

# Transmission de l'information

Annabelle Peyronnet, Lucie Marpaux

11 avril 2022

## Introduction pédagogique

Transmettre l'information	
Chaîne de transmission. Débit binaire.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Représenter le schéma de principe d'un système de transmission et identifier ses différents éléments.</li><li>- Comparer les ordres de grandeur de débit binaire d'une transmission par câble coaxial et par fibre optique.</li></ul>
Propagation libre d'ondes électromagnétiques.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Citer des exemples de transmission d'information par les ondes en champ libre.</li><li>- Expliquer la nécessité d'ondes porteuses pour transmettre plusieurs informations simultanément.</li><li>- Exploiter la relation entre la puissance surfacique en champ libre et la distance à la source.</li><li>- Distinguer l'atténuation due à la nature divergente d'une onde de son absorption par un milieu.</li></ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Mettre en œuvre une expérience de transmission libre d'un signal.</li><li>- Utiliser un filtre passe-bande pour sélectionner une onde porteuse.</li></ul>
Ligne bifilaire.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Citer des exemples de transmission d'information par des lignes bifilaires.</li><li>- Exploiter la relation entre la distance parcourue et les puissances en entrée et en sortie.</li><li>- Associer l'atténuation à l'absorption par le milieu.</li></ul>
Fibre optique à saut d'indice. Ouverture numérique. Débit.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Expliquer le principe du guidage par une fibre optique.</li><li>- Déterminer l'expression de l'angle de réfraction limite en fonction des indices et en déduire la valeur de l'ouverture numérique de la fibre optique.</li><li>- Expliquer qualitativement l'élargissement temporel d'une impulsion au cours de la propagation et son influence sur le débit maximal.</li><li>- Exploiter la relation entre la distance parcourue et les puissances en entrée et en sortie.</li></ul> <p><b>Capacité expérimentale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Mesurer l'ouverture numérique d'une fibre optique.</li></ul>

FIGURE 1 – Programme terminale STL

Niveau : Terminale (STL)

### Prérequis :

- Notions sur les ondes : fréquence, célérité, longueur d'onde
- Notions d'optique : lois de Snell-Descartes, indice de réfraction, réflexion totale

### Difficultés :

- Ne pas mélanger les différentes étapes d'une chaîne de transmission
- Savoir sous quelle forme est transmise l'information selon les différentes transmission (électrique, OEM, optique...)
- Plusieurs canaux de transmission pour transmettre une même information (ex : télévision)

### En plus :

- Approche documentaire pour introduire le débit binaire, et comparer les débits des câbles/fibre optique.
- TP pour quantifier l'atténuation d'un signal dû au câble coaxial

**Objectif de cette séance :** comprendre comment est transmise l'information d'une source à son destinataire.

**Speech :** Cette leçon intervient dans le cadre de la séquence transmettre l'information au niveau STL. Elle a pour but de montrer aux élèves que les ondes permettent de transmettre l'information ainsi que d'étudier différents modes de transmissions. J'envisagerai un cours sur la numérisation du signal en amont de ce cours, ainsi qu'un cours sur le stockage de l'information pour terminer cette séquence.

**Biblio :** Micromega TS, Hachette TS

## Introduction

La volonté de communiquer a toujours existée, on peut citer notamment les indiens qui communiquaient grâce à des signaux de fumée. Depuis avec le développement de l'électronique durant le 20ème siècle, des moyens de transmettre l'information plus efficaces ont été mis en place. La transmission de l'information est un enjeu majeur de notre société et se retrouve dans de nombreux domaines : la téléphonie (comment votre conversation est elle transmise à votre interlocuteur ?), la télévision ou internet sont d'autant de domaines où on a besoin d'une transmission efficace de l'information.

**Quelques définitions :** **Information :** C'est un **ensemble de connaissances codées** à l'aide de règles communes à un ensemble d'utilisateurs.

Les informations peuvent être transmises sous formes de différents signaux : sonore, électromagnétique, électrique...

