

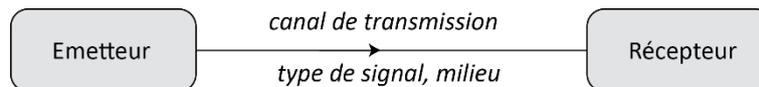
Fiche de synthèse n°16

Propagation libre et propagations guidées

1 Principe d'une transmission d'information

1.1. Chaîne de transmission

On peut toujours représenter la chaîne de transmission d'une information par un schéma du type :



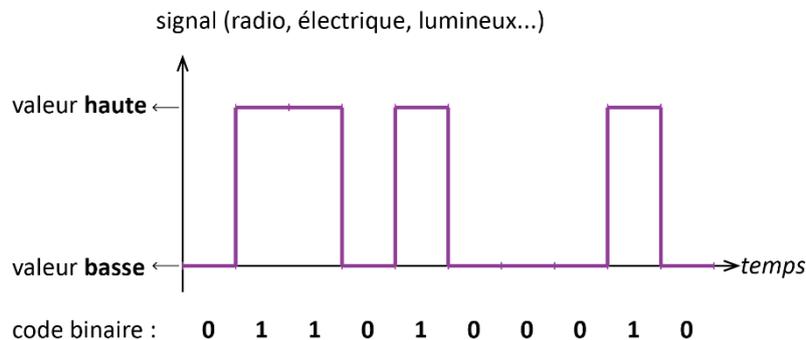
La plupart des situations, pour être décrites par ce moyen, nécessitent davantage d'étapes : codage de l'information, utilisation d'une porteuse, sélection de la porteuse, décodage de l'information.

1.2. Le débit binaire

Signaux numériques

Un signal numérique transporte une information codée en binaire. L'information à transmettre est alors une succession de « 0 » et de « 1 » appelés **bits**.

Qu'il soit électrique, lumineux, radio ou autre, le signal qui transporte ce code binaire est donc une succession de valeurs hautes (correspondant au « 1 ») et de valeurs basses (correspondant au « 0 »).



Débit binaire : définition et ordres de grandeur

Le débit binaire d'une transmission est le nombre de bits transportés par unité de temps, soit :

$$D = \frac{N}{\Delta t}$$

N étant le nombre de bits transférés et Δt la durée du transfert en s.

Les unités :

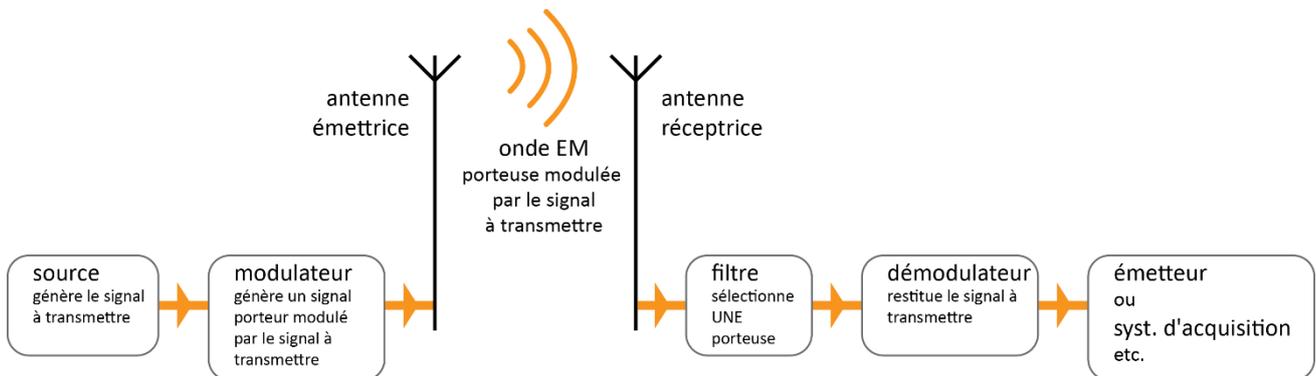
- Le débit D s'exprime en **bits/s** ou ses multiples : kbits/s ; Mbits/s ; Gbits/s, etc.
- L'octet : un octet est une série de 8 bits. Il est donc usuel d'exprimer les débits binaires en o/s, ko/s, Mo/s, etc.

Ordres de grandeur :

Canal de transmission	4G	Wifi	Câble coaxial	Fibre optique	Bluetooth
Type de transmission	libre	libre	guidé	guidé	libre
Débit moyen	100 Mbits/s	350 Mbits/s	1 Gbit/s	8 Gbit/s	2 Mbits/s

2. La transmission par propagation libre des ondes électromagnétiques

2.1. Le principe de la propagation libre



2.2. L'onde porteuse

Nécessité d'une onde porteuse

Un très grand nombre d'ondes électromagnétiques transportant des informations diverses (radio, télévision, etc.) se propagent autour de nous et sont reçues simultanément par chaque antenne réceptrice : il est alors nécessaire de **sélectionner l'information** que l'on veut recevoir.

