

Section 1 - Éléments d'un système de communication

Gunes Karabulut Kurt Adam Osmani
Mohamed Anis Mekkaoui

Monday 31st March, 2025

Abstract

Dans le domaine des télécommunications, la transmission efficace et fiable des données est essentielle. Chaque système de communication vise à transmettre des informations d'une source à une destination via diverses étapes de traitement et un support physique. Comprendre ces étapes et leurs rôles dans l'optimisation des performances est fondamental pour concevoir des systèmes modernes. **ELE3701A - Éléments de télécommunications**, explore ces concepts en profondeur. Cette première section présente le contenu du cours et donne des définitions étayées par des exemples pratiques.



1 Introduction

Un système de communication établit le pont de communication entre l'émetteur et le récepteur. Pour établir ce pont de communication entre l'émetteur et le récepteur, il faut d'abord avoir un message à envoyer. Ce message provient de la source d'information, et vise à être récupéré à la destination. L'objectif de cette section est d'identifier des éléments fondamentaux d'un lien de communication point à point (**O1**).

Un système de communication se compose de cinq éléments (sous-systèmes) fondamentaux :

1. la source
2. l'émetteur
3. le multiplexeur
4. le canal
5. le démultiplexeur

6. le récepteur
7. la destination

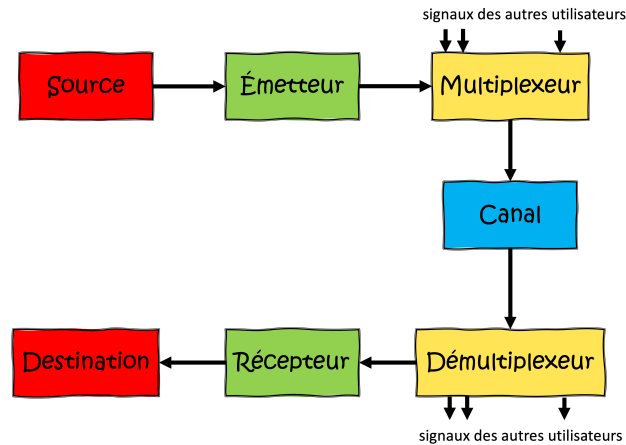


Figure 1: Éléments fondamentaux d'un modèle de système de communication point à point

Notez que chaque élément possède des signaux d'entrée et de sortie, comme l'indique la figure. Chaque élément peut être considéré comme un système distinct. Vous trouverez ci-dessous les explications détaillées de chaque élément.

Attention

Dans les systèmes de communication, certains termes sont utilisés pour exprimer des concepts différents en fonction du contexte (comme le codage et la modulation). Il est important de faire les distinctions en fonction de l'application particulière.

1.1 Source

Définition: Source *En télécommunications, une source est l'origine des signaux de message à transmettre, tels que des données numériques, de la voix, des images ou des vidéos.*

- **entrée** : Aucune
- **sortie** : Signal de message

La nature de ces signaux détermine leur traitement initial. Le signal de message à la sortie de la source peut être analogique ou numérique. Une **source**

continue (*continous source*) génère des signaux de messages analogiques, c'est-à-dire que le signal à la sortie prend des valeurs continues en amplitude et dans le temps. Une **source discrète** (*discrete source*) génère des signaux numériques, qui prend des valeurs continues en amplitude et est discrète dans le temps.

1.2 Exemple d'une source continue :

- Voix humaine :

Exemple pratique

- **Source continue** : Lorsque nous parlons, les vibrations des cordes vocales et les mouvements des lèvres produisent des ondes sonores analogiques, qui varient de manière continue en amplitude et en temps.
- **Source discrète** : Un microphone convertit la voix en un signal électrique continu, mais un enregistreur numérique effectue un **échantillonnage** (prélève des valeurs à intervalles réguliers, par exemple 44 100 Hz pour un CD audio) et une **quantification** (arrondis les amplitudes à des valeurs discrètes). Le signal devient une séquence de nombres discrets pouvant être stockée ou traitée par un ordinateur.

1.3 Émetteur (*Transmitter*)

Définition: Émetteur *L'émetteur est un composant essentiel qui prépare les données de la source pour les transmettre via un canal. Selon la nature des signaux de message et le type de communication, un émetteur peut être classé en deux types principaux; **communications analogiques** et **communications numériques**.*

- **entrée** : Signal de message
- **sortie** : Signal émis

Définition: Émetteur pour communications analogiques *Un émetteur pour communications analogiques traite des signaux continus, tels que des signaux électriques, acoustiques ou lumineux, qui varient de manière continue dans le temps et l'amplitude. La fonction fondamentale est **modulation analogique**. Avec modulations les signaux générés par une source analogique (par exemple, un microphone) sont convertis en signaux modulés analogiques pour être transmis.*

- **entrée** : Signal de message (analogique)

- **sortie** : Signal émis (analogique)

