

# INTRODUCTION AUX SYSTEMES DE COMMUNICATIONS

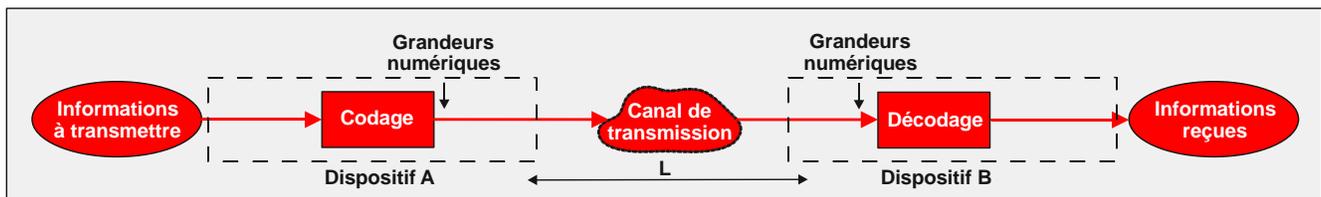
Les systèmes de communications qui nous entourent sont de plus en plus nombreux et de natures extrêmement variées :

- transmission et diffusion d'une émission de télévision, préenregistrée ou bien en direct, via le satellite, le câble, une antenne TNT ou encore une box ADSL ;
- échange de fichiers texte, audio ou vidéo entre deux ordinateurs connectés au même réseau local, par liaison radio WiFi ou câblée Ethernet ;
- échange, via internet, de fichiers texte, audio ou vidéo entre deux ordinateurs distants l'un de l'autre de plusieurs milliers de kilomètres ;
- récupération, au niveau d'un ordinateur, de paramètres physiques mesurés par un réseau de capteurs, puis transmission de ces paramètres à un serveur web pour diffusion et affichage ;
- communications orales ou bien échange de fichiers texte, audio ou vidéo entre deux abonnés aux réseaux téléphoniques câblés ou cellulaires ;
- etc, etc, etc.

Ce chapitre a pour objet de présenter l'architecture des systèmes de communications **modernes** au sens où ils sont fondés sur des techniques de transmissions **numériques**.

## 1. Système de communications unidirectionnelles et transmission en bande de base

On donne ci-dessous le synoptique de ce système de communications :



Pour ce système de communications unidirectionnelles, le dispositif émetteur (dispositif A) est chargé de transmettre un certain nombre d'informations à un dispositif récepteur (dispositif B), via un canal de transmission de longueur  $L$  pouvant aller de quelques mètres à quelques milliers de kilomètres, et qui, si l'on se réfère aux quelques exemples cités en introduction, peut être câblé ou hertzien.

Les informations que le système de communications a pour but de transmettre peuvent, comme on l'a vu précédemment, correspondre à du texte, du graphisme, de la voix, de la vidéo ou bien encore des paramètres physiques (température, pression, accélération, luminosité, niveau de pollution au CO<sub>2</sub>, ...) issus de réseaux de capteurs.

Ces informations à transmettre, extrêmement diverses par nature, sont successivement :

- a) codées par le dispositif émetteur A en grandeurs numériques,
- b) transmises via le canal de transmission jusqu'au dispositif récepteur B,
- c) décodées par le dispositif récepteur B,

l'objectif étant que le décodage des grandeurs numériques réceptionnées par le dispositif récepteur B (appelées ici informations reçues) correspondent bien aux informations à transmettre.

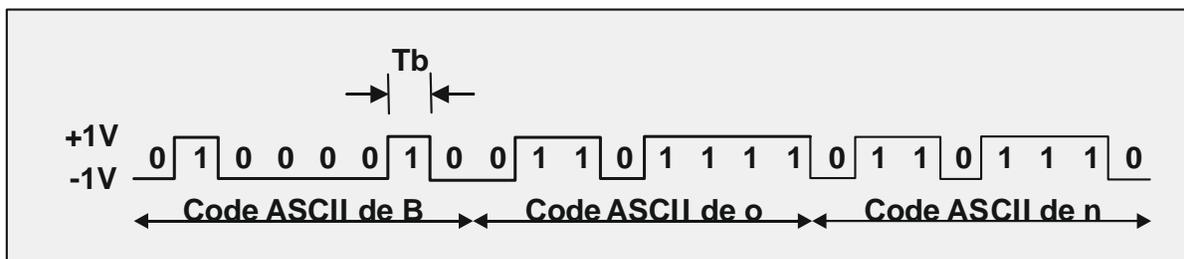
## 1.1. Le codage des informations à transmettre en grandeurs numériques

Considérons deux exemples significatifs de ce que peut représenter le codage des informations.

### a) Codage d'un texte

Supposons que les informations à transmettre correspondent au texte **Bonjour** exprimé en code ASCII. Le codage va consister dans ce cas à élaborer une suite de  $7 \times 8 = 56$  bits correspondant à la concaténation du code ASCII de chacune des 7 lettres du mot Bonjour, puis à transmettre sur le canal de transmission un signal électrique correspondant à une tension de -1V pendant la durée de transmission d'un « 0 » et à une tension de +1V pendant la durée de transmission d'un « 1 ».

Ainsi, sachant que les codes ASCII des lettres **B**, **o** et **n** sont respectivement **0x42**, **0x6F** et **0x6E**, et en se limitant à la transmission de ces 3 premières lettres, la grandeur numérique transmise par le dispositif émetteur A sur le canal de transmission serait une tension binaire ayant l'allure suivante :



Quelques définitions.

#### Période-bit $T_b$ en secondes (s)

La durée de transmission de chacun des bits  $T_b$  est constante.

Dans ce cas, la transmission du code binaire s'effectue de façon **asynchrone**, au rythme d'un signal d'horloge de synchronisation « virtuel » (au sens où il n'existe pas) de période  $T_b$  et de fréquence  $1/T_b$ . C'est pourquoi on désigne la durée  $T_b$  de transmission d'un bit par le terme « **période-bit** ».

#### Fréquence-bit $F_b$ en Hertz (Hz)

On définit la fréquence-bit  $F_b$  en **Hz**, égale par définition à l'inverse de la période-bit  $T_b$ , soit  $F_b = 1/T_b$ .

#### Débit de transmission binaire $D$ en bits par seconde (bits/s ou plus rarement $\text{bits}\cdot\text{s}^{-1}$ )

Le débit de transmission binaire  $D$  désigne le nombre de bits transmis par unité de temps, et s'exprime donc en **bits par seconde (bits/s)**.

#### Relation entre débit de transmission binaire $D$ et fréquence-bit $F_b$

Evidemment, ces deux grandeurs ont même valeur numérique.

