induction magnétique (Diaphonie magnétique)

- Deux conducteurs et donc deux inductances proches l'une de l'autre sont couplées par leur champ magnétique d'où la présence d'une inductance mutuelle.



■ Induction magnétique (Diaphonie magnétique)

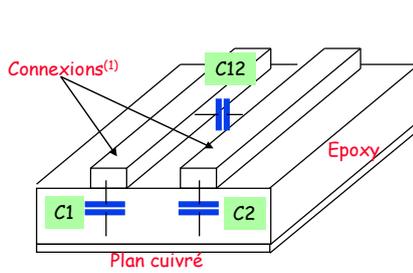
- Du point de vue CEM
 - dV est la perturbation induite par l'inductance mutuelle M.
 - Deux signaux indépendants se trouvent être couplés par la présence du couplage magnétique entre deux pistes → Diaphonie magnétique.



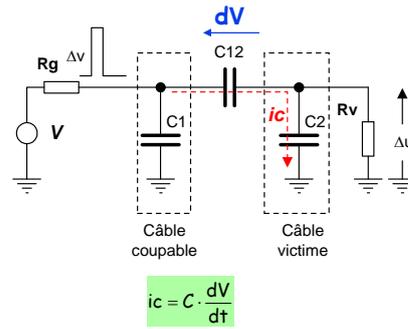
dV provoque une remontée de Vs3:
Vs3 > Vih → Vs4 bascule

■ Induction capacitive (diaphonie capacitive)

- Toute capacité exposée à un champ électrique est parcourue par un courant de déplacement.



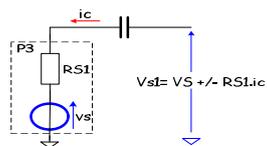
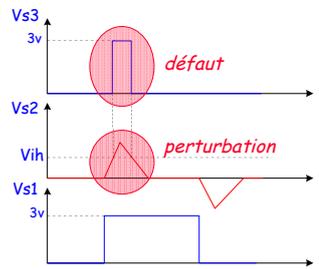
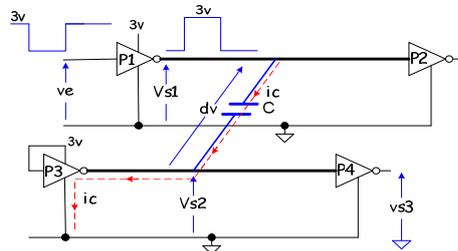
(1) Pistes, fils, câbles, ...



$$i_c = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

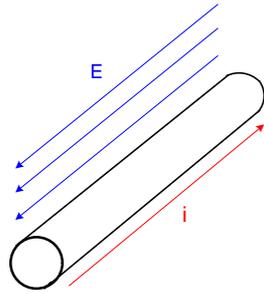
■ Induction capacitive (diaphonie capacitive)

- Du point vue de la CEM
 - dV est la perturbation, i_c est le courant induit, C une capacité parasite de couplage.
 - Deux signaux indépendants se trouvent être couplés par la présence du couplage capacitif entre deux pistes → Diaphonie capacitive.



ic provoque une remontée de Vs2:
 $V_{s2} > V_{ih} \rightarrow V_{s3}$ bascule

- Force électromotrice induite par le champ E ou Couplage champ à fil
 - Un conducteur exposé à un champ E induit une force électromotrice.
 - E peut être provenir d'une lointaine ou proche



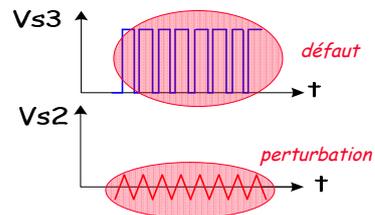
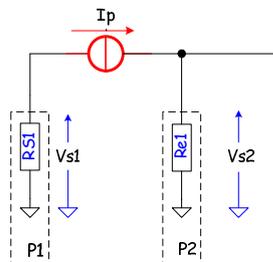
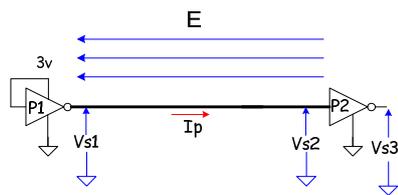
$$L \leq \frac{\lambda}{4}$$

$$i(\text{mA}) \leq \frac{L^2 \cdot \text{FMHz}}{120} \cdot E$$

$$L \geq \frac{\lambda}{2}$$

$$i(\text{mA}) \leq \frac{1.25}{\text{FMHz}} \cdot E$$

- Force électromotrice induite par le champ E ou Couplage champ à fil
 - Du point de vue de la CEM



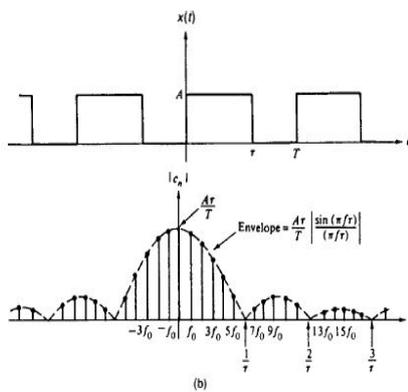
La perturbation induite se superpose au signal utile Vs2.

Le seuil logique de la porte P2 est violé et sa sortie Vs3 oscille.