Les informations sont transportées par **des ondes porteuses** : il s'agit d'ondes électromagnétiques de haute fréquence (du MHz ou GHz) dont une propriété (amplitude ou fréquence) est modulée de manière à coder l'information à transmettre. Chaque émetteur dispose d'une porteuse dont la fréquence lui est propre.

- ▶ **Par exemple** : la valeur qui s'affiche lorsque l'autoradio « cherche » à capter une radio donnée est la valeur de la fréquence de l'onde porteuse attribuée à la station de radio que l'on veut écouter.

Sélection d'une porteuse

Afin de sélectionner l'onde porteuse qui transporte l'information que l'on veut recevoir, l'antenne réceptrice est connectée à un circuit électrique appelé « filtre passe-bande ».

Il s'agit d'un circuit qui entre en résonance pour une fréquence particulière : l'onde porteuse sélectionnée est alors celle qui possède cette fréquence.

2.3. La principale cause d'atténuation : la divergence de l'onde

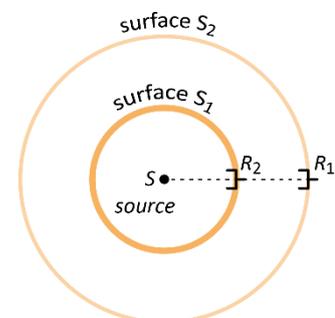
Sur la figure suivante :

- S est la source d'une onde qui se propage à 3 dimensions ;
- R_1 et R_2 sont deux récepteurs.

Or R_1 et R_2 ne reçoivent tout le signal mais seulement ce qui atteint leur surface sensible.

Si le milieu n'atténue pas l'onde, R_1 et R_2 sont atteints par une onde qui transporte la même puissance P . Mais l'onde qui atteint R_2 est répartie sur une surface S_2 plus grande que celle, notée S_1 , qui atteint R_1 . Donc :

$$\frac{P}{S_1} > \frac{P}{S_2}$$



À retenir :

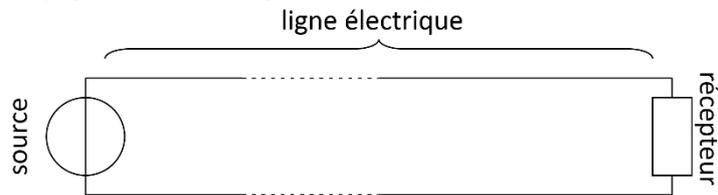
Si une onde est divergente (se propage à 2 ou 3 dimensions) et même si le milieu n'absorbe pas sa puissance, la **puissance surfacique** reçue par un récepteur est d'autant plus faible que celui-ci est éloigné de la source.

C'est la principale cause d'atténuation lors d'une transmission en champ libre.

3. La transmission par les lignes électriques : une propagation guidée

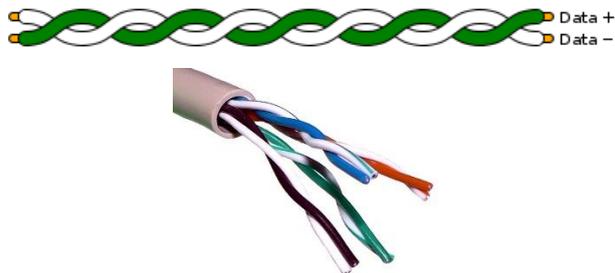
3.1. Le principe

On peut représenter toute propagation dans une ligne électrique par le schéma :



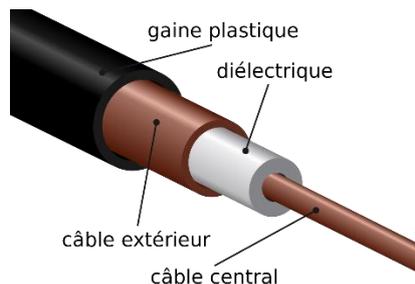
Cependant, techniquement, les fils électriques qui transportent le signal ne sont jamais côte-à-côte. Afin de limiter les pertes et de les isoler des ondes parasites, ceux-ci disposés de différentes manières, comme par exemple :

▶ La paire torsadée :



Dans une paire torsadée les deux fils sont enroulés l'un autour de l'autre. Cela permet de juxtaposer plusieurs lignes électriques sans que celles-ci n'interfèrent entre elles

▶ Le câble coaxial :



Dans un câble coaxial, l'un des deux conducteurs électriques (le câble extérieur) entoure l'autre (le câble central).