Quand on parle de transmission de l'information on parle souvent du phénomène d'atténuation : le fait que l'onde reçue est atténuée par rapport à celle émise. Pour cela on définit **l'atténuation** comme :

$$A = \frac{P_{\text{reue}}}{P_{\text{emise}}}$$

avec les puissances en W. Ou encore en décibels :

$$A_{\text{dB}} = 10 \log\left(\frac{P_{\text{reue}}}{P_{\text{emise}}}\right)$$

On définit également un **coefficient d'atténuation linéique** pour s'affranchir de la distance :

$$\alpha_{\text{dB}} = \frac{A_{\text{dB}}}{L}$$

où  $\alpha$  est en dB/m et L la longueur sur laquelle le signal est transmis en m.

**Une chaîne de transmission** peut être schématisée de cette façon : un émetteur qui émet l'information de la source, celle ci est transmise via un canal de transmission, le signal est ensuite reçu par un récepteur.

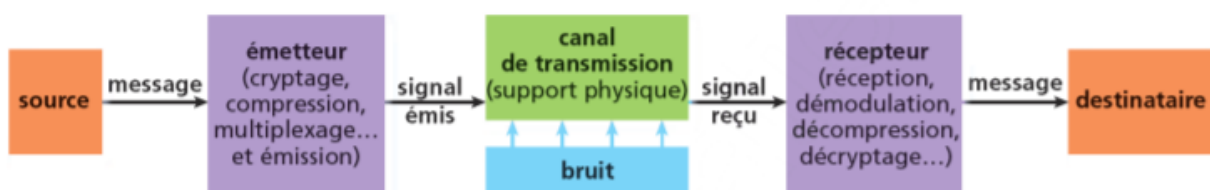


FIGURE 2 – Schéma d'une chaîne de transmission (Migromega TS)

Prenons l'exemple d'un appel téléphonique : La source est la personne parlant au téléphone, son téléphone joue le rôle d'émetteur, le message est transmis jusqu'au téléphone de la personne qui écoute, ce téléphone

est le récepteur, le destinataire est la personne qui écoute.

Ce cours va essentiellement se concentrer sur les canaux de transmission : c'est à dire la voie par laquelle le signal se propage. La propagation peut être libre : les ondes peuvent se propager dans toutes les directions ou guidée : les signaux utilisent une ligne de transmission.

On va prendre un exemple concret lors de tout ce cours : comment se propage le signal émis par la source des programmes TV à votre télévision ?

## 1 Transmission hertzienne - Propagation libre des ondes hertziennes

La première étape est la propagation du signal de la source à votre antenne. Cela se fait par propagation libre. Nous allons voir de quoi il s'agit.

### 1.1 Définition des ondes hertziennes

Les ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont comprises entre  $10^{-3}$  m et  $10^4$  m ce qui équivaut à une fréquence comprise entre  $3.10^{11}$  Hz et  $3.10^4$  Hz. Par exemple pour  $\lambda = 10^4 m$  on a  $f = \frac{c}{\lambda} = 3.10^4 Hz$

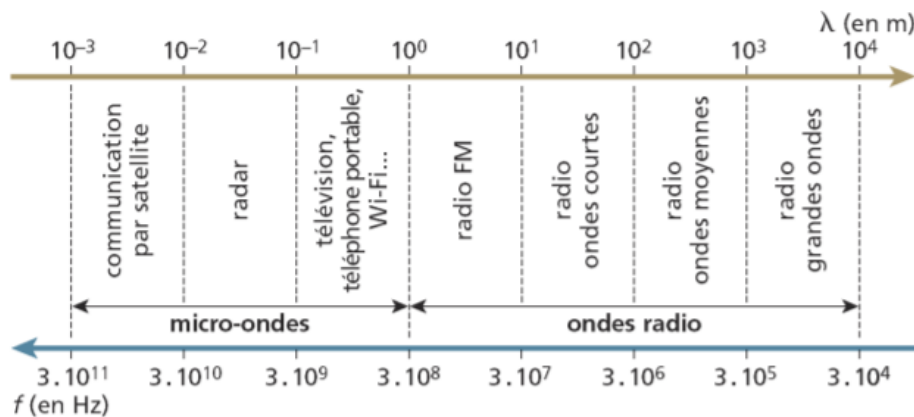


FIGURE 3 – Domaines de fréquences des ondes hertziennes (Migromega TS)

Par exemple la fréquence que vous lisez sur votre radio est de l'ordre 100 MHz soit  $10^8$  Hz. C'est le même ordre de grandeur pour la télévision.