Définition: Émetteur pour communications numériques *Un émetteur pour communications numériques traite des signaux discrets où les données sont codées sous forme de bits (0 et 1). Ces bits sont ensuite modifiés pour être adaptés à la transmission. Les fonctions sont le **codage de source** (pour la compréhension), le **codage de canal** (pour aider à récupérer les erreurs qui seront induites par le canal) et la **modulation numérique** (pour aider à transférer les signaux sur de longues distances).*

- **entrée** : Signal de message (numérique)
- **sortie** : Signal émis (numérique)

Définition: Codage de source *Le **codage de source** (source coding) est utilisé pour compresser les données dans le plus petit nombre de bits. Elle supprime les bits inutiles. L'objectif est d'utiliser un nombre réduit de bits pour représenter le même message.*

- **entrée** : Signal de message (numériques, binaires)
- **sortie** : Signal de message compressé (numériques, binaires)

Attention

Au cours de notre discussion, l'entrée et la sortie du codeur de source sont binaires.

Définition: Code de canal *Le **codage de canal** (channel coding) est utilisé pour la détection ou la correction des erreurs de bit. Dans un codeur de canal, nous ajoutons des bits au signal à transmettre. Ces bits sont les bits de correction d'erreurs et sont inclus selon un code particulier qui détermine ses règles de calcul. En utilisant ces bits supplémentaires, le récepteur peut être en mesure de corriger l'erreur de bit.*

- **entrée** : Signal de message (numériques, binaires)
- **sortie** : Signal de message doté de parités (numériques, binaires)

Attention

Au cours de notre discussion, l'entrée et la sortie de codeur de canal sont binaires.

Définition: Modulation numérique *Ensuite, les bits à la sortie du codeur de canal seront modulés par le modulateur. Ce système est nommé **modulation numérique** (digital modulation).*

Ici, le signal à transmettre est modulé par **une onde porteuse** (*carrier wave, a.k.a. carrier*). Une onde porteuse est utilisée pour la transmission efficace de données sur de longues distances. Les signaux cosinus sont utilisés comme ondes porteuses. Les ondes cosinus et sinus sont des fonctions propres de systèmes linéaires invariants dans le temps. Les messages peuvent être inclus dans l'amplitude, la phase ou la fréquence de l'onde porteuse.

Si la source est discrète, nous pouvons directement utiliser un codeur de source. Si la source génère des signaux analogiques, il faut utiliser un **convertisseur analogique-numérique** (*Analog to digital converter; A/N*) avant d'utiliser un codeur de source.

Définition: Convertisseur analogique-numérique *Un A/N convertit un signal analogique continu en un signal numérique discret, pour qu'il soit traité et transmis efficacement (exemple: lorsqu'un son est enregistré pour un podcast, il est transformé en signal numérique).*

- **entrée** : Signal de message (analogique)
- **sortie** : Signal de message (numérique)

Exemple pratique

- Émetteur pour communications analogiques
 - Radio analogique (AM, FM).
 - Télévision analogique.
 - Téléphonie fixe classique (PSTN).
- Émetteur pour communications numériques:
 - Téléphonie mobile (4G, 5G).
 - Wi-Fi, Bluetooth.
 - Télévision numérique (DVB-T).

1.4 Multiplexeur (*Multiplexer*)

Définition: Multiplexeur *Le **multiplexeur** (MUX) permet de combiner les signaux de plusieurs utilisateurs en un seul signal pour une transmission efficace sur un canal commun. Il joue un rôle crucial dans l'optimisation de l'utilisation des ressources*

- **entrée** : Signaux émis de plusieurs utilisateurs

- sortie : Un seul signal émis (combiné)

Exemple pratique

- Communications par fibre optique utilisant le multiplexage en longueur d'onde (WDM; Wavelength Division Multiplexing).
- Les réseaux sans fil (Wi-Fi, 4G/5G) et les transmissions numériques (DVB, DAB) utilisent multiplexage par division de fréquence orthogonale (OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

1.5 Canal (*Channel*)

Définition: Canal Le *canal* (*channel*) est le support physique par lequel le signal est transmis entre l'émetteur et le récepteur. Il peut introduire du bruit et des distorsions affectant la qualité de la transmission.

- **entrée** : Signal émis
- **sortie** : Signal reçu

Exemple pratique

- Une fibre optique pour Internet haut débit (faible atténuation et capacité élevée).
- Les ondes radio pour les communications sans fil, comme le Wi-Fi ou les réseaux cellulaires.

1.6 Démultiplexeur

Définition: Démultiplexeur Le *démultiplexeur* (*DEMUX*) sépare un signal combiné provenant de plusieurs utilisateurs en plusieurs flux individuels. Il est utilisé en complément du multiplexeur pour reconstituer les signaux d'origine une fois la transmission terminée.

