Chapitre 1

Les transmissions et les supports

1. Supports de transmission 2
2. Caractéristiques globales des supports de transmission 4
3. Fabrication des signaux : techniques de transmission 7
4. Caractéristiques d'une transmission 111
5. ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) 13

Problèmes et exercices

1. La notion de décibel..... 15
2. Évaluation d'un rapport signal/bruit (S/B) 15
3. Débit binaire et rapidité de modulation 16
4. Signaux transmis en bande de base et par modulation 16
5. Code Manchester et autres codes 17
6. Formule de Shannon 18
7. Connexion à Internet 19
8. Caractéristiques des modems V23 et V29 19
9. Modem normalisé V32 20
10. Système de radiomessagerie 21
11. Codage des informations 22
12. Interface ETTD – ETCD 23
13. Principes de fonctionnement de l'ADSL 24

Un réseau suppose plusieurs équipements informatiques (ordinateurs…) situés à distance les uns des autres.
La première chose à mettre en œuvre pour constituer le réseau est la transmission des informations d'un équipement à l'autre : on utilise, pour cela, des supports de transmission dont nous présentons les caractéristiques principales dans les deux premières sections de ce chapitre. De plus, à chaque nature de support correspond une forme particulière du signal qui s'y propage.
Il faut donc fabriquer les signaux, grâce à l'équipement communément appelé « modem ». Les techniques de transmission et l'interface entre l'ordinateur et son modem sont normalisées pour assurer l'interopérabilité des équipements. À titre d'exemple, nous décrivons brièvement le raccordement ADSL dans la dernière section.

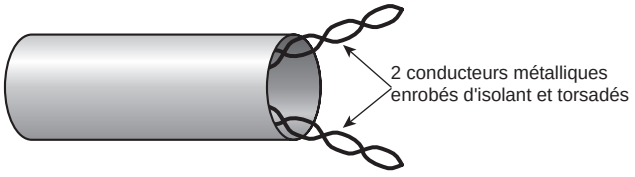
1 Supports de transmission

Les supports de transmission (décrits brièvement dans cette première section) sont nombreux. Parmi ceux-ci, trois familles sont à distinguer : les supports métalliques, non métalliques et immatériels. Les supports métalliques, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens, les plus largement utilisés et servent à transmettre des courants électriques. Les supports de verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent de la lumière, tandis que les supports immatériels des *communications sans fil* transmettent des ondes électromagnétiques et sont en plein essor.

1.1 Paires torsadées

Une *paire torsadée non blindée* (UTP, *Unshielded Twisted Pair*) se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinal (voir figure 1.1).

Figure 1.1
Paire torsadée.



L'enroulement réduit les conséquences des inductions électromagnétiques parasites provenant de l'environnement. L'utilisation la plus courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (la *boucle locale*) ou la desserte des usagers de réseaux privés. Son principal inconvénient est l'affaiblissement des courants transmis, d'autant plus important que le diamètre des conducteurs est faible. Les paires torsadées contiennent, à intervalles réguliers, des éléments appelés *répéteurs* qui régénèrent les signaux transmis. Quand plusieurs paires sont rassemblées dans un même câble, les courants qu'elles transportent interfèrent les uns avec les autres. Ce phénomène est appelé *diaphonie.*

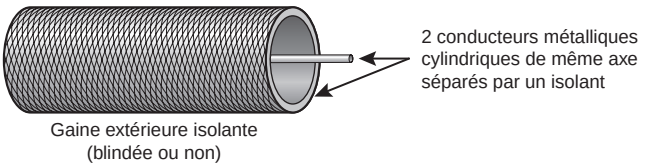
Pour les réseaux locaux d'entreprise, où les distances se limitent à quelques kilomètres, la paire torsadée peut suffire. Ses avantages sont nombreux : technique maîtrisée, facilité de connexion et d'ajout de nouveaux équipements, faible coût. Certains constructeurs proposent des *paires torsadées blindées* (STP, *Shielded Twisted Pair*). Enrobées d'un conducteur cylindrique, elles sont mieux protégées des rayonnements électromagnétiques parasites. Une meilleure protection prévoit un blindage par paire.

1.2 Câbles coaxiaux

Pour éviter les perturbations dues aux bruits externes, on utilise souvent deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant. Le tout forme un ensemble appelé *câble coaxial* (voir figure 1.2). Ce câble présente de meilleures performances que la paire torsadée : affaiblissement moindre, transmission de signaux de fréquences plus élevées, etc.