#### Les unités multiples du bit ou de l'octet

Selon les Unités du Système International, on utilise les multiples suivants :

Unité	Symbole	Valeur
kilo	k	$10^3 = 1\ 000$
méga	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
téra	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$

En revanche, et de façon toute aussi normalisée, dans le domaine informatique, on utilise les multiples suivants :

Unité	Symbole	Valeur
kibi	ki	$2^{10} = 1\ 024$
mébi	Mi	$2^{20} = 1\ 048\ 576$
gibi	Gi	$2^{30} = 1\ 073\ 741\ 824$
tébi	Ti	$2^{40} = 1\ 099\ 511\ 627\ 776$

Les professionnels de l'informatique utilisent évidemment ces multiples exprimés sous la forme de puissances de 2 (et non de puissances de 10), mais malheureusement, ils rechignent à utiliser les symboles **ki**, **Mi**, **Gi** ou **Ti** en vigueur, et conservent les symboles M, G et T, à l'exception du kilo, qu'ils notent par un k majuscule (K).

Il est évidemment fortement conseillé d'utiliser les normes en vigueur.

Levons une ambiguïté, pour terminer.

Les multiples utilisés en informatique ne s'appliquent que pour quantifier un volume de données (par exemple une mémoire de capacité 8 Mioctets présente une capacité de stockage de  $8 \times 2^{20}$  octets, soit 8 388 608 octets).

Ces multiples ne s'appliquent donc pas aux débits de transmission, et parler d'un débit de transmission de 8 Mibits/s n'a aucun sens. En revanche, un débit de 8 Mbits/s est parfaitement défini, et vaut 8 000 000 bits/s.

#### b) Codage de paramètres physiques issus d'un réseau de capteurs

Supposons pour ce deuxième exemple une centrale météo permettant, à l'aide de 6 capteurs, de réaliser :

- un anémomètre ;
- une girouette ;
- un pluviomètre ;
- un thermomètre ;
- un hygromètre ;
- un baromètre.

Si l'on se réfère au synoptique de la page 1, les informations à transmettre sont dans ce cas les paramètres physiques suivants :

- vitesse instantanée du vent en km/h ;
- direction instantanée du vent selon les 8 axes N, NE, E, SE, S, SO, O et NO ;
- niveau instantané d'eau de pluie recueilli en mm/m<sup>2</sup> ;
- température instantanée relevée sous abri en °C ;
- pourcentage d'humidité relative instantané en % ;
- pression atmosphérique instantanée en hPa.

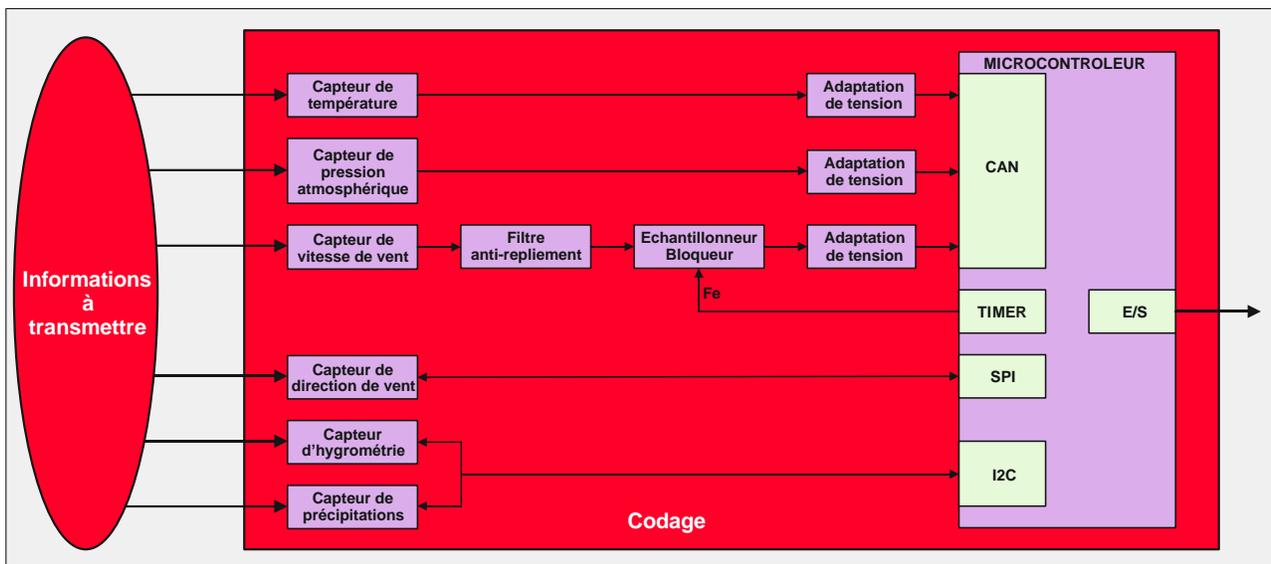
La fonction codage est dans ce cas beaucoup plus complexe que celle envisagée dans le cas précédent.

Certes, certains de ces capteurs peuvent délivrer un signal numérique qu'il sera aussi simple de coder que précédemment. En revanche, d'autres capteurs délivrent un signal analogique qui devra être préalablement converti en signal numérique (à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique) avant d'être codé.

De la même façon, l'acquisition des grandeurs de sortie des différents capteurs ne s'effectuera pas avec le même rythme (la pression atmosphérique évolue très lentement au cours du temps, et il semble suffisant de procéder à une mesure puis une transmission de cette information toutes les heures seulement, alors qu'à contrario, si l'on souhaite obtenir une mesure suffisamment fine de la vitesse du vent, notamment en cas de rafales, il sera nécessaire d'effectuer une mesure tous les 10<sup>ème</sup> de secondes) : la fonction codage transmettra donc sur la ligne de transmission une valeur de pression atmosphérique toutes les heures, et une valeur de vitesse de vent tous les 10<sup>ème</sup> de secondes (donc avec un rythme 36 000 fois plus élevé).

C'est pourquoi, si le capteur de vitesse de vent est de technologie analogique, il sera vraisemblablement nécessaire de lui associer un filtre anti-repliement ainsi qu'un échantillonneur bloqueur avant de procéder à la conversion analogique-numérique, alors que le signal de sortie analogique du capteur de pression atmosphérique pourra être directement appliqué en entrée de CAN.

L'architecture de ce dispositif pourrait alors être la suivante :



Dans cet exemple, les capteurs de température, de pression atmosphérique et de vitesse de vent sont de technologie analogique, alors que les autres capteurs sont de technologie numérique (interfaces de communication avec le  $\mu$ C de type SPI pour le capteur de direction de vent, et de type I2C pour les capteurs d'hygrométrie et de précipitations).

Le périphérique TIMER permet d'échantillonner le signal analogique de sortie du capteur de vent tous les 10<sup>ème</sup> de secondes (donc avec une fréquence d'échantillonnage  $F_e$  de 10 Hz).

Les fonctions « Adaptation de tension » permettent de faire en sorte que lorsque les informations température, pression atmosphérique et vitesse de vent varient entre leurs valeurs limites minimales et maximales, la tension d'entrée de chaque convertisseur analogique-numérique varie entre 0V et la valeur maximale de tension admissible, assurant ainsi au dispositif de conversion analogique-numérique une résolution maximale.

Enfin, dans cet exemple, c'est une broche de port d'E/S configurée en sortie qui se charge de transmettre au dispositif de réception, via le canal de transmission, le signal numérique significatif des différents paramètres physiques mesurés par la station météorologique.