### 1.2 Propagation libre

Les ondes hertziennes se propagent dans toutes les directions de l'antenne émettrice à l'antenne receptrice : on dit que la propagation est libre. En effet, les OEM n'ont pas besoin de milieu matériel pour se propager et donc ne nécessitent pas de fil de transmission.

Ce mode de propagation possède plusieurs avantages : il peut y avoir plusieurs récepteurs qui peuvent être mobiles, pas de matériaux à fabriquer le milieu de transmission existe déjà. Cependant il y a aussi des inconvénients : sensibilité aux perturbations, régulation des signaux régulée : Vous vous rappelez sûrement qu'en 2011 on est passé de la TAT à la TNT pour la télévision, c'était pour laisser une plus grande plage de fréquence à la téléphonie mobile (développement de la 4G).

**Transition :** Le signal est maintenant arrivé à l'antenne hertzienne sur le toit, comment est-t-il transmis jusqu'à votre téléviseur ? Le signal va être guidé jusqu'à votre téléviseur.

## 2 Transmission par câble ou fibre - Propagation guidée

On va étudier deux types de propagations guidées : la propagation grâce à un câble coaxial et celle grâce à une fibre optique.

### 2.1 Câble coaxial - Principe

C'est grâce à un câble coaxial que le signal est transmis de l'antenne à votre téléviseur. Un câble coaxial est constitué d'un conducteur comme le cuivre qui constitue l'âme, d'un isolant, d'un deuxième conducteur et finalement d'une gaine isolante.

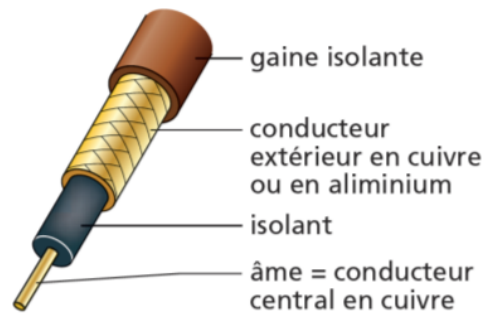


FIGURE 4 – Câble coaxial (Micromega TS)

L'information est transmise sous forme de signal électrique.

### 2.2 Câble coaxial - Mesure de la vitesse de propagation dans un câble coaxial et mise en évidence de l'atténuation

Manipulation : On veut mesurer la vitesse de propagation du signal dans un câble coaxial. Pour cela on mesure le retard  $\Delta t$  entre le signal émis et le signal sortant sur un câble donc on connaît la longueur.

$$v = \frac{L}{\Delta t}$$

On a des incertitudes sur cette mesure (on les prend de type B) :

- sur la longueur du câble mesurée  $u_L = 10\text{cm}$
- sur le retard mesuré à l'oscilloscope  $u_{\Delta t} = \frac{8}{\sqrt{3}} * 2$  (pour les deux curseurs)

La formule de propagation des incertitudes nous donne :

$$u_v = v * \sqrt{\left(\frac{u_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{u_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2}$$

**Mesure** Mode Burst GBF : impulsion, fréquence 1,6 MHz

$$\Delta t = 532 \text{ ns}; L = 100 \text{ m}; \text{ d'où } v = 1,88 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Cette manipulation nous permet aussi de remarquer un autre phénomène : l'atténuation du signal. Donner les tensions d'entrées et de sortie. On quantifiera cette atténuation lors d'un prochain TP.

**Transition** Cette atténuation est une limite de l'utilisation du câble coaxial. On ne l'utilise donc pas pour des transmission d'informations sur de grandes distances. Pour avoir une transmission meilleure on peut utiliser la fibre optique c'est ce qu'on va voir dans la prochaine partie.

## 2.3 Fibre optique

Depuis quelques années déjà la France équipe ses foyers de la fibre optique. On l'utilise préférentiellement pour des transmission d'information sur de longues distances car l'atténuation est faible et peu de sensibilité au bruit. Comment cela fonctionne ?