- Signaux Périodiques / Non périodiques
- Vitesse de propagation, longueur d'onde et fréquence
- Passage du domaine temporel au domaine fréquentiel

■ Signaux Périodiques

- Décomposition en série de Fourier -> Signaux à "bande étroite".
- Signaux composés d'un ensemble de fréquences pures (fondamentales et/ou harmoniques).



$$C_n = \frac{1}{T} \times \int_{-T}^{+T} x(t) \times e^{-jn\omega_0 t}$$

$$x(t) = \sum_0^{\infty} C_n \times \varphi_n(t)$$

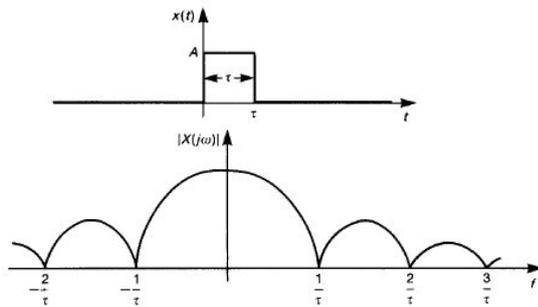
$$x(t) = C_0 \cdot \varphi_0(t) + C_1 \cdot \varphi_1(t) + \dots$$

fondamentale

Harmonique de rang 1

■ Signaux Non Périodiques

- Spectre comportant une infinité de fréquences -> signaux à "bande large".

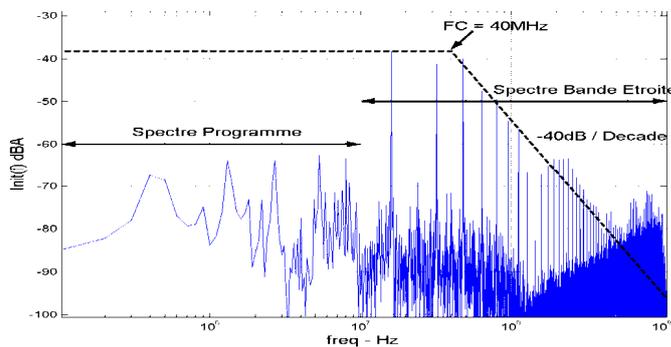


$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

$$\text{Envelope} = \frac{A\tau \sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau}$$

■ Exemple de signal réel

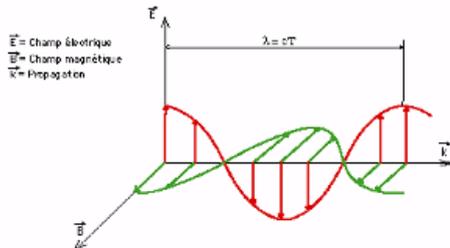
- Spectre comportant à la fois des signaux périodiques et non périodiques.



Rappels d'électronique

Caractéristiques des signaux

■ Vitesse de propagation, longueur d'onde et fréquence



Dans le vide

$$v_0 \text{ (m/s)} = 300e^6$$

$$\lambda_0 = \frac{v_0}{f}$$

Dans un matériau quelconque

$$v \text{ (m/s)} = \frac{v_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda \text{ (m)} = \frac{v}{f} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Avec :

ϵ_r , constante diélectrique du matériau

Exemple pour le circuit imprimé et pour $f=100\text{MHz}$

$$\epsilon_r = 4.9$$

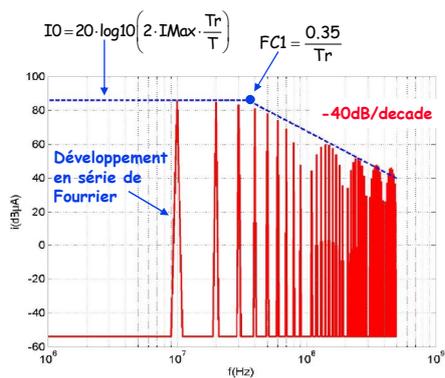
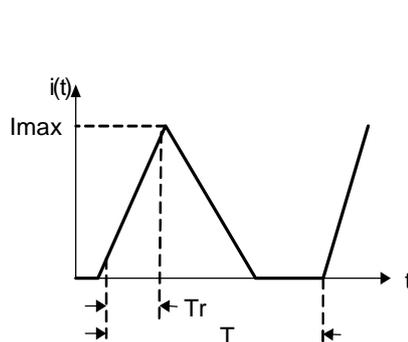
$$\lambda_0 = 3 \text{ m} \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{4.9}} = 1.35 \text{ m}$$

Rappels d'électronique

Domaine temps et fréquence

■ La réalité d'un signal électrique

▪ Bande passante utile d'un signal trapézoïdal



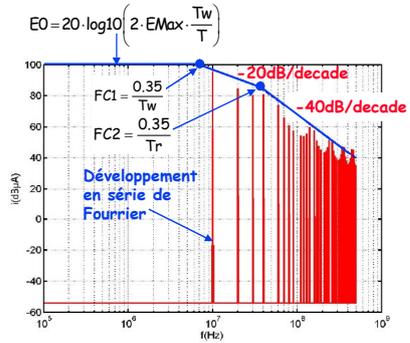
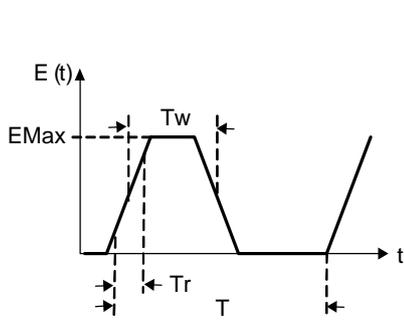
Exemple:

$$TW=5\text{ns}, TR=1\text{ns}$$

$$FC1=70\text{MHz}, FC2=350\text{MHz}$$

■ La réalité d'un signal électrique

- Enveloppe spectrale utile d'un signal trapézoïdal



Exemple: $T_w=40\text{ns}$, $T_r=10\text{ns}$

$FC1=8.75\text{MHz}$, $FC2=35\text{MHz}$