On le voit dans cet exemple, la fonction générique « codage » ne se limite pas au seul codage d'informations, mais à l'acquisition de grandeurs analogiques ainsi que de grandeurs numériques transmises directement par certains capteurs selon différents protocoles (SPI, I2C), au traitement de l'ensemble de ces grandeurs, et enfin à leur codage proprement dit avant transmission.

### c) Les différents types de codage

Les grandeurs numériques de sortie du codeur telles que définies sur le synoptique de la page 1, correspondent à un signal numérique pouvant être de nature :

- **électrique** (cas d'un canal de transmission **filaire**) ;
- **électromagnétique** (cas d'un canal de transmission **hertzien**) ;
- **optique** (cas d'un canal de transmission par  **fibre optique**).

Nous nous plaçons délibérément pour ce paragraphe, dans le cas d'un canal de transmission filaire, pour lequel le signal numérique support de l'information à transmettre est une tension.

Il existe de nombreux codes présentant tous des avantages et des inconvénients. Nous n'en proposons, à titre d'exemple, que trois d'entre eux.

#### **Codage NRZ (Non Return to Zero)**

Il s'agit du codage "naturel" que nous avons envisagé au travers de l'exemple de codage du texte **Bonjour** du paragraphe a), caractérisé par l'association bit ↔ niveau de tension donné ci-contre :

Bit	Tension
0	+E
1	-E

#### **Codage Manchester**

Le codage Manchester consiste à élaborer, pendant la durée  $T_b$  de transmission du bit 0, les deux niveaux de tension successifs +E puis -E, et pendant la durée de transmission du bit 1, les deux niveaux de tension successifs complémentaires -E puis +E :

Bit	Tension
0	+E puis -E
1	-E puis +E

#### **Codage RZ (Return to Zero)**

Le codage RZ élabore pendant la durée  $T_b$  de transmission du bit 0, les deux niveaux de tension successifs -E puis 0V, et pendant la durée de transmission du bit 1, les deux niveaux de tension successifs +E puis 0V. Le signal numérique ainsi généré présente 3 niveaux de tension distincts.

Bit	Tension
0	-E puis 0V
1	+E puis 0V

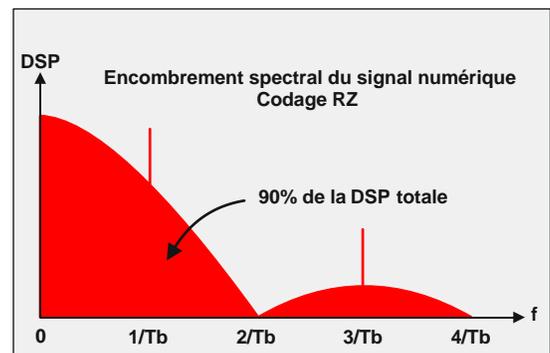
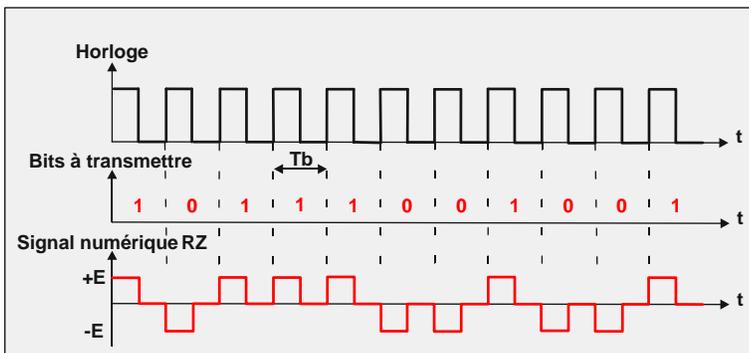
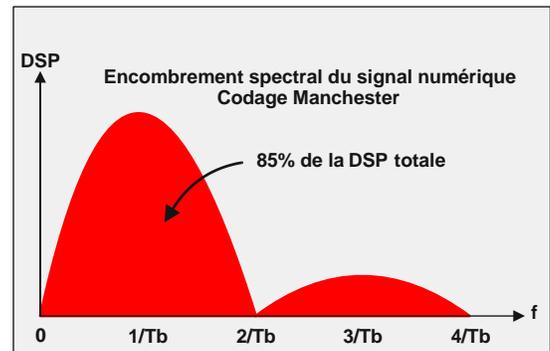
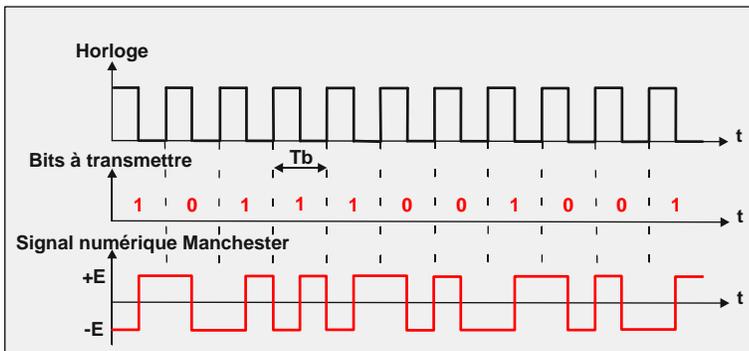
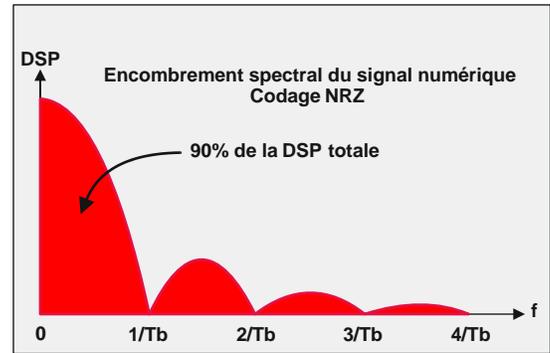
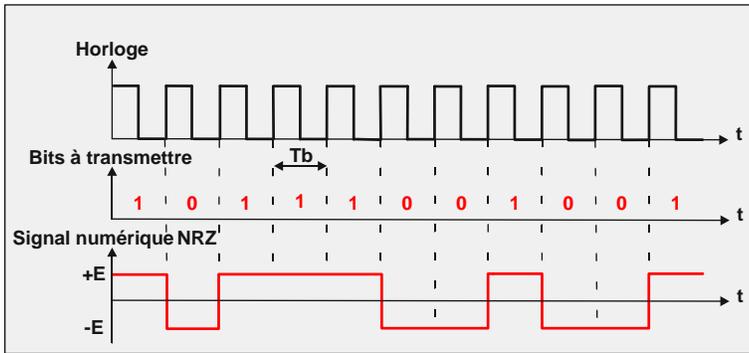
On donne, page suivante, à titre de comparaison, les représentations temporelle et spectrale du signal numérique délivré par un codeur NRZ, un codeur Manchester et un codeur RZ.

La représentation temporelle de chacun des codeurs correspond à la transmission de la suite de bits **10111001001**. En revanche, l'encombrement spectral est déterminé pour une suite de bits de durée infinie et de distribution parfaitement aléatoire.