La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de sa longueur et des caractéristiques physiques des conducteurs et de l'isolant. Sur 1 km, un débit de plusieurs dizaines de Mbit/s peut être atteint alors que sur des distances plus courtes, des débits supérieurs sont possibles. Sur des distances supérieures à 10 km, les débits de transmission sont inférieurs à 10 kbit/s.

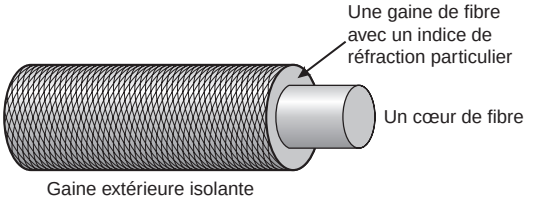
Figure 1.2
Câble coaxial.



1.3 Fibre optique

Une *fibre optique* est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser (voir figure 1.3), et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre.

Figure 1.3
Fibre optique.



Les avantages de la fibre optique sont nombreux : le diamètre extérieur est de l'ordre de 0,1 mm, son poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend facilement utilisable. En outre, sa très grande capacité permet la transmission simultanée de très nombreux canaux de télévision, de téléphone… Les points de régénération des signaux transmis sont plus éloignés, du fait de l'atténuation plus faible de la lumière. Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites électromagnétiques constitue un avantage très apprécié, puisqu'une fibre optique supporte sans difficulté la proximité d'émetteurs radioélectriques. On peut donc les utiliser dans des environnements très perturbés (avec de puissants champs électromagnétiques, par exemple) ou pour isoler électriquement des bâtiments entre eux.

1.4 Transmissions sans fil

Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'atmosphère ou dans le vide (le terme d'*éther* désigne parfois ce type de support). L'absence de support matériel apporte une certaine souplesse et convient aux applications comme la téléphonie ou les télécommunications mobiles, sans nécessiter la pose coûteuse de câbles. On utilise des faisceaux directifs, faisceaux hertziens (pour franchir de grandes distances) ou ondes diffusées (pour atteindre des récepteurs géographiquement dispersés).

Faisceaux hertziens

Les *faisceaux hertziens* reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelles qui émettent dans une direction donnée. La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple sur une tour ou au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions environnantes. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longue distance dans les réseaux téléphoniques.

Ondes radioélectriques

Les *ondes radioélectriques* correspondent à des fréquences comprises entre 10 kHz et 2 GHz. Un émetteur diffuse ces ondes captées par des récepteurs dispersés géographiquement. Contrairement aux faisceaux hertziens, il n'est pas nécessaire d'avoir une visibilité directe entre émetteur et récepteur, car celui-ci utilise l'ensemble des ondes réfléchies et diffractées. En revanche, la qualité de la transmission est moindre car les interférences sont nombreuses et la puissance d'émission beaucoup plus faible.

Remarque

L'attribution des bandes de fréquences varie selon les continents et fait l'objet d'accords internationaux. Le tableau 1.1 donne les grandes lignes de la répartition des ondes en France. On constate que le découpage est complexe et qu'il reste peu de place pour de nouvelles applications.

Tableau 1.1

Affectation des fréquences en France

Gamme de fréquences	Type d'utilisation
10 kHz – 150 kHz	Communications radiotélégraphiques
150 kHz – 300 kHz	Radiodiffusion (grandes ondes)
510 kHz – 1605 kHz	Radiodiffusion (petites ondes)
6 MHz – 20 MHz	Radiodiffusion (ondes courtes)
29,7 MHz – 41 MHz	Radiotéléphonie
47 MHz – 68 MHz	Télévision
68 MHz – 87,5 MHz	Liaisons radio en modulation de fréquence
87,5 MHz – 108 MHz	Radiodiffusion
108 MHz – 162 MHz	Radiotéléphonie
162 MHz – 216 MHz	Télévision
216 MHz – 470 MHz	Radiotéléphonie
470 MHz – 860 MHz	Télévision et radar
860 MHz – 960 MHz	Radiotéléphonie
Autour de 1 800 MHz	Radiotéléphonie
Entre 6 et 30 GHz	Services satellites en fixe

2 Caractéristiques globales des supports de transmission

Quelle que soit la nature du support, le terme *signal* désigne le courant, la lumière ou l'onde électromagnétique transmis. Certaines caractéristiques physiques des supports en perturbent la transmission. La connaissance de leurs caractéristiques (la bande passante, la sensibilité aux bruits, les limites des débits possibles) est donc nécessaire pour fabriquer de « bons » signaux, c'est-à-dire les mieux adaptés aux supports utilisés.