- **entrée** : Un seul signal reçu
- **sortie** : Signaux reçus de plusieurs utilisateurs

1.7 Récepteur (*Receiver*)

Définition: Récepteur *Le **récepteur** (receiver) récupère et traite le signal reçu pour restaurer les informations originales. Il joue alors un rôle clé en récupérant le signal, en corrigeant les erreurs et en reconstruisant les messages originaux.*

- **entrée** : Signal reçu
- **sortie** : Signal de message estimé

Au récepteur, les fonctions d'émetteur sont répétées dans l'ordre inverse. Il doit donc être configuré en fonction de l'émetteur analogique ou numérique sélectionné. L'objectif est de reproduire le plus correctement possible le signal du message à la destination (donc nous voulons : Signal de message estimé \approx Signal de message)

1.8 Destination

Définition: Destination *La **destination** est le point final où les informations sont utilisées. Cela peut être un utilisateur humain ou un autre système.*

Exemple pratique

- Une personne regardant une vidéo sur YouTube.
- Un serveur recevant une requête HTTP d'un navigateur Web.

2 Ressources de communication : Puissance (*Power*) et Largeur de Bande (*Bandwith*)

Dans les systèmes de communication, la **puissance** et la **largeur de bande** sont deux **ressources fondamentales** nécessaires à la transmission et à la réception des informations. Une gestion efficace de ces ressources est essentielle pour garantir la fiabilité, la capacité et la qualité des communications. Une utilisation efficace de la puissance et de la largeur de bande permet de minimiser les pertes et de réduire l'empreinte carbone pour une conception durable.

L'objectif de conception

L'objectif de conception d'un système de communication est de minimiser les erreurs de transmission tout en minimisant l'utilisation des ressources.

2.1 Puissance

Définition: Puissance *La **puissance** d'un signal est nécessaire pour transmettre des signaux à travers un canal de communication. Elle est cruciale pour surmonter l'atténuation, le bruit et d'autres dégradations dans le canal.*

Une puissance de transmission suffisante permet au signal de se propager jusqu'au récepteur sans être complètement dégradé par le bruit ou l'atténuation.

Une puissance plus élevée améliore le **rapport signal-bruit** (*Signal-to-noise-ratio*; SNR), ce qui entraîne une meilleure qualité du signal et un taux d'erreurs réduit. En plus, une puissance accrue permet aux systèmes de communication, comme les tours cellulaires ou les satellites, de couvrir de plus grandes zones.

Exemple pratique

- Dans les réseaux cellulaires, les stations de base nécessitent une puissance importante pour maintenir la connectivité avec les utilisateurs éloignés de l'antenne.
- Les satellites en orbite géostationnaire utilisent une forte puissance pour transmettre des signaux sur de longues distances jusqu'à la Terre, tout en surmontant les pertes atmosphériques.
- L'efficacité énergétique est cruciale pour les dispositifs alimentés par batterie, comme les capteurs, qui doivent transmettre des données sur de longues périodes sans recharge fréquente.

Attention

Une consommation de puissance élevée peut entraîner des coûts opérationnels importants et un impact environnemental accru. De plus, les appareils alimentés par batterie nécessitent une gestion rigoureuse de l'énergie pour prolonger leur durée de vie.

2.2 Largeur de bande

Définition: Largeur de bande *La **largeur de bande** correspond à l'étendue des fréquences disponibles pour la transmission d'un signal.*

Elle détermine le débit maximal que peut atteindre un système de communication numérique. Une plus grande largeur de bande permet un débit de données plus élevé. Une largeur de bande suffisante garantit que le signal transmis n'est pas déformé ou limité par une allocation de fréquence insuffisante.

Exemple pratique

- Une largeur de bande accrue permet des transmissions de données rapides, soutenant des applications comme le streaming, la réalité virtuelle et les véhicules autonomes.
- Une grande largeur de bande est essentielle pour transmettre plusieurs chaînes TV ou des services Internet à haut débit via satellite.
- Les systèmes téléphoniques PSTN allouent une largeur de bande d'environ 4 kHz pour assurer l'intelligibilité de la voix.

Attention

La largeur de bande est une ressource limitée et coût élevé, et l'attribution du spectre doit équilibrer les besoins de différents services (radio, télévision, mobile). Une demande accrue de bande passante peut entraîner une congestion dans les bandes de fréquences très utilisées.

Attention

Il y a un équilibre entre puissance et largeur de bande. La puissance et la largeur de bande sont interconnectées dans les systèmes de communication, et leur allocation nécessite des compromis. Une augmentation de la puissance permet une transmission fiable avec une largeur de bande réduite. Une augmentation de la largeur de bande réduit la puissance nécessaire pour atteindre un débit de données spécifique.

3 Résumé

En résumé, les systèmes de communication modernes reposent sur des éléments bien définis, allant de la source à la destination et protégés par des mécanismes de correction des erreurs. Chacune de ces étapes est essentielle pour assurer une communication efficace et fiable, malgré les contraintes imposées par les caractéristiques physiques des canaux et les besoins en ressources limitées. Ces bases permettent d'aborder les défis plus complexes liés à la conception de réseaux et de systèmes avancés.