Les câbles Ethernet que nous utilisons pour connecter nos ordinateurs à Internet sont des câbles coaxiaux.

Crédit : [creative commons 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

3.2. La principale cause d'atténuation : l'absorption par le milieu

Dans une ligne électrique, l'onde qui se propage est très peu divergente. Mais le milieu est forcément le siège d'une **dissipation d'énergie** : la puissance en sortie est donc inférieure à la puissance d'entrée. C'est la cause principale de l'atténuation du signal.

Plus le milieu traversé est long, plus cette atténuation est importante.

À retenir :

Lors d'une propagation guidée, l'absorption par le milieu est la principale cause d'atténuation. Plus la distance est grande, plus cette atténuation est importante.

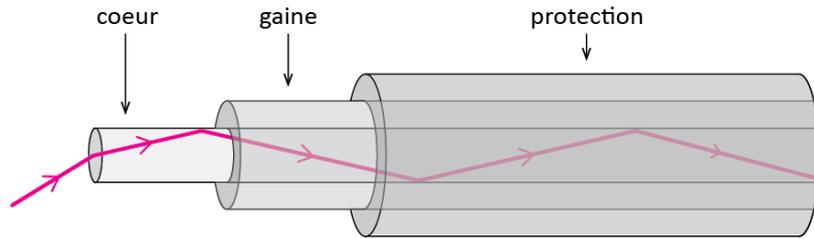
4. La transmission par les fibres optiques

4.1. Principe de la transmission par fibre optique à saut d'indice

Dans une fibre optique, ce sont **des signaux lumineux** (généralement dans le domaine visible ou proche infrarouge) qui assure le transport de l'information.

Une fibre optique est constituée de deux polymères transparents d'indice de réfraction différents : le cœur et la gaine. Le phénomène de **réflexion totale** à l'interface cœur / gaine explique que le signal soit guidé par la fibre. Cela n'est possible que si leurs indices de réfraction respectent :

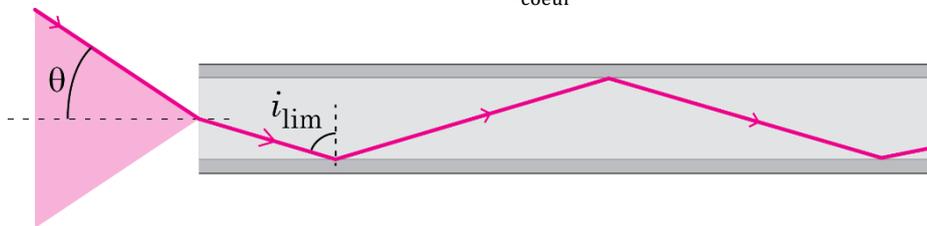
$$n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$$



4.2. L'ouverture numérique de la fibre optique

L'onde lumineuse parcourt la fibre en étant « piégée » dans le cœur grâce au phénomène de **réflexion totale**. L'angle d'incidence à l'interface entre le cœur et la gaine doit toujours être supérieur à l'angle limite, tel que (voir séquence 5) :

$$\sin(i_{\text{lim}}) \geq \frac{n_{\text{gaine}}}{n_{\text{cœur}}}$$



On appelle ouverture numérique (O.N.), le sinus de l'angle θ formé entre l'axe de la fibre et le rayon le plus incliné que la fibre peut guider. L'ouverture numérique est donnée par la relation :

$$\text{O.N.} = \sin \theta = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

θ est l'angle d'incidence maximal du rayon entrant dans le cœur et qui permet d'avoir un angle d'incidence à l'interface entre le cœur et la gaine supérieur à l'angle limite de réflexion totale.

4.3. L'élargissement temporel

Tous les rayons entrant dans la fibre optique suivent un trajet différent selon de leur angle d'entrée.



Les rayons (1) et (2) sont émis au même instant mais le rayon (2) parcourt une distance plus importante.

On appelle **élargissement temporel**, Δt , la différence entre la durée du trajet le plus long et celle du trajet le plus court parcouru par un rayon lumineux guidé par la fibre.

Les fibres optiques modernes (gradient d'indice et monomodale) diminuent fortement l'élargissement temporel, ce qui permet de transmettre plus d'informations. Le débit d'une fibre optique à saut d'indice est d'environ 100 Mbit/s contre 10 Gbit/s pour une fibre monomodale. L'atténuation faible des fibres optiques ($0,3 \text{ dB.km}^{-1}$) permet le transport d'informations sur de longues distances (exemple : les câbles sous-marins).