2.1 Bande passante

Les supports ont une *bande passante* limitée. Certains signaux s'y propagent correctement (ils sont affaiblis mais reconnaissables à l'autre extrémité), alors que d'autres ne les traversent

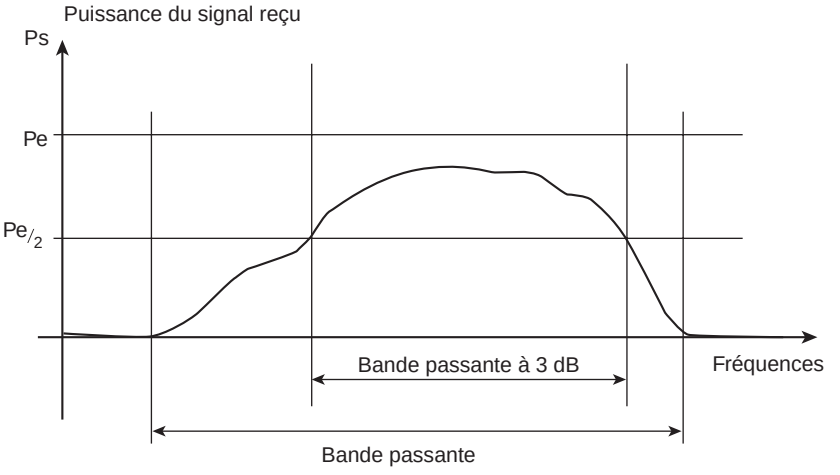
pas (ils sont tellement affaiblis ou déformés qu'on ne les reconnaît plus du tout à la sortie). Intuitivement, plus un support a une bande passante large, plus il transporte d'informations par unité de temps.

Définition

La bande passante est la bande de fréquences dans laquelle les signaux appliqués à l'entrée du support ont une puissance de sortie supérieure à un seuil donné (après traversée du support de transmission). Le seuil fixé correspond à un rapport déterminé entre la puissance du signal d'entrée et la puissance du signal trouvé à la sortie (voir figure 1.4).

Figure 1.4

Notion de bande passante.



Remarque

En général, on caractérise un support par sa bande passante à 3 dB (décibels), c'est-à-dire par la plage de fréquences à l'intérieur de laquelle la puissance de sortie est, au pire, divisée par deux. En notant P_s la puissance de sortie, et P_e la puissance d'entrée, l'affaiblissement A en dB est donné par la formule :

$A = 10*\log_{10} P_e/P_s$. Pour $P_e/P_s = 2$, on trouve : $10*\log_{10} P_e/P_s = 3$ dB.

2.2 Bruits et distorsions

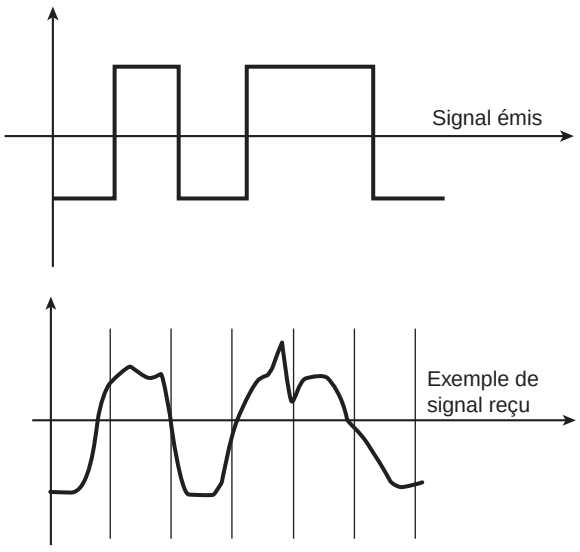
Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent, même lorsqu'ils ont des fréquences adaptées, comme le montre la figure 1.5. Diverses sources de *bruit* peuvent perturber les signaux : parasites, phénomènes de diaphonie… Certaines perturbations de l'environnement introduisent également des bruits (foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers pour les supports métalliques…).