#### Remarque

L'encombrement spectral d'un signal déterministe est obtenu par l'outil **transformée de Fourier**.

Le signal numérique généré par le codeur ne fait pas partie de la famille des signaux déterministes, mais des **signaux aléatoires**, et pour déterminer l'encombrement spectral de ce type de signal, on en calcule sa **densité spectrale de puissance**. D'où l'appellation **DSP** proposée page suivante.



Le signal d'horloge est généré en interne par le codeur, et permet de définir le débit de transmission et de cadencer le signal numérique en conséquence, mais il n'est pas transmis au dispositif de réception.

### L'efficacité spectrale des différents types de codages

L'enveloppe spectrale du signal codé NRZ correspond à la valeur absolue de la fonction **sinus cardinal**  $|\text{sinc}(x)| = \left| \frac{\sin(x)}{x} \right|$  qui a la propriété de s'annuler pour chaque valeur de fréquence multiple de  $1/Tb$ .

L'enveloppe spectrale des deux autres signaux numériques codés Manchester et RZ n'est pas mathématiquement parlant la valeur absolue d'un sinus cardinal, mais une forme dérivée, qui s'annule quant à elle toutes les valeurs de fréquences multiples de  $2/Tb$ .

Nous avons limité la représentation spectrale du signal numérique à la fréquence  $f = 4/Tb$ , mais il est clair que le spectre de chacun des trois signaux numériques est infini, même si l'amplitude des composantes spectrales diminue fortement avec la fréquence.

On montre d'ailleurs, comme indiqué sur les figures, qu'environ 90% des composantes spectrales se retrouvent dans le lobe principal du sinus cardinal.

On constate que le signal numérique issu des codages Manchester et RZ change de niveau logique « deux fois plus souvent » que celui issu du codage NRZ, ce qui explique que l'encombrement spectral occupé par le lobe principal des signaux codés Manchester ou RZ soit deux fois plus large que celui du signal codé NRZ.

D'un point de vue spectral, si l'on s'autorise l'approximation selon laquelle la totalité de la puissance spectrale est transmise dans le lobe principal de la DSP (erreur de l'ordre de 10%), le codage NRZ est préférable aux deux autres types de codage car il « consomme » deux fois moins de bande passante. On dit que **l'efficacité spectrale** du signal codé NRZ est 2 fois plus élevée que celle des deux autres signaux.

#### La composante continue du signal numérique issu des différents types de codeurs

Le signal issu du codage Manchester, contrairement aux deux autres types de codage, présente, sur une durée d'observation suffisamment longue, une valeur moyenne nulle (il suffit pour s'en persuader d'envisager une suite infinie de « 1 » ou bien de « 0 »), ce que confirme sa représentation spectrale (pas de composante spectrale à  $f = 0$  Hz).

Cette caractéristique est essentielle si le canal de transmission se comporte en filtre passe-haut (ou passe-bande) ne laissant pas passer la composante continue.

#### La possibilité, en réception, de récupérer l'horloge d'émission

Comme on peut le constater, le signal codé RZ possède une raie à la fréquence  $1/T_b$  qui correspond à la fréquence d'horloge d'émission. Il sera simple, au niveau du dispositif de réception, de récupérer l'horloge d'émission, par une simple opération de filtrage sélectif à la fréquence  $1/T_b$  suivi d'un circuit de mise en forme. L'opération de décodage en sera alors simplifiée.

Précisons pour terminer que ces opérations de codage (NRZ, Manchester, RZ ou autres) sont effectuées logiciellement (par le  $\mu C$  du synoptique de la page 4, par exemple), et ne requièrent aucune structure matérielle supplémentaire.

## 1.2. Le canal de transmission

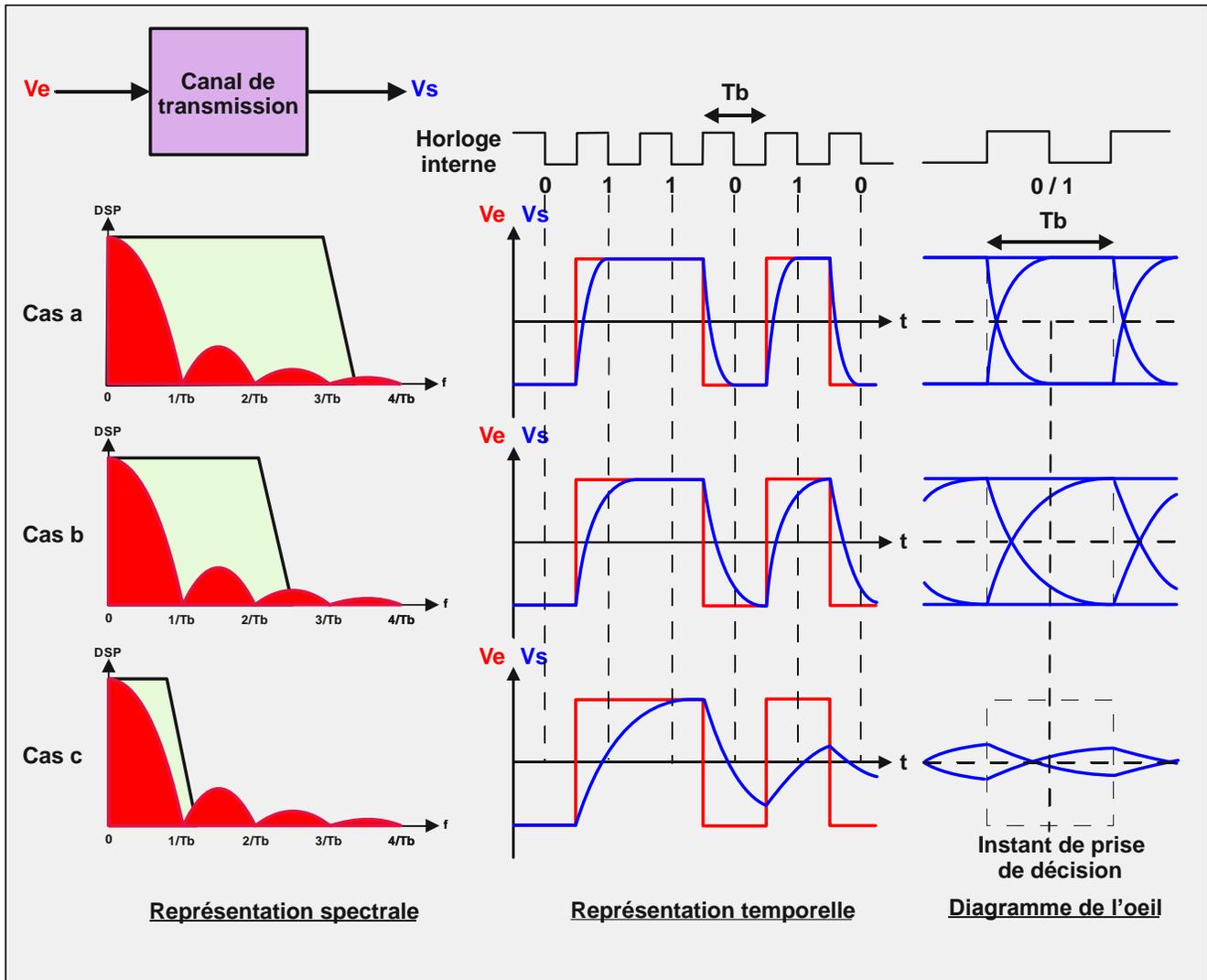
Pour une transmission filaire, le canal de transmission est réalisé, technologiquement parlant, par des conducteurs métalliques (paire torsadée, câble coaxial, ...), dont la bande passante n'est pas infinie. Or, comme nous l'avons vu, l'encombrement spectral du signal numérique transmis sur le canal de transmission est infini. Par conséquent, le signal numérique présente, à la sortie du canal de transmission, des déformations qui devront être suffisamment faibles pour que le dispositif récepteur puisse décoder ce signal sans erreurs.

