

Techniques de Transmission de Données

Mastère 1

Michaël Beuve
Université Lyon 1

Laboratoires :

LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique en Images et Systèmes d'information)

INPL (Institut de Physique Nucléaire de Lyon)



Michael BEUVE / Transmissions de données / Mastère 1



1

Objectifs du cours

- **Apporter un ensemble de fondements**
=> **comprendre la couche physique des transmissions de données**
- **Sensibiliser à la démarche et à la culture scientifique**
=> proposer une méthode d'analyse de problème



Michael BEUVE / Transmissions de données / Mastère 1

2

Objectifs du cours

Attitudes face à un problème à résoudre...

- **Analyser** le problème
- Le **formaliser**, prendre du recul
- Esprit **critique, rigueur**
- Posséder certaines démarches pour les **résoudre**

Michael BEUVE / Transmissions de données / Mastère 1

3

Démarche pédagogique du cours

- Partir de quelques problèmes technologiques
- Expliquer la physique que cachent ces problèmes (formalisation, étude plus générale, traitement du signal)
- Etudier en détails un mode de transmission :
 - La transmission par fils
- Expliquer les stratégies employées pour ce mode... .. avec un regard assez général
- Donner un aperçu des autres modes de transmissions
- Mise en pratique (exercices) pour mieux assimiler



Michael BEUVE / Transmissions de données / Mastère 1

4

Problèmes technologiques???

- Peut-on brancher des **modules** sans précaution ?
- Comment transmettre de l'information ?
- Que devient un signal après émission ?
- Quelles stratégies pour accroître le débit de données ?
- Comment faire passer en même temps plus d'une information ?
- Qu'est ce que la transmission numérique ?
- Avantages du numérique par rapport à l'analogique ?
- ...

Michael BEUVE / Transmissions de données / Mastère 1

5

Démarche pédagogique du cours

- **Partir de quelques problèmes technologiques**
- Expliquer la physique que cachent ces problèmes (formalisation, étude plus générale, traitement du signal)
- Etudier en détails un mode de transmission :
 - La transmission par fils
- Expliquer les stratégies employées pour ce mode... .. avec un regard assez général
- Mise en pratique (exercices) pour mieux assimiler



Michael BEUVE / Transmissions de données / Mastère 1

6

Conseils sur la méthode de travail

- Polycopiés = **uniquement** copies des transparents
 - ⇒ Prendre des notes
(en particulier exercices)
- Très régulièrement **comprendre** et apprendre
(Guide : les formules encadrées / soulignées en vert doivent être apprises)
- Savoir **refaire** les exercices

Généralités sur les modes de transmission

Information = Ensemble d'**états énergétiques**

Mémorisation de l'information = **Stockage** sur support de ces états d'énergie

Traitement de l'information = **Modification** des états d'énergies

Transmission de l'information = **Transport** de ces états d'énergie

Les opérations de stockage, modification ou transport dépendent de la forme d'énergie utilisée

Généralités sur les modes de transmission

Quelques formes d'énergie et leurs supports de transmission

Forme	Signal	Support de transmission
Ondes de compression	Signal sonore	Air, eau (solide, liquide, gaz)
Chimique	Ecriture Nerveux (électrique)	Variable (Train, homme, avion...) Nerfs
Tension, courant	Signal électrique	Fils
Ondes électromagnétiques	Faisceaux hertziens Signal optique	Vide, atmosphère, ionosphère... Vide, air, fibres optiques

Généralités sur les modes de transmission

La couche physique :

fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaison de données.

Objectif important = être sûr que si l'émetteur envoie un bit à 1 alors le récepteur reçoit un bit à 1

⇒ Les normes et standards de la couche physique définissent:

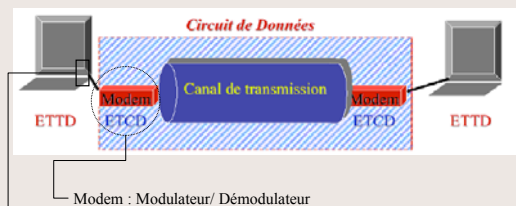
- le type de signaux émis (modulation, puissance, portée...),
- la nature et les caractéristiques des supports (câble, fibre optique...),
- les sens de transmission...