Par ailleurs, les supports affaiblissent et retardent les signaux. Par exemple, la distance est un facteur d'affaiblissement, particulièrement important pour les liaisons par satellite. Ces déformations, appelées *distorsions*, peuvent être gênantes pour la bonne reconnaissance des signaux en sortie, d'autant qu'elles varient généralement avec la fréquence des signaux émis.

Même lorsque les signaux sont adaptés aux supports de transmission, on ne peut pas garantir leur réception correcte à 100 %. Le récepteur d'un signal doit prendre une décision dans un laps de temps très court. De ce fait, cette décision peut être mauvaise.

Figure 1.5

Signal émis et exemple de signal reçu.



Par exemple, un symbole 1 émis peut donner une décision « symbole 0 reçu », ce qui constitue une *erreur de transmission*. Les fibres optiques sont les meilleurs supports, car le taux d'erreur y est très faible : 10^{-12} (c'est-à-dire une mauvaise décision pour 10^{12} bits transmis). Les câbles et les supports métalliques présentent des taux d'erreur moyens. Les liaisons sans fil ont un taux d'erreur variable, sensible aux conditions météorologiques.

2.3 Capacité limitée des supports de transmission

La *capacité* d'un support de transmission mesure la quantité d'informations transportée par unité de temps. L'ensemble des caractéristiques que nous venons de voir fait que la capacité d'un support est limitée. Un théorème dû à Shannon[1] exprime, en bits par seconde, la borne maximale de la capacité Cap_{Max} d'un support de transmission :

$$Cap_{Max} = W^{*}\log_2 (1 + S/B).$$

Dans cette formule, W est la largeur de la bande passante du support de transmission exprimée en hertz, S/B représente la valeur du rapport entre la puissance du signal (notée S) et la puissance du bruit (notée B) ; la base 2 du logarithme sert à exprimer la quantité d'informations en bits (voir section 4.2).

Exemple

Sur une liaison téléphonique dont la bande passante a une largeur de 3 100 Hz et un rapport S/B correspondant à 32 dB (valeurs courantes), on obtient :
$10 \log_{10} S/B = 32$ donc $\log_{10} S/B = 3{,}2$ soit $S/B = 1585$;
$Cap_{Max} = 3100^{*}\log_2 (1 + 1585)$;
comme $1586 = 2^{10{,}63}$, $Cap_{Max} = 3100^{*}10{,}63 = 33\,000$ bit/s.

Le choix d'un support de transmission tient compte de nombreux éléments. Des considérations économiques (le prix de revient du support, le coût de sa maintenance, etc.) interviennent en plus des facteurs techniques que nous venons de présenter, de même que la nature des signaux propagés, puisque l'équipement de transmission de données contient une partie spécifique au support de transmission utilisé. Examinons maintenant les techniques de transmission du signal véhiculant les données sur le support.

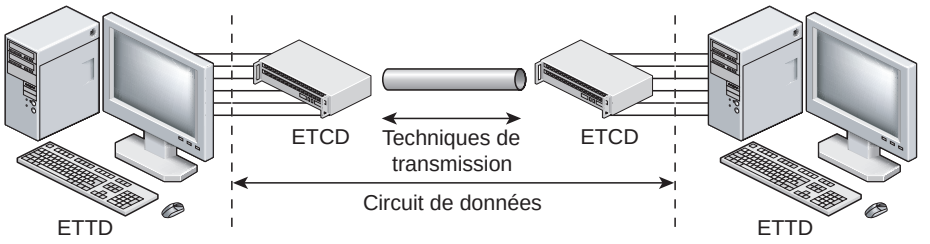
1. Claude Shannon (1916-2001), mathématicien américain qui a développé la théorie de l'information.

3 Fabrication des signaux : techniques de transmission

Selon les techniques de transmission utilisées, un équipement spécifique est placé à chaque extrémité du support : soit un *modem* (modulateur-démodulateur), soit un *codec* (codeur-décodeur). Cet équipement assure la fabrication des signaux en émission et leur récupération en réception. Pour émettre les données, le modem reçoit la suite de données binaires à transmettre et fournit un signal dont les caractéristiques sont adaptées au support de transmission. Inversement, en réception, le modem extrait la suite des données binaires du signal reçu. Le support de transmission est ainsi transparent à l'utilisateur. Le support de transmission et les deux modems placés à chacune de ses extrémités constituent un ensemble appelé *circuit de données*, comme le montre la figure 1.6.