### a) Cas particulier où le canal de transmission se comporte comme un filtre passe-bas du 1<sup>er</sup> ordre

Supposons, pour illustrer notre propos, que le canal de transmission se comporte comme un filtre passe-bas du 1<sup>er</sup> ordre de fréquence de coupure  $f_c$ .

On donne, page suivante, la représentation temporelle du signal de sortie **vs(t)** du canal de transmission en fonction du signal numérique codé **ve(t)** appliqué à son entrée, et ce, dans 3 cas distincts :

- cas a :  $f_c = 3/T_b$  ;
- cas b :  $f_c = 2/T_b$  ;
- cas c :  $f_c < 1/T_b$ .



Plus la fréquence de coupure  $f_c$  du filtre associé au canal de transmission est faible, plus les composantes spectrales élevées du signal numérique  $v_e(t)$  seront « rognées » par le canal de transmission et donc plus l'allure du signal de sortie  $v_s(t)$  sera éloignée du signal numérique transmis par le dispositif émetteur.

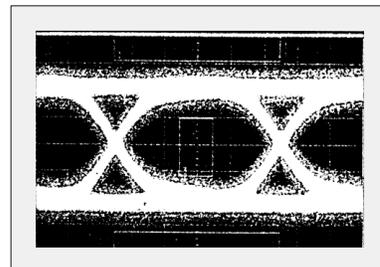
On imagine aisément, en visualisant l'allure de  $v_s(t)$  pour les cas a et b, que le dispositif récepteur sera capable de décoder sans erreurs le signal transmis par le canal de transmission, ce qui ne sera vraisemblablement pas possible pour le cas c.

Pour évaluer la capacité du dispositif de réception à décoder le signal transmis par le canal de transmission, on a recours, dans le domaine des télécommunications, à un dispositif expérimental appelé **diagramme de l'œil**.

Pour cela, on visualise à l'oscilloscope le signal transmis par le canal de transmission, en le synchronisant sur l'instant de transmission d'un nouveau bit, c'est-à-dire dans notre exemple, sur un front montant de l'horloge d'émission (ce qui suppose évidemment que l'on ait accès à cette horloge, mais ceci est un autre problème). Et il suffit alors, au prochain front d'horloge (front descendant) où le bit transmis est supposé stable, de vérifier si le niveau logique peut être déterminé sans ambiguïté.

Dans le cas a, l'œil est « grand ouvert », et le signal sera décodé sans problème ; dans le cas b, l'œil est « moyennement ouvert », et le signal sera décodé à condition que le niveau de bruit dont il est éventuellement entaché ne soit pas trop élevé. En revanche, pour le cas c, l'œil est beaucoup trop fermé, et il ne sera pas possible de décoder le signal.

On donne ci-contre un exemple de diagramme de l'œil visualisé à l'aide d'un oscilloscope.

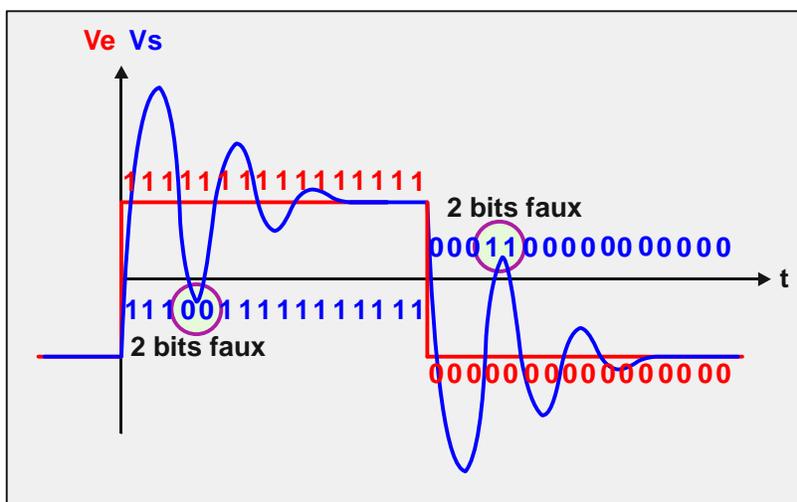


Il est clair, malgré le niveau de bruit constaté, que dans ce cas, le niveau logique est parfaitement défini (niveau bas ou haut) à chaque instant de prise de décision (au centre de l'œil) ; par conséquent, le signal sera en mesure d'être décodé correctement par le dispositif récepteur.

### b) Cas général

En réalité, le canal de transmission ne se comporte pas comme un simple filtre passe-bas du 1<sup>er</sup> ordre, mais présente une réponse impulsionnelle comportant de nombreuses oscillations (comme le ferait un filtre passe-bas du second ordre faiblement amorti).

Dans la figure ci-dessous, nous supposons que la suite de bits transmis par le dispositif émetteur est constituée de 16 « 1 » suivi de 16 « 0 » (soit le nombre hexadécimal **0xFFFF0000**).



On constate, à cause des oscillations caractérisant la réponse impulsionnelle du filtre passe-bas associé au canal de transmission, que le dispositif de réception ne décodera pas la valeur **0xFFFF0000**, mais la valeur **0xE7FF1800**.

Dans le cas présent, ce qui rend les 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> bits faux est uniquement dû à la transmission du 1<sup>er</sup> bit. De la même façon, c'est la présence du 17<sup>ème</sup> bit qui entraîne une erreur sur les 20<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> bits.