Une fibre optique est un fil en verre ou plastique permettant de transmettre des ondes lumineuses. Dans une fibre optique à saut d'indice la propagation va reposer sur le phénomène de réflexion totale. On va revoir comment appliquer cette notion que vous avez vu en cours d'optique au cas d'une transmission d'un signal par une fibre optique.

Une fibre optique à saut d'indice est composé d'un coeur d'indice  $n_1$  entouré d'une gaine d'indice  $n_2$ . La gaine est moins réfringente que le coeur.

**Faire le schéma au tableau.**

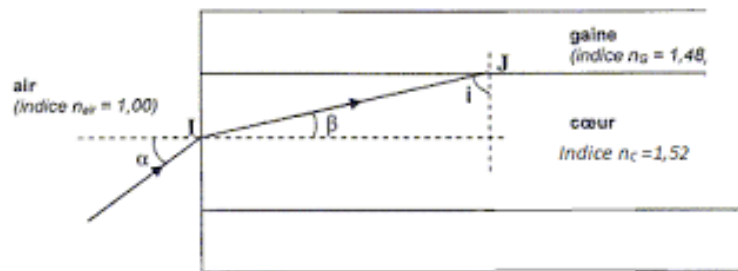


FIGURE 5 – Fibre optique (internet)

On veut qu'il y est réflexion totale. Rappel de ces conditions : c'est possible si  $n_1 > n_2$  et si angle d'incidence est supérieur à un angle  $i_{lim} = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$ . On redémontrera dans un TD cette formule.

Le principal inconvénient de la fibre optique est que c'est cher à produire, c'est pourquoi tout le monde n'en n'est toujours pas équipé.

## Conclusion

On a vu dans ce cours comment identifier les différents éléments d'une chaîne de transmission : de la source au récepteur en passant par l'émetteur et des canaux de transmissions. On a ensuite vu deux modes de transmission différents : propagation libre et guidée. Une fois l'information récupérée, on peut la stocker, sur un CD par exemple et ce sera l'objet d'un prochain cours.

## Questions

**Constitution câble coaxial** Formé d'un diélectrique de permittivité  $\epsilon$  et de perméabilité  $\mu$  inséré entre deux cylindres conducteurs de rayons différents (b et a).

Relation de dispersion dans un câble coaxial idéal  $\omega^2 = \frac{k^2}{LC}$  avec C capacité linéique  $C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)}$  et L inductance linéique  $L = \frac{\mu}{2\pi\ln(b/a)}$ .

v vaut environ 0,65c (cohérent avec la valeur) pour les câbles de TP car  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$

**Réflexion câble coaxial** Adaptation d'impédance avec résistance variable

**câble coaxial : vitesse de phase, de groupe et erreurs** Autres sources d'erreurs liées aux défauts de la ligne réelle (résistance et conductance parasites) + effets de bords. Ici on ne considère que les incertitudes de mesures et pas ces incertitudes au vu du niveau de la leçon. Dans un câble coaxial réel la tension et le courant dépendent de x. On prend une fréquence d'impulsion élevée possible où le signal n'est pas distordu. La définition de la vitesse est plus compliquée si on considère que e paquet d'onde subit de la distorsion. Ici c'est la vitesse de groupe qu'on mesure si on se met en régime impulsionnel (donc pas sinus

plus burst mais pulse mais après à ce niveau ils ne connaissent pas vraiment la différence et à haute fréquence les deux sont proches). Comme il y a des effets dispersifs la vitesse de phase dépend de la fréquence donc on ne se met pas en régime harmonique mais en mode impulsif parce que ça envoie plein de fréquences et on s'affranchit de la dispersion.

**Fibre optique** Matériaux silice pour gaine et coeur écart d'indice entre le coeur et la gaine en incorporant des dopants, tels que le germanium et le phosphore.