Généralités sur les modes de transmission

Schéma Général :

ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données

ETCD : Equipement Terminal de Circuit de Données



Contrôleur de communication => bus

Généralités sur les modes de transmission

Sens de communications :

une liaison entre 2 équipements A et B peut être :

- **Simplex (unidirectionnelle)** : A est toujours l'émetteur et B le récepteur
 - banc de mesure (un ordinateur recueillant les données mesurées)
 - Radio diffusion
 - GPS
- **Half-duplex (bidirectionnelle à l'alternat)** : le rôle de A et B peut changer, la communication change de sens à tour de rôle
 - talkies-walkies
- **Full-duplex (bidirectionnelle simultanée)** : A et B peuvent émettre et recevoir en même temps
 - téléphone

Cas de la transmission numérique

Série ou parallèle

La transmission de plusieurs bits peut s'effectuer :

- **En série** : les bits sont envoyés les uns derrière les autres de manière **synchrone** ou **asynchrone**.
 - **Mode synchrone** : l'émetteur et le récepteur se mettent d'accord sur une base de temps, un **top d'horloge**, qui se répète régulièrement durant tout l'échange. À chaque top d'horloge (ou k tops d'horloge k entier fixé définitivement) un bit est envoyé et le récepteur saura ainsi quand lui arrive les bits.
 - **Mode asynchrone** (pas de négociation préalable) : chaque caractère envoyé est précédé **d'un bit de start** et immédiatement suivi **d'un bit de stop**.
=> calage de l'horloge du récepteur

Cas de la transmission numérique

Série ou parallèle :

- **En parallèle** : les bits d'un même caractère sont envoyés en même temps chacun sur un fil distinct. Ceci pose des problèmes de synchronisation
=> utilisé que sur de courtes distances (bus par exemple).

Cas de la transmission numérique

Horloge de cadence et Bauds :

Observation :

*Quel que soit le mode de transmission retenu, l'émission est toujours cadencée par une horloge dont la vitesse donne le débit de la ligne en **bauds**, c'est-à-dire le **nombre de tops d'horloge en une seconde**.*

Exemple 1 :

Ainsi, une ligne d'un débit de 100 bauds autorise 100 émissions par seconde. Si à chaque top d'horloge un signal représentant 0 ou 1 est émis, alors dans ce cas le débit en bit/s est équivalent au débit en baud.

Exemple 2 :

Cependant, on peut imaginer que le signal émis puisse prendre 2ⁿ valeurs distinctes (**Symboles**). Dans ce cas on dit que le signal a une **valence de m = 2ⁿ** (Ligne tél. : 2400 bauds => 56 kbit/s)

=> à chaque top n bits peuvent être transmis simultanément

Si **Débit de la ligne = x bauds => Débit en bit/s = n.x bit/s.**

Transmission en mode filaire

Mode de Transmission important...

... en particulier pour les réseaux locaux

Exemple : liaisons entre périphériques (écran, clavier, imprimantes...) et l'unité Centrale

Quelques dates :

- 1836 : télégraphe (Edward Davy, William Looke et Charles Wheatstone)
- 1844 : Invention du Morse (Samuel Morse)
- 1858 : Premier câble transatlantique (Etats Unis -Europe)
- 1876 : Le téléphone (Graham Bell)
- 1955 : SABRE (Semi Automated Business Related Environment)
=> Premier réseau informatique à but commercial : réalisé par IBM.
- 1958 : Premier Modem (données binaires sur ligne téléphonique)

Transmission en mode filaire

La paire de fils standard : Ensemble formé de :

- 2 conducteurs (voire plus)
- entourés d'une gaine isolante
- et éventuellement enveloppés d'une gaine commune résistante mécaniquement



Avantages :

- Coûts très faibles

Inconvénients :

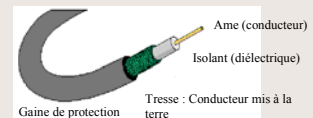
- Débits très faibles
- Pas de protection significative contre les parasites

Applications :

- Faibles distances (ex: courants porteurs)

Transmission en mode filaire

La paire coaxiale :



Conducteur extérieur : prévention contre les parasites

Isolant :

- permittivité relative la plus faible possible (polyéthylène)
- Epaisseur la plus grande possible

Gaine : manteau isolant muni d'une armure de bandes d'acier (effort)

Transmission en mode filaire

Avantages :

- Débits plus élevés (1 à 2 G Bits/s sur 2 km)
 - Propagation d'une onde dans l'isolant pour les hautes fréquences
 - Au-delà (Hyperfréquences) utilisation de guides d'ondes
- Longues distances (répéteurs espacés de 2 à 9 km)
- Bonne protection contre les parasites
- Câble solide et maniable

Inconvénients:

- Coûts élevés
- Mauvaises caractéristiques à basse fréquence (<60 M Hz)
- Pertes deviennent importantes à hautes fréquences
- Poids élevés

Transmission en mode filaire

Utilisation :

- Interconnexion de différents réseaux locaux
 - Environnements perturbés par des parasites électromagnétiques (moteurs électriques par exemple)
 - Instrumentation et liaisons antennes récepteurs (ou émetteurs)
- => Progressivement remplacés par les fibres optiques pour les longues distances

Transmission en mode filaire

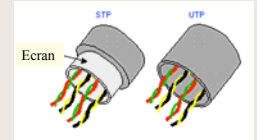
Exemple :

Caractéristiques / Type de câble	10Base5	10Base2
Diamètre extérieur	10.3 mm	4.62 mm
Poids	182,8 kg/km	39 kg/km
Impédance	50 ohms	50 ohms
Capacité	85 pF/m	83.3 pF/m
Affaiblissement		
1 Mhz	0.62 dB/100m	1.4 dB/100m
5 Mhz	1.21 dB/100m	---
10 Mhz	1.71 dB/100m	<8.5 dB/100m
Facteur de propagation	78 % de c	65 % de c

Paires symétriques torsadées

La **paire symétrique torsadée** (ou paire torsadée) :

Ligne bifilaire dans laquelle les deux conducteurs sont **identiques** et ont la même **conductance** et **capacité** par rapport à la terre.



Les **caractéristiques** dépendent essentiellement de la qualité de ces composants (diamètre et pureté des conducteurs), et de la nature des isolants et de leur longueur.

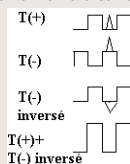
Paires symétriques torsadées

La **symétrie** :

=> réduit l'effet des inductions électromagnétiques parasites provenant de l'environnement

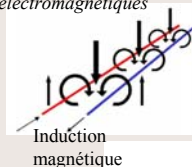
Principe :

- Envoyer sur chaque fil d'une paire le même signal mais de signe opposé
- S'il y a un parasite, il s'ajoutera de la même manière sur chaque fil d'une même paire
- Par différence le parasité disparaît



Paires symétriques torsadées

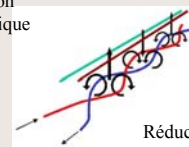
L'**enroulement hélicoïdal** : => réduit les pertes et échanges électromagnétiques



Induction magnétique



Diaphonie



Réduction de ces deux effets

Paires symétriques torsadées

Blindage :

- Protection contre les interférences variables
- + + S-STP (Shielded-Shielded Twisted Pair)



- + S-UTP (Shielded-Unshielded Twisted Pair)

- FTP (Foiled Twisted Pair)



- U-UTP (Unshielded-Unshielded Twisted Pair)



Paires symétriques torsadées

Catégories :

- (cat. 1-2) 64 Kbit/s sur des lignes de qualité standard téléphonique
 - (cat. 5, 6 et 7) pour les réseaux locaux 1000 Mbit/s sur 100 mètres environ
- Gigabit Ethernet sur câble cat. 5+ en utilisant 4 paires à 250 Mbit/s.

Dénomination	Caractéristique
Catégorie 1	Transport de la voix
Catégorie 2	Voix et Données 4MB/s
Catégorie 3	Voix et Données 10MB/s
Catégorie 4	Voix et Données 16MB/s
Catégorie 5	Voix et Données 100MB/s
Catégorie 6	Voix et Données 1000MB/s

Inconvénient :

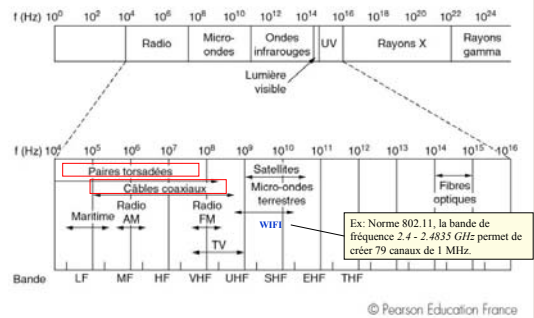
- Courte distance (25 m à 100m)
- Assez fragile

Paires symétriques torsadées

Exemple:

Nomenclature	Speed	Distance	Media
10BASE-T	10 Mbps	100m	Cuivre
100BASE-TX	100 Mbps	100m	Cuivre
1000BASE-CX	1000 Mbps	25m	Cuivre
1000BASE-T	1000 Mbps	100m	Cuivre