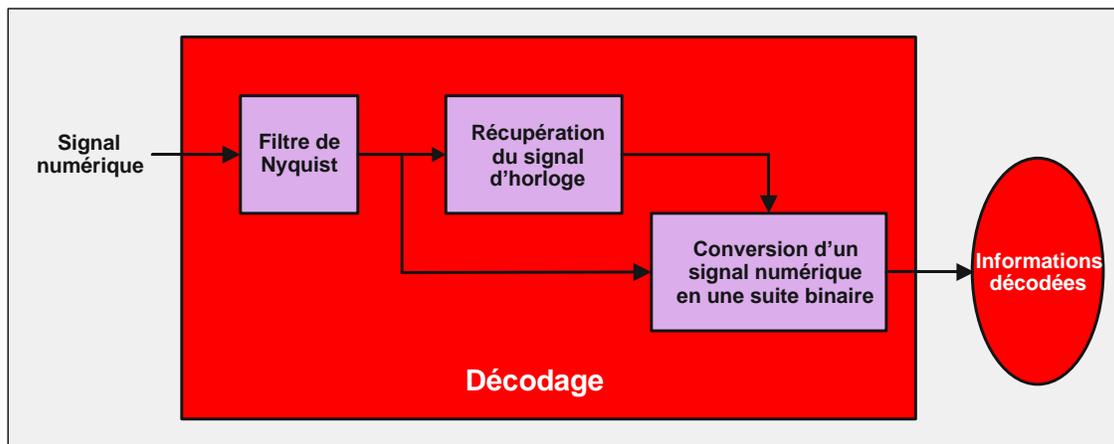
Ce phénomène, pour lequel un bit de rang n peut être affecté par les bits de rangs précédents n-1, n-2, n-3, ..., est connu sous le nom **d'Interférence Entre Symboles (IES)** en français, ou **Inter-Symbol Interference (ISI)** en anglais.

Pour éviter ce phénomène d'interférence entre symboles, on va rajouter à l'entrée du canal de transmission (donc au niveau du dispositif d'émission), ainsi qu'en sortie de ce même canal de transmission (donc au niveau du dispositif de réception), un filtre dit de **Nyquist**, caractérisé par le fait que sa réponse impulsionnelle s'annule toutes les période-bit  $T_b$ .

Les caractéristiques de ce filtre de Nyquist seront étudiées plus en détail à l'occasion du chapitre 3.

### 1.3. Le décodage du signal numérique issu du canal de transmission

Le décodage du signal numérique issu du canal de transmission s'effectue de la manière suivante :

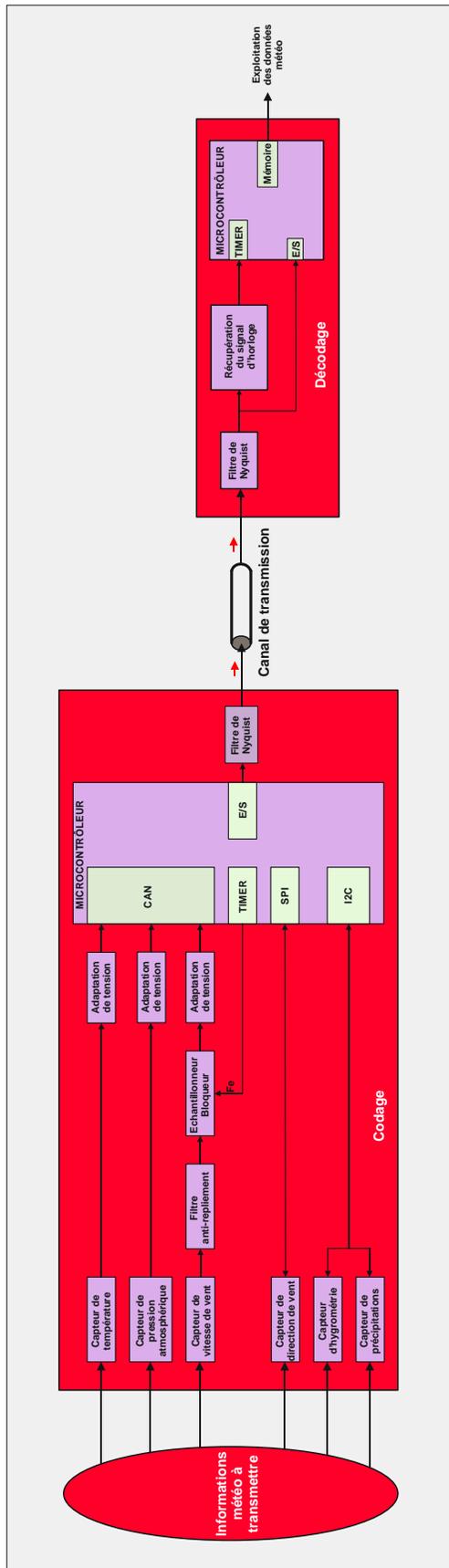


La récupération du signal d'horloge peut s'effectuer par opération de filtrage suivi de remise en forme, dans le cas d'un codage RZ (voir page 6), sinon par une opération de détection synchrone dont l'objet dépasse le cadre de cet exposé.

La conversion du signal numérique reçu en une suite binaire consiste à effectuer de façon électronique ce que l'opérateur effectue en visualisant le diagramme de l'œil.

Technologiquement parlant, cette fonction est réalisée logiciellement à l'aide d'un microcontrôleur : le signal d'horloge récupéré est appliqué sur une entrée de temporisateur programmable qui déclenche une requête d'interruption à chaque fois qu'elle reçoit un front où le signal numérique reçu est censé être stable, et la fonction d'interruption se charge alors, via une broche de port d'Entrée/Sortie configurée en entrée, d'échantillonner le niveau logique (bas ou haut) de la tension.

On donne page suivante et à titre de synthèse, le synoptique complet de la centrale météorologique.

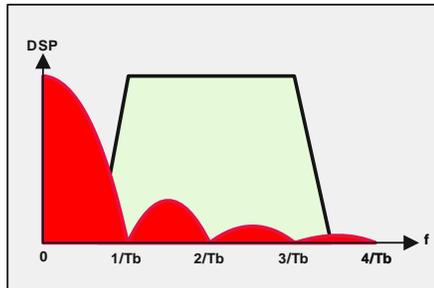


Chapitre 1 – Introduction aux systèmes de communications

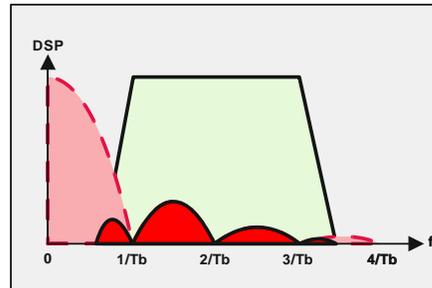
## 2. Système de communications unidirectionnelles et transmission en bande transposée

Nous avons considéré jusqu'à maintenant que le signal numérique résultant du codage des informations à communiquer était directement transmis au canal de transmission. C'est ce qu'on appelle une **transmission en bande de base**.

Comme nous l'avons vu, ce type de transmission peut s'avérer problématique lorsque le canal de transmission se comporte comme un filtre passe-bande (ci-dessous représenté en vert) incapable de transmettre les signaux numériques de fréquences basses, alors que ces derniers présentent une composante continue non nulle :



Spectre du signal numérique en entrée de canal de transmission

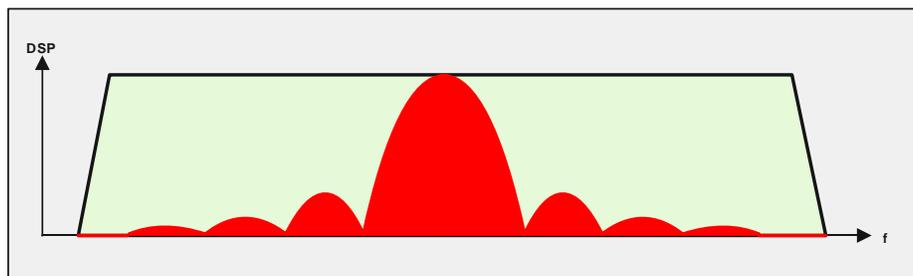


Spectre du signal numérique en sortie de canal de transmission

Dans ce cas, la quasi-totalité du lobe principal, qui rappelons-le contient 90% des composantes spectrales, est éliminée, et il est clair que sur le plan temporel, le signal numérique traité par le dispositif de réception sera extrêmement éloigné de celui transmis par le dispositif d'émission en entrée de canal de transmission, et ne sera donc pas « décodable ».