Figure 1.6

Équipements constitutifs d'un circuit de données.



L'ISO[2] et l'ITU (*International Telecommunications Union*) ont attribué des appellations génériques normalisées au modem et à l'équipement qui émet ou reçoit les données (ordinateur de l'utilisateur, imprimante…). Ainsi, le modem et le codec appartiennent à la famille des ETCD (équipement de terminaison du circuit de données), l'ordinateur ou l'imprimante font partie des ETTD (équipement terminal de traitement des données).

Définition

Le *circuit de données* est une entité capable d'envoyer ou de recevoir une suite de données binaires, à un débit donné, dans un délai donné et avec un taux d'erreur dépendant du support utilisé.

L'ETTD émetteur fournit à l'ETCD, régulièrement dans le temps, les données à transmettre. L'ETCD les émet sous forme d'un signal à deux valeurs (correspondant à 0 et 1), appelé *message de données synchrone* (voir figure 1.7). En effet, les intervalles de temps alloués à chaque symbole sont égaux et coïncident avec les périodes successives d'une base de temps (ou horloge) indispensable à l'interprétation du message de données.

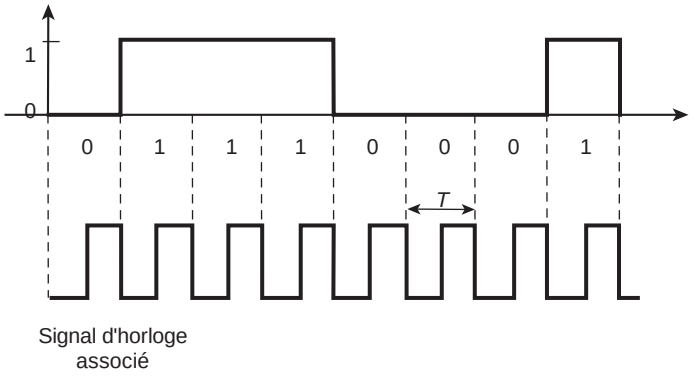
2. Le nom de l'organisation donnerait lieu à des abréviations différentes selon les langues (IOS pour *International Organisation for Standardization* en anglais, OIN pour *Organisation internationale de normalisation* en français…). Il a été décidé d'emblée d'adopter un mot provenant du grec *isos* (égal), pour que la forme abrégée du nom de l'organisation soit toujours ISO.

Remarque

L'utilisation d'un circuit de données dépend de la nature des ETCD situés aux extrémités du support de transmission. La communication est en mode *duplex intégral* si la transmission simultanée est possible dans les deux sens. Si elle n'est possible que dans un seul sens à un moment donné (transmission *à l'alternat*), le circuit est *semi-duplex*. Enfin, le circuit est *simplex* lorsque la transmission ne se fait que dans un seul sens prédéfini.

Figure 1.7

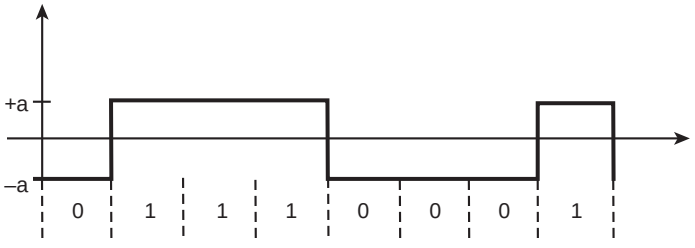
Message de données synchrone.



Le message de données synchrone utilise une représentation conventionnelle de l'information. La plus habituelle est un signal binaire sans retour à zéro, dit NRZ (*No Return to Zero*). On utilise un niveau de tension (+*a*, figure 1.8) pendant une période complète pour représenter la valeur 1 d'un bit, et un autre niveau (–*a*, figure 1.8) pour sa valeur 0.

Figure 1.8

Représentation d'une information en NRZ.



Certains supports autorisent une transmission directe des signaux numériques appelée *transmission en bande de base*. Elle conduit à des réalisations simples et économiques mais n'est pas possible sur tous les supports. De plus, pour une bonne transmission, la bande passante des signaux doit coïncider avec la bande passante du support. Lorsque ce n'est pas le cas, des techniques de *modulation* doivent être utilisées. Nous allons successivement détailler les techniques de transmission en bande de base et les transmissions par modulation.

3.1 Transmission en bande de base

Dans la transmission en bande de base, l'ETCD code le message de données synchrone en une suite de signaux compatibles avec les caractéristiques physiques du support de transmission (l'ETCD effectue, en fait, un simple transcodage du signal que fournit l'ETTD). Plusieurs facteurs expliquent les principales difficultés rencontrées dans la t*ransmission en bande de base* : la limitation de la bande passante – dans les basses comme dans les hautes fréquences – et le fait qu'il faille transférer les données quelle que soit leur valeur.

Nous verrons que les longues suites de 0 ou de 1 peuvent engendrer des problèmes à la réception.

Remarque

L'ETCD qui met en œuvre une transmission en bande de base est parfois appelé « modem bande de base » par abus de langage, bien qu'il ne fasse pas de modulation.

L'ETCD récepteur doit reconstituer correctement le signal d'horloge associé aux données. Pour cela, deux techniques de transmission de l'horloge sont envisageables : soit indépendamment du message de données (ce qui consomme une partie de la puissance disponible pour le signal), soit en utilisant les transitions du signal codé (il faut donc que le signal présente suffisamment de transitions). Dans ce dernier cas, si les données à transmettre contiennent une longue suite de 0 ou de 1, le signal NRZ reste à la même valeur pendant longtemps, provoquant ainsi une absence de repère temporel pour l'ETCD récepteur, d'où une perte de synchronisation. On ne transmet donc pas directement le signal en NRZ mais sous une forme voisine, qui prend en compte les contraintes précédentes. Le *code biphase* est un exemple très connu de codage pour la transmission des données en bande de base.

Le code biphase, également appelé code Manchester (voir figure 1.9), utilise une représentation à deux niveaux : pendant chaque intervalle de temps correspondant à un symbole binaire, deux polarités opposées sont transmises. Selon la donnée à coder, on trouve un front montant (transition vers le haut) ou un front descendant (transition vers le bas) au milieu de l'intervalle de temps significatif. Il y a donc systématiquement une transition du signal à chaque intervalle de temps, ce qui garantit une bonne synchronisation entre les deux ETCD et facilite le travail de décision du récepteur.

Remarque

Le code Manchester est le code le plus fréquemment employé dans les transmissions numériques. Il s'utilise en particulier dans les réseaux locaux Ethernet.

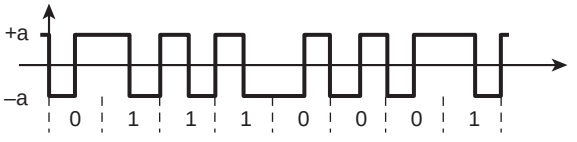


Figure 1.9
Code biphase ou Manchester.

3.2 Transmission par modulation

La transmission par modulation consiste à envoyer une onde sinusoïdale appelée *porteuse*. En fonction de la donnée à transmettre, l'ETCD modifie l'un des paramètres de la porteuse (fréquence, phase ou amplitude). Soit $a\cos(2\pi f_0 t + \phi)$ une porteuse de fréquence f_0, et $d(t)$ la suite des données binaires à transmettre (le message de données synchrone de la figure 1.7 par exemple). Appelons Δ l'intervalle de temps significatif pendant lequel $d(t)$ vaut 0 ou 1, c'est-à-dire que $d(t)$ est constant sur l'intervalle $[t, t + \Delta[$.

En *modulation d'amplitude simple*, l'amplitude du signal transmis change avec les données. Ainsi, pendant tout l'intervalle $[t, t + \Delta[$, le signal transmis vaudra : $m(t) = (a - k)\cos(2\pi f_0 t + \phi)$ si $d(t) = 0$, et $m(t) = (a + k)\cos(2\pi f_0 t + \phi)$ si $d(t) = 1$. Dans ces expressions,

k est une constante. À la réception, pendant l'intervalle $[t, t + \Delta[$, l'ETCD récepteur mesure l'amplitude du signal reçu et en déduit la valeur de la donnée $d(t)$.

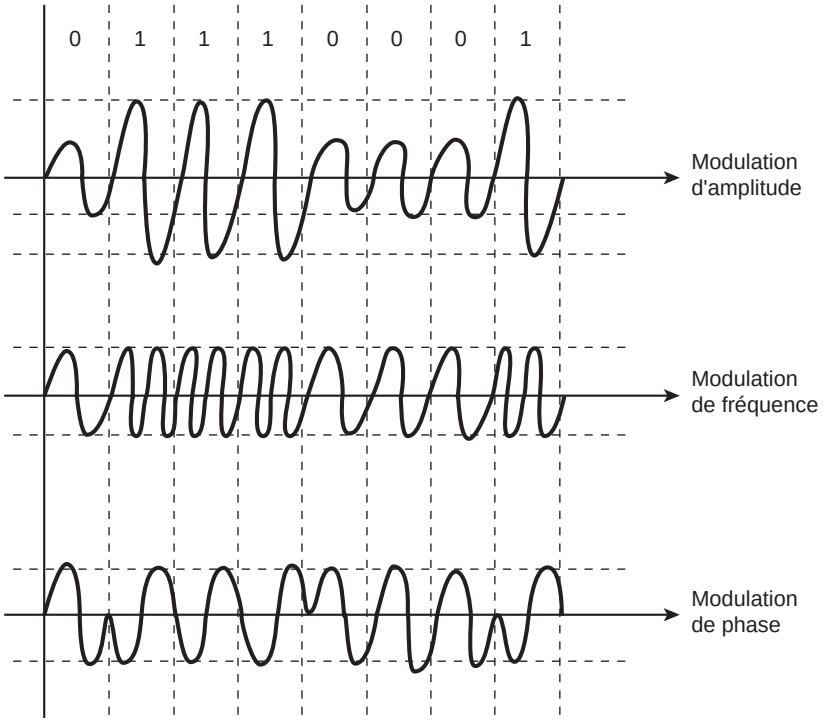
En *modulation de fréquence simple*, la fréquence du signal transmis change avec les données. Ainsi, pendant tout l'intervalle $[t, t+ \Delta[$, le signal transmis sera : $m(t) = a \cos(2\pi(f_0 - h)t+\phi)$ si $d(t) = 0$ et $m(t) = a \cos(2\pi(f_0+h)t+\phi)$ si $d(t) = 1$, expressions dans lesquelles h est une constante. Pendant l'intervalle $[t, t+\Delta[$, l'ETCD récepteur mesure la fréquence du signal reçu et en déduit la valeur de la donnée $d(t)$.

En *modulation de phase simple*, la phase du signal transmis change avec les données. Ainsi, pendant tout l'intervalle $[t, t+ \Delta[$, le signal transmis sera : $m(t) = a \cos(2\pi f_0 t+\phi)$ si $d(t) = 0$ et $m(t) = a \cos(2\pi f_0 t+(\phi + \pi))$ si $d(t) = 1$. Pendant l'intervalle $[t, t+\Delta[$, l'ETCD récepteur mesure la phase du signal reçu et en déduit la valeur de la donnée $d(t)$.

Une modulation *simple* (voir figure 1.10) consiste à modifier la porteuse et à émettre le signal produit pendant l'intervalle Δ (qui dépend du débit binaire utilisé). Sur cet intervalle, la donnée à transmettre peut prendre deux valeurs (0 ou 1), et le signal aura deux valeurs (par exemple, les deux amplitudes $a - k$ et $a + k$). Le nombre de valeurs possibles du signal s'appelle la *valence* ; elle est notée V.

Figure 1.10

Exemples de modulations simples.



Pour atteindre des débits élevés, on pourrait imaginer de réduire l'intervalle Δ. Remplaçons Δ par $\Delta/3$: l'information $d(t)$ change à chaque intervalle $\Delta/3$, de même que le signal modulé. Le récepteur n'a plus qu'un intervalle $\Delta/3$ pour effectuer ses mesures et prendre sa décision. Cette méthode devient peu fiable si on restreint trop l'intervalle de temps. On préfère donc découpler l'intervalle de variation des données, désormais noté θ, de l'intervalle de variation du signal modulé, toujours noté Δ ; on parle alors de modulation *complexe*. Par exemple, si θ vaut $\Delta/3$, les données contiennent 3 bits dans un intervalle Δ (donc huit valeurs différentes) : le signal modulé prend alors, pendant tout un intervalle Δ, une valeur parmi les 8 possibles.

4 Caractéristique d'une transmission

L'introduction d'une distance entre équipements informatiques nécessite un *support de transmission*. Or, nous avons vu que les ETCD cachaient la nature réelle du support à l'utilisateur (pour lequel elle est transparente). Celui-ci ne voit donc la transmission qu'à travers l'interface entre ETTD et ETCD. Du circuit de données, il ne connaît pratiquement que le débit binaire utilisé pour la transmission.

4.1 La qualité du circuit de données

La qualité du circuit de données est mesurée selon différents critères techniques :

- Le *taux d'erreurs* est le rapport entre le nombre de bits erronés, sur le nombre total de bits transmis.
- La *disponibilité* permet d'évaluer la proportion de temps pendant lequel la transmission est possible (absence de panne ou de coupure). On peut s'intéresser également au nombre d'incidents et à leur durée cumulée, afin de déterminer la durée moyenne et le coût d'une panne.
- Le *débit binaire D* représente le nombre de bits transmis par seconde. On peut préciser, en outre, que le débit est en mode duplex intégral, semi-duplex ou en simplex.
- La *rapidité de modulation R*, exprimée en bauds[3], indique le nombre de symboles transmis par unité de temps. Si Δ représente la durée (en secondes) de l'intervalle de temps séparant deux valeurs significatives du signal, alors $R = 1/\Delta$ bauds.
- Le *délai de propagation* définit le temps matériellement nécessaire au signal pour traverser le support. Par exemple, il faut environ un quart de seconde à un signal se propageant à la vitesse de la lumière pour parcourir une distance de 72 000 km (cas des satellites géostationnaires).

Remarque

La formule : $D = R^* \log_2 V$ exprime la relation liant la rapidité de modulation au débit binaire. Pour des modulations simples – des signaux de valence 2 – chaque intervalle Δ transporte 1 bit. Les valeurs numériques du débit binaire et de la rapidité de modulation sont alors égales.

Remarque

Pour un support de transmission, la rapidité de modulation maximale dépend de sa bande passante (critère de Nyquist). La rapidité de modulation maximale R_{max} est égale au double de la fréquence la plus élevée disponible sur le support : $R_{max} = 2F_{max}$.

4.2 Les données transmises

Les informations échangées sur le réseau proviennent de textes, de tableaux de nombres, d'images fixes ou animées, de musiques ou de sons : tout est mis sous forme numérique, c'est-à-dire de *données binaires*. La numérisation de la parole, du son, des images n'entre

3. Le mot *baud* vient d'Émile Baudot (1845-1903), ingénieur français.

pas dans le cadre de cet ouvrage. La notion de caractère (une lettre dans un texte) est elle aussi assimilée à une suite de bits (par exemple, chaque lettre ou chaque chiffre se code sur 7 bits dans l'alphabet ASCII. On peut donc représenter 2^7 soit 128 caractères différents avec ce code). D'une façon générale, on associe à tous les « objets » traités par l'informatique (et donc par les réseaux) des codes binaires dont la longueur dépend directement du nombre d'objets à dénombrer ou à coder.

Définition

En informatique, l'unité de quantité d'informations est le bit et tous ses multiples : octet, Kilo-octet (Ko), mégaoctet (Mo). Un Kilo-octet (avec un K majuscule)[4] contient 2^{10} octets, soit 1 024 octets (et non 1 000) ; un mégaoctet vaut 1 024 Kilo-octets soit 1 048 576 octets (et non 10^6…) ; les unités suivantes sont le gigaoctet (Go), qui vaut 1 024 Mo, le téraoctet (1 024 Go), le pétaoctet (1 024 To)…
Dans les réseaux informatiques et les télécommunications, le débit binaire s'exprime en bit/s et ses multiples : un kilobit/s (avec un k minuscule), un mégabit/s… ; ces dernières sont des puissances de 10 du bit/s. Ainsi, un modem à 56 kbit/s peut émettre ou recevoir jusqu'à 56 000 bit/s (et non 57 344 bit/s…).

4.3 L'INTERFACE SÉRIE ETTD-ETCD

L'interface série entre l'ETTD et l'ETCD, ou *jonction*, est le point de raccordement physique entre l'équipement informatique et son modem. Les spécifications de cette jonction sont mécaniques (la forme du connecteur et le nombre de broches), électriques (les niveaux de tension utilisée) et fonctionnelles (signification des informations véhiculées sur chaque fil).

L'interface la plus courante est la jonction V24 (ou RS232C). Elle correspond à un connecteur ISO 2110 à 25 broches. Elle a une portée maximale de 50 m et un débit inférieur ou égal à 20 kbit/s. Le