**coefficient d'atténuation linéique**  $10^{-4} dB/m$  pour fibre optique 0,2 dB/m pour le câble coaxial

### Question du jury

- Intro péda : Ou placer cette leçon dans l'année ? milieu d'année. Essentiel à retenir dans la leçon ? Schéma chaîne de transmission, exemples de canaux. Quels exemples de canaux seraient acceptables ? Tout avec justification ? TP prévus avec ce cours ? Pourquoi terminal STL ? Choix perso
- Leçon : intro : Moyen de transmettre des signaux optiques ? Fibre optique, propagation libre. Chaîne de transmission pour le signal de fuméN Pourquoi c'est pertinent de parler d'atténuation quand on parle de transmission ? Intérêt de parler d'atténuation dB ? Pourquoi ici 10 log ici et 20 log en électricité ? Notion d'humain importante dans le cas de l'information ? Différence entre onde électromagnétique et optique ? Explication du coefficient d'atténuation linéique. Chaîne de transmission pour le téléphone, qu'est ce qui se propage dans l'air ? Pourquoi ne pas imbriquer les chaînes de transmission ?
- Grand 1) Comment fonctionne la télévision satellite ? Définition de propagation libre. Définition de propagation guidée. Qu'est ce que serait un canal dans le cas de la télévision. Quel serait le pb si il y avait des recouvrement dans les signaux ? A quoi ressemble l'onde pour la propagation libre ? Atténuation en quoi ? Comment on le retrouve ? En se plaçant en r, quel est la puissance reçue.
- grand 2) C'est quoi le bruit ? Quelle est la partie du câble qui protège du bruit ? Pourquoi on a besoin de 2 conducteurs ?
- Manip : Vocabulaire : retard remplacé par propagation. Quel est l'intérêt de v ? Étonnée de voir que ce soit de l'ordre de  $10^8$  m/s ? Pourquoi utiliser burst+ sinusoïde ? Pédagogique. Ré-expliciter la manip. Incertitude sur la longueur du fil ? Choix du curseur = pourquoi se placer au début du front montant ? Moins d'incertitude à l'annulation ? Incertitude de type A ou B ? Incertitude à 95 %, qu'est ce que ça veut dire ? Hypothèse en faisant ces incertitudes ? Gaussienne et indep. du signal. Explication physique de pourquoi ça s'atténue ? Quelle condition au bord pour le câble coaxiale ? Idée des impédances mises en jeu ? 50 ohm. Autre fibres que celles à saut d'indice ? Monomode, grad. de n. Phénomène physique mis en jeu ? Toujours de la réflexion totale ? Quels avantages et inconvénients à chaque ? Forme des signaux mis dans la fibre optique ? Imposer un angle d'entrée pour la réflexion totale : ajout d'une limite ? Comment expliquer la faible sensibilité au bruit de la fibre par rapport au câble coax ? Est ce que tu peux rentrer par le côté de la gaine ? Est ce que tu peux passer de la gaine vers le coeur ? Le signal arrive pas au bout, quel phénomène physique nous sauve ? Absorption.

## 3 Commentaire

Faire le lien conversion de l'info : transmission Parler de la dispersion : c'est le pb de la fibre optique. Mettre exemples concrets : bande passante de Netflix par exemple. Signaux de fumé : forme et espace entre les nuages ? Ajouter des ODG, des couleurs, mieux maîtriser la manip, ajouter des transitions (pq besoin de propagation libre) Mettre les définitions dans une première partie Pourquoi c'est pas bien les ondes libres ? Énergie conservée sur une sphère (diminue  $1/r^4$ ) Bien définir libre/guidée Définir ce qu'est le signal et ce qu'est le bruit. Mettre des éléments de vocabulaire ("omni dimensionnel") Échanger ex du téléphone avec la télé ? Prendre plutôt parler à quelqu'un : tympan, oreille, corde vocale. Pleins de choses à faire en TP : transmettre musique par un LASER, utiliser une fibre optique. Expérience ; le 2<sup>ème</sup> conducteur sert à bloquer du bruit (cage de Faraday). Gaine sert à pas s'électrocuter. Autre manip' = optique

Attention : On envoie pas un sinus mais un sinus dans un burst. Intervalle à 95 % si on fait la mesure pleins de fois 95 % de retomber dans cet intervalle ( il y a pas forcément la valeur vraie dedans) Attention passe de l'air à la fibre sans refraction (ici introduire la dispersion) (prendre plusieurs longueurs d'onde différentes). Dessiner l'angle limite par rapport à l'angle normal. ODG sur 100 km plutôt que alpha. Difficultés des élèves : unité dB.