

Chapitre 4 : Introduction à la transmission numérique

Cours Techniques de transmission

RT2-INSAT

Responsable du module : Rim Amara Boujemâa

(1/15) Schéma global d'une chaîne de communications numériques

- Les systèmes de transmission qu'on traite se chargent de l'émission /réception de signaux analogiques $m(t)$ (le son, image,), on parle alors en terme de systèmes de transmission analogique.
- Un système de transmission numérique se charge de la transmission /réception d'un signal numérique dont une représentation abstraite est 01110010 ... : suite binaire

D'où proviennent ces signaux numériques, si la plupart des signaux porteurs d'information tels que les signaux multimédia sont à la base analogiques?

(2/15) Schéma global d'une chaîne de communications numériques

- Ces signaux numériques sont issus de **la numérisation de signaux analogiques** (CAN : conversion analog./num.)



- Intérêt de la numérisation** : stockage de signaux sur supports numériques compatibles avec ordinateur (vers la miniaturisation) + traitement des signaux par algorithmique (un filtre devient un programme embarqué)
- Ces signaux binaires peuvent correspondre à **des fichiers d'octets** sous ordinateur (textes, codes, données...)

(3/15) Effets du canal de transmission

Le canal de transmission (canal atmosphérique, câble..) apporte des distorsions sur les signaux radio transmis. En effet, il **agit comme un filtre, caractérisé par une certaine réponse, sur le signal émis.**

pour des transmissions à longue distance, on note l'effet d'une atténuation de parcours importante du signal émis, toujours en présence de bruit, aussi en cas de perturbations climatiques ou encore de type électromagnétiques → ceci cause une distorsion sévère du signal reçu, voir son évanouissement (*fading channel*).

Peut-on corriger le signal reçu (démodulé) et le remettre à son vrai niveau d'amplitude ?



(4/15) Pouvoir de correction sur un signal numérique

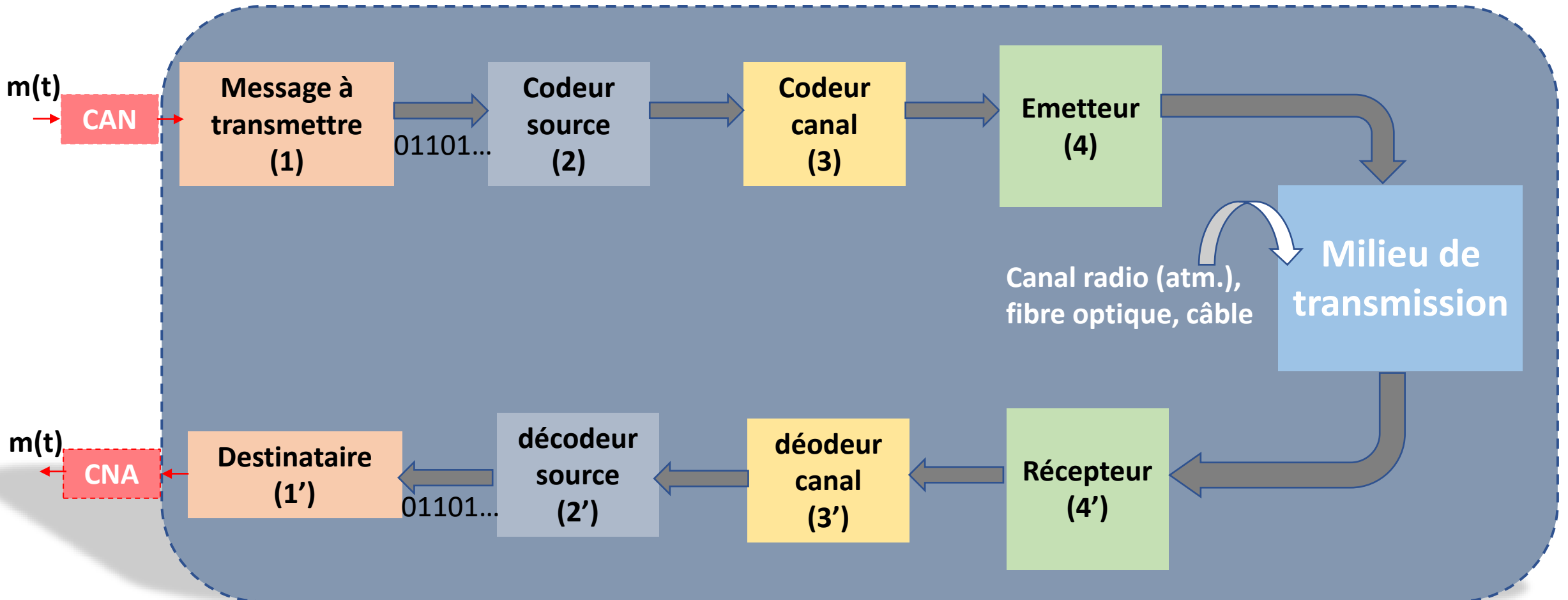
On montre qu'on a un pouvoir de détection /correction des erreurs sur un signal binaire 0010... (grâce à la théorie d'information + théorie du codage détecteur/correcteur d'erreurs),

Si cet élément binaire est erroné, on le corrige à 1

0 1 1 1 1 **0** 1 0 1 ...

alors **qu'on ne peut corriger les erreurs sur un signal analog**. C'est pour cela, qu'on transmet plutôt la version numérisée du signal analogique afin de corriger les erreurs de transmission à la réception, le signal analogique de départ est régénéré à la fin de la chaîne de TX à partir de sa version numérisée corrigée, par une CNA.

(5/15) Schéma principe d'une chaîne de communications numériques



(6/15) Définition du débit binaire

- En transmission numérique, le signal à transmettre est assimilé à un flux ou **une série binaire 0100011... supposée une série de v.a de Bernoulli** (tous les traitements prennent en compte **l'aspect aléatoire** de ce type de signaux)
- On alloue un temps T_b pour l'émission d'un elt binaire 0 ou 1

T_b : durée de transmission d'un bit

Donc, pendant 1sec, on transmet $1/T_b$ bits/sec, ainsi

Débit binaire : $D_b = 1/T_b$ en b/s

Ou encore débit de transmission en b/s. Le débit de transmission initial (à la source du message) est désigné par D_b

(7/15) Lien occupation spectrale – débit de transmission

on va montrer par la suite que **l'occupation spectrale des signaux numériques modulés est proportionnelle à ce débit de transmission**

($B \propto D_b$), d'où si on veut des débits de TX importants (un streaming confortable, une bonne vitesse de téléchargements..), il va falloir octroyer à l'utilisateur une large bande spectrale (ce qui explique le coût élevé pour bénéficier d'une liaison haut débit).

Les réseaux radio-mobiles ont une forte contrainte en terme de gérer un nbre important d'utilisateurs, l'occupation spectrale de chaque utilisateur est de l'ordre de D_b **→ il faudra penser à réduire le débit binaire/utilisateur en utilisant la compression de données appelée aussi le codage source pour permettre un multiplexage fréquentiel d'un nbre élevé d'utilisateurs.**

(8/15) Codage/décodage source (quelques généralités)

- A la sortie d'un codeur source, le message binaire est sous forme concise et constitué par **une suite d'elts binaires mutuellement indépendants et identiquement distribués (i.i.d)**. Le codage source enlève la redondance du message à transmettre ainsi le débit à sa sortie est telle que $D'_b < D_b \rightarrow$ c'est **le codage qui réalise la compression du signal**
- Plusieurs techniques de compression : Caméra TCD (Transformée en Cosinus Discrète), segmentation et définition d'objets dans une image, codage sparse..etc (cours théorie de l'info + traitement d'images)
- Techniques de compression sont adaptées au type de signal à compresser; elles sont basées sur les 'spécificités fréquentielles du signal'

(9/15) Exemple de calcul de débit

- En téléphonie, le signal analog. de parole est pré-filtré dans la bande [300-3.4k]Hz. Il doit être échantillonné à une fréquence d'échantillonnage $f_e \geq 2 \times 3400 = 6.8\text{kHz}$. Pratiquement, il est échantillonné à 8kHz, chaque échantillon est codé sur 8bits $\rightarrow D_b = 64\text{kb/s}$.
- Avec le codage source, D_b est diminué à $D'_b = 32\text{kb/s}$, sans dégradation de la qualité subjective (càd de perception) de la parole.
- En GSM, on fait descendre encore le débit à $D'_b = 13\text{kb/s}$
- Une image est identifiée comme une matrice de pixels, chaque pixel est caractérisé par un signal de luminance (éch. à 13,5MHz) et 2 signaux de chrominance (éch. chacun à 6,75MHz). Le codage de chaque échantillon est réalisé sur 8 bits ainsi le débit est de $D_b = 13,5\text{M} \times 8 + 2 \times 6,75 \times 8 = 216\text{Mb/s}$, valeur à laquelle on rajoute 27Mb/s réservés à des fcts de synchronisation entre émetteur et récepteur, ce qui donne $D_b = 243\text{Mb/s}$
- Bien noter la valeur très élevée du débit requis. Le codage source permet de réduire ce débit à $D'_b = 8\text{Mb/s}$ sans altérer pratiquement la qualité d'image. En visiophonie, ce débit est réduit à 64kb/s; mais avec altération de la qualité.

(10/15) certaines techniques et normes de compression

Compression image/vidéo	Compression audio	Compression de données
JPEG MPEG 1-2-4-7	MPEG-1/2 Audio Layer III : MP3	ADPCM (ou MICDA) Huffman-LZ77 (gzip) Lempel-ziv (rar) Codage entropique/arithmétique

Intérêt de la compression : surtout pour

- la transmission d'images, vidéo afin de réduire le débit de transmission et de suite l'occupation spectrale
- de plus en plus : stockage, manipulation et transmission de données massives (contexte big data)

Principe de base : on cherche un domaine de représentation du signal (tel que le domaine des fréquences) ou des données qui procure une information de taille réduite par rapport à l'original

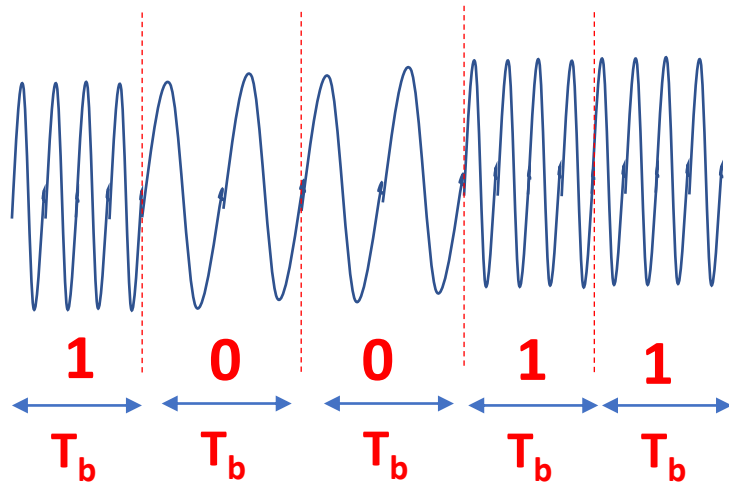
- La transformation de compression doit avoir une réciproque (décompression) à utiliser côté récepteur (décodage source) afin de restituer les données d'origine.

(11/15) Codage/décodage canal

- Le module du codage canal ou encore du codage détecteur /correcteur d'erreurs réalise la visée de la transmission numérique puisqu'**il permet d'améliorer la qualité du signal reçu en corrigeant les erreurs de transmission.**
- Ce codage consiste à insérer dans le message binaire des elts binaires de redondance, suivant une loi donnée. Donc le nbre de bits à transmettre à la sortie du codeur canal est + grand que celui à son entrée, mais toujours faible comparé à la taille des données initiales.
- Le décodeur canal, connaissant la loi de codage de l'émetteur, vérifie cette loi sur les bits codés et permet ainsi de localiser les erreurs dans la séquence de bits reçus et de les corriger par la suite.
- **Exemples de codes** : Codes en blocs, codes cycliques, codes convolutifs, turbo-codes

(12/15) L'émetteur/récepteur

- Le message numérique, en tant que suite de bits 010011.., est une grandeur abstraite. Pour transmettre ce message, il est nécessaire de lui associer une représentation physique sous forme d'un signal électrique/optique



à 0 on associe $S_0(t)$
à 1 on associe $S_1(t)$
 $S_i(t)$ est appelée forme d'onde

- C'est un signal de nature physique donc analogique mais qui est la traduction d'un signal numérique.

(13/15) L'émetteur/récepteur

- L'émetteur est composé en général de plusieurs blocs ayant pour rôle la mise en forme du signal numérique, la modulation (afin d'assurer le multiplexage fréquentiel), le filtrage adapté..etc. Sa sortie est le signal radio ou autre HF à transmettre. Le récepteur est chargé de générer le signal numérique transmis à partir de ce signal HF reçu.
- Dans la suite du cours on se focalisera sur
 - la mise en forme ou appelé aussi **codage en ligne**
 - **les modulations numériques**

(14/15) milieu de transmission

- **Est le lien physique entre l'émetteur et le récepteur. Il agit par du filtrage sur le signal émis,** il peut être
 - **Un câble bifilaire** (TX à bas débit car faible bande passante); réseau téléphonique
 - **Câble coaxial** (TX jusqu'à 565Mb/s); pour la connexion de centraux téléphoniques
 - **Fibre optique** (bande passante élevée, plusieurs Gb/s); réseaux terrestres grande capacité + câbles sous-marins
 - **Espace libre** (onde radio ou EM), TX par satellites, faisceaux Hertziens, WiFi, radiocomm., FemtoCell, ..