Afin de remédier à ce problème, il devient nécessaire de modifier les composantes spectrales du signal numérique à transmettre afin de les adapter aux caractéristiques fréquentielles du canal de transmission, c'est-à-dire à sa bande passante.

Pour cela, on va, par une opération de **modulation**, décaler les composantes spectrales du signal numérique à transmettre de façon à les faire coïncider avec la bande passante du canal :

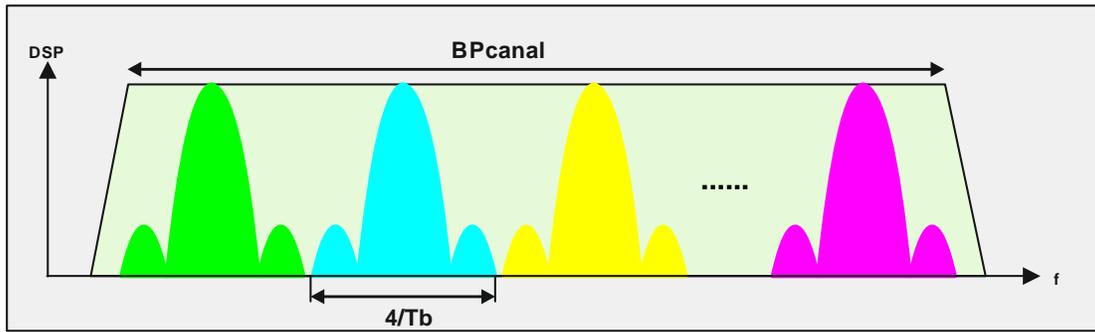


On remarque, certes, que suite à cette opération de modulation, l'encombrement spectral du signal est deux fois plus large qu'initialement (ce qui est évidemment un inconvénient en termes d'efficacité spectrale), mais que les composantes spectrales du signal modulé appartiennent désormais à la bande passante du canal de transmission.

Cette opération consistant à décaler les composantes spectrales du signal numérique s'appelle une **transposition de fréquence**, d'où l'appellation de ce type de transmission : **transmission en bande transposée**.

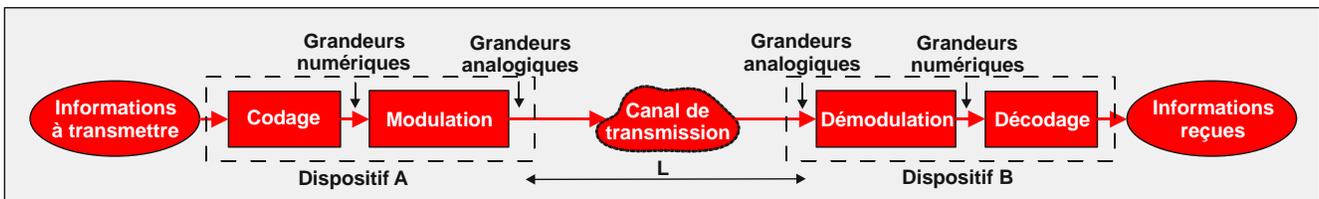
Par ailleurs, comme on l'a mis en évidence page 8 (cas b), on peut se contenter de transmettre les deux premiers lobes (lobe principal + lobe adjacent) des composantes spectrales du signal numérique à transmettre pour que ce dernier soit « décodable » par le dispositif de réception.

On peut donc en profiter pour transmettre simultanément **plusieurs signaux numériques** préalablement et « convenablement » filtrés en provenance de **plusieurs dispositifs d'émission** distincts **sur un même canal de transmission**, en procédant pour chacun d'entre eux à une transposition de fréquence telle qu'il n'y ait pas chevauchement des spectres :



Ainsi, si la bande passante du canal de transmission est égale à  $BP_{\text{canal}}$ , on pourra autoriser  $\frac{BP_{\text{canal}} * Tb}{4}$  dispositifs d'émission distincts à transmettre simultanément sur le même canal.

Le synoptique d'un système de communications assurant une transmission en bande transposée est alors le suivant :



Il intègre au niveau du dispositif émetteur A un dispositif de **modulation**, ce qui suppose évidemment qu'en réception, soit implanté un dispositif de **démodulation**.

On remarquera que la grandeur de sortie du dispositif de modulation -et donc la grandeur d'entrée du dispositif de démodulation- est **analogique**.

L'étude des différents procédés de modulation et de démodulation fera l'objet du prochain chapitre.

A ce stade, on retiendra les 2 avantages que présentent les dispositifs de transmission en bande transposée par rapport aux dispositifs de transmission en bande de base :

- ils permettent d'adapter les composantes spectrales du signal à transmettre aux caractéristiques fréquentielles (bande passante) du canal de transmission ;
- ils autorisent plusieurs dispositifs d'émission à se partager simultanément un même canal de transmission.

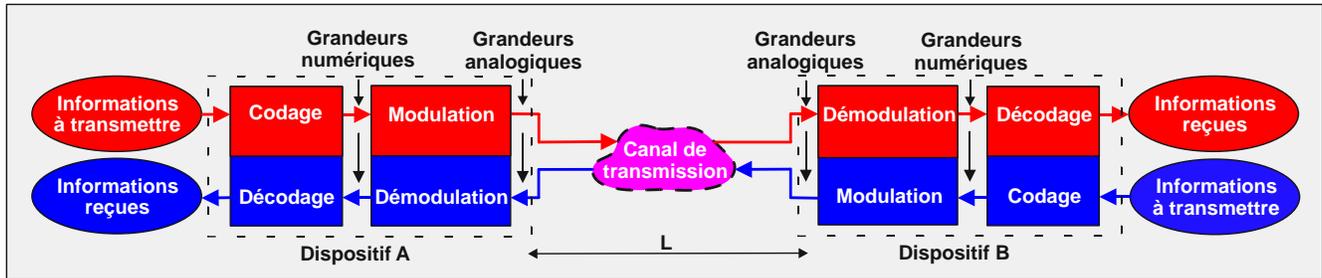
Ceci explique, entre autres, les raisons pour lesquelles, à l'heure actuelle, la quasi-totalité des systèmes de communications sont basés sur des techniques de **transmission en bande transposée**.

### 3. Système de communications bidirectionnelles et transmission en bande transposée

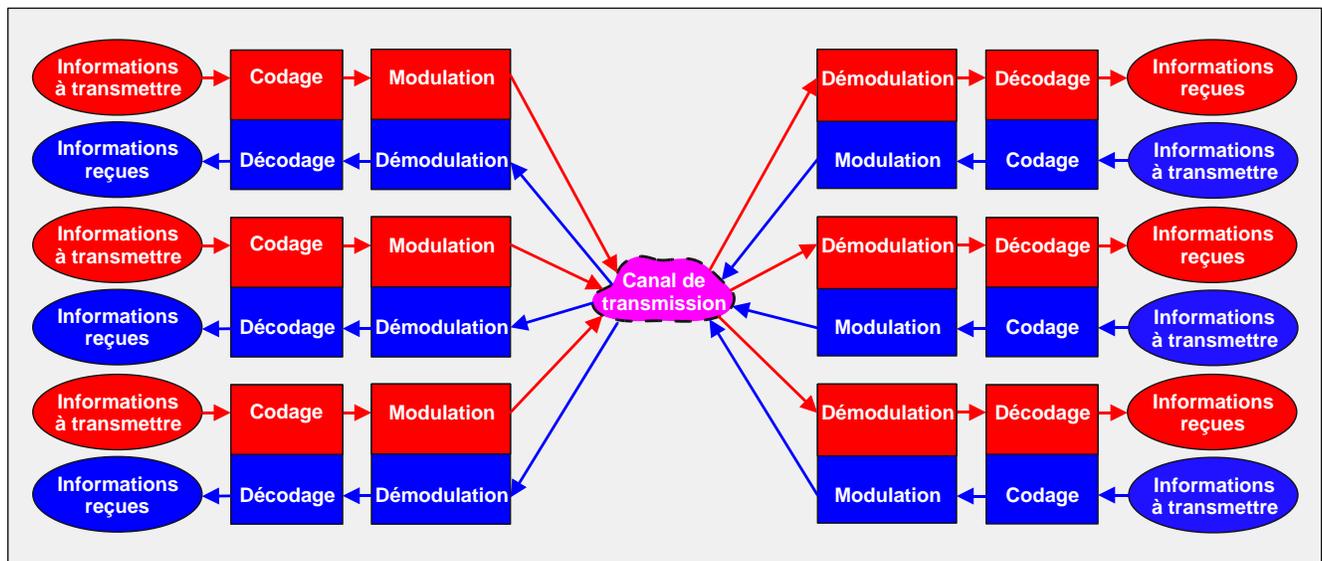
Nous avons considéré jusqu'à maintenant que les systèmes de communications étaient constitués d'un dispositif émetteur d'une part et d'un dispositif récepteur d'autre part.

Ce modèle convient parfaitement pour l'exemple de la centrale météo, mais de façon générale, les systèmes de communications ont pour objet de permettre à deux dispositifs de **s'échanger** des informations, où ces derniers sont tout à la fois des dispositifs émetteur et récepteur.

On propose donc le synoptique suivant :

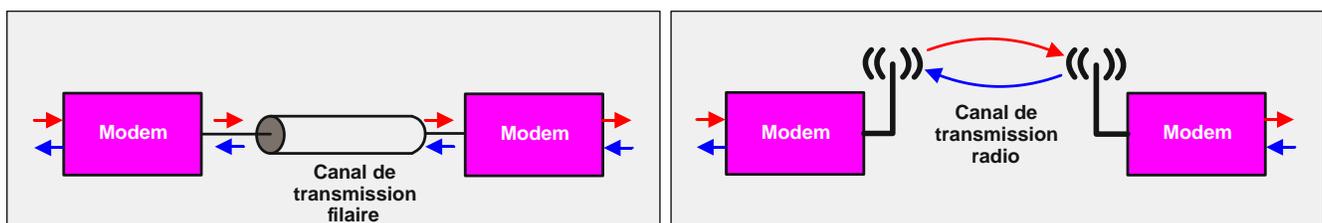


Et comme les systèmes de communications peuvent faire intervenir plus de deux dispositifs :

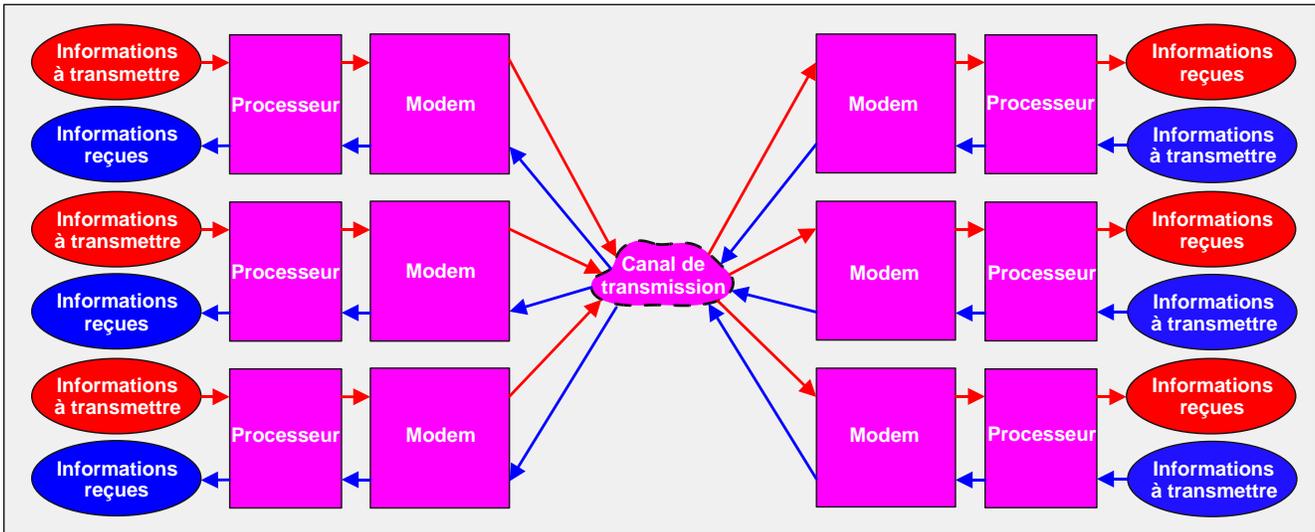


Les dispositifs de modulation et de démodulation en liaison directe avec le canal de transmission sont réalisés par un ensemble électronique appelé **modem**.

Et l'on pourra trouver deux types de modems, selon la nature du canal de transmission :



D'où le synoptique général d'un système de communications assurant une transmission en bande transposée sur canal de transmission filaire suivant :



## Synthèse

Les systèmes de communications permettent de mettre en relation différentes entités qui peuvent être des personnes (échange de fichiers, conversations téléphoniques) ou bien des objets (cas de la centrale météo et de façon plus générale, ce qui relève des objets dits communicants).

Les communications entre ces unités transitent via un **canal de transmission** qui peut être **filaire** (réseau téléphonique, réseau ADSL, réseau câblé par fibre optique, ...) ou **hertzien** (téléphonie cellulaire, diffusion TNT, ADSL ou satellite, transmission de données par WiFi, Bluetooth, ...).

La transmission des informations sur le canal s'effectue parfois de façon directe en **bande de base**, mais le plus souvent en **bande transposée** via un **modem**.