Transmission en mode filaire



Quelques comparaisons

	10 Mbits/s	100 Mbits/s	1000 Mbits/s	Duplex
Câble jaune	10base 5			Half
Thin Ethernet	10base 2			Half
Paires torsadées	10base T	100base TX	1000base TX	Full/Half
Fibre optique	10base FX	100base FX	1000base SX/LX *	Full/Half

Quelques comparaisons

Application	Débit de données
RS 232	jusqu'à 19,2 kbits/s
IBM 3270	2,36 Mbits/s
IBM AS400	1 Mbits/s
Ethernet/10BaseT	10 Mbits/s
Token Ring	4 et 16 Mbits/s
100BaseT	100 Mbits/s
100Base-VG	100 Mbits/s
Fast Ethernet	100 Mbits/s
FDDI	100 Mbits/s
TP-FMD	100 Mbits/s
Gigabit Ethernet	1Gbits/s - 10 Gbits/s
Fibre Channel	133 Mbits/s - 1 Gbits/s
ATM	25 Mbits/s - 1.2 Gbits/s

Transmission en mode filaire et électrocinétique

Dans le mode de transmission de données par fils, autant la **modélisation** et la **conception** des supports, que le développement des **techniques de transmission**... ont été construits sur les **principes de l'électrocinétique**

Du fait de **similitudes entre les phénomènes physiques** qui concernent le mode filaire (décrits simplement en électrocinétique) et les phénomènes des **autres modes de transmission**.

- ⇒ des analogies sont immédiates (*atténuation, déformations, superposition de signaux...*)
- ⇒ certaines techniques sont même directement généralisables

Tout ceci justifie l'étude assez détaillée de ce domaine.

Rappel des principes de l'électrocinétique

Deux notions importantes caractérisent ce formalisme

- 1- l'**Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires (ARQS)**
=>Lois de Kirchhoff
- 2- **La linéarité / superposition**

Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

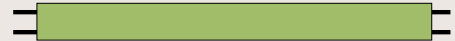
Principe

Un régime variable pour lequel les phénomènes de **propagation** peuvent être **négligés** est un régime quasi-stationnaire

- **Critère** $L \ll \lambda \Rightarrow$ Longueur * fréquence $\ll V_p$
(Vitesse de propagation)
- Ex 1: Circuits intégrés $1\mu\text{m} * 1\text{GHz} = 10^3 \text{ m/s} \ll 10^8 \text{ m/s}$
- Ex 2: $100 \text{ m} * 1 \text{ MHz} = 10^9 \text{ m/s} > 10^8 \text{ m/s}!!!$

Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

- L'électrocinétique n'est donc pas adaptée ?



$$\Delta z \ll V_p / \text{Fréquence}$$

Par passage à la limite $\Delta z = dz$ et donc

Solution = Intégration sur la variable z

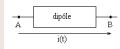
Quelques notions de base et conventions

Dipôle électrocinétique

On appelle dipôle électrocinétique tout système relié à l'extérieur par **deux conducteurs** uniquement. Le comportement d'un dipôle est caractérisé par deux grandeurs électriques duales : la tension et le courant.

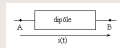
Tension : différence de potentiel $u(t)$ entre les deux bornes du dipôle.

- Unité : Volt (V).



Intensité : débit des charges électriques qui traversent une section de conducteur :

- Unité : Ampère (A).



$$\mathbf{i}(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

Quelques notions de base et conventions

ARQS

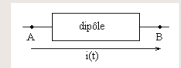
⇒ A tout instant le courant entrant par une borne d'un dipôle est égal au courant sortant par l'autre borne.

$$\mathbf{i}_A(t) = \mathbf{i}_B(t) = \mathbf{i}(t)$$



Le courant électrique est une grandeur **orientée**

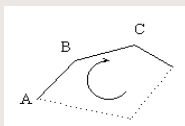
Convention : Sens **positif** = sens de déplacement des charges **positives**



Lois de Kirchhoff

Loi des mailles :

Le long de toute maille d'un réseau électrique, à tout instant, la somme algébrique des tensions est nulle.

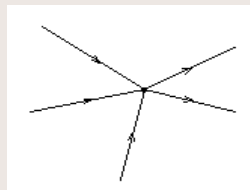


$$(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + \dots + (V_2 - V_A) = 0$$

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds :

En tout nœud d'un circuit, et à tout instant, la somme des courants qui arrivent est égale à la somme des courants qui sortent. (conservation de la charge électrique)



$$\sum i_{\text{arrivent}} = \sum i_{\text{partent}}$$

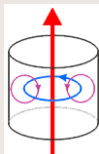
Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

Les phénomènes physiques dominants

En mode filaire, les phénomènes qui régissent la transmission de données sont essentiellement :

- Les pertes par effets joules,
- Les pertes diélectriques
- Les effets inductifs et capacitif,
- L'effet de peau,

Fréquence (MHz)	e (μm)
200	5
300	4
500	3
1100	2
4000	1
10000	0,7



Ie: Courant excitateur

B: Champ magnétique

Ii: Courant induit

$$\Rightarrow I = I_e + I_i$$

$$e = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \mu_0 \mu_r \cdot f \cdot \rho}}$$

Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

Les phénomènes physiques dominants,

- Les perturbations externes et internes
- Diaphonie (mélange involontaire de deux signaux)
- Parasites (brouillages, interférences...)
- Bruits internes et externes
- Echo, réflexion.

Ces phénomènes peuvent être représentés par un ensemble assez limité de nature de dipôles:

- Résistances, Condensateurs, Bobines
- Sources de tension et de courant

... qui seront donc les *seuls dipôles envisagés ici*

Deux notions fondamentales

Linéarité / superposition

- 1. Principe et exemples
- 2. Intérêt du régime linéaire

Linéarité / superposition

Principe :

Equation Linéaire

Une équation $G(s)=0$ de solution s est dite linéaire si et seulement si pour toutes solutions s_1 et s_2 de G et pour toutes constantes α_1 et α_2 , $\alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2$ est solution de G .

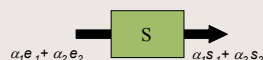
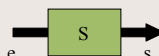
$$\text{i.e. } G(\alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2) = 0$$

$$\text{Ex: circuit RLC} \Rightarrow \text{I. } C \frac{d^2 u}{dt^2} + \text{R} \frac{du}{dt} + \text{F} \frac{du}{dt} + u = u_0 - \alpha$$

Réponse linéaire

Soit un système S dont la réponse à une excitation e est notée s . Le système est dit linéaire (ou à réponse linéaire) si et seulement si pour toutes réponses s_1 et s_2 aux excitations respectives e_1 et e_2 et pour toutes constantes α_1 et α_2 , $\alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2$ est la réponse de S à l'excitation $\alpha_1 e_1 + \alpha_2 e_2$.

$$\text{i.e. } S(\alpha_1 e_1 + \alpha_2 e_2) = \alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2$$



Linéarité / superposition

Exemple de réponse linéaire:

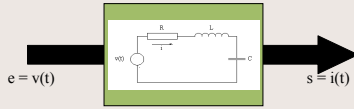
- Dipôle linéaire

$$i(\alpha u_1 + \beta u_2) = \alpha i(u_1) + \beta i(u_2)$$

ou

$$u(\alpha i_1 + \beta i_2) = \alpha u(i_1) + \beta u(i_2)$$

- Circuit RLC



$$L \frac{d^2 i(t)}{dt^2} + R \frac{d i(t)}{dt} + \frac{1}{C} i(t) = \frac{d v(t)}{dt}$$

Linéarité / superposition

Intérêts :

Systèmes linéaires obéissent à l'algèbre linéaire

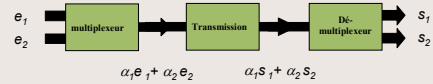
⇒ Propriétés générales intéressantes
Ex : Composition, inversion...

⇒ Outils puissants d'analyse et de calcul
Ex : Calcul matriciel...

Applications :

⇒ Permet de construire simplement des modules

Ex : Multiplexage



Linéarité / superposition

Applications (suite) :

⇒ Simplifier la modélisation, l'analyse et la conception

Nous verrons:

Régime continu (déjà vu):

- Un réseau de dipôles linéaires est équivalent à un dipôle linéaire

Régime sinusoïdal :

- Notation complexe ⇒ Analyse similaire au cas du régime continu

Signal quelconque :

- Transformée de Fourier du signal ⇒ Superposition de régimes sinusoïdaux ⇒ Notation complexe ⇒ Réponse = Superposition des réponses de chaque régime sinusoïdal

Idée fondamentale :

Se ramener si possible à un système linéaire

(Technologie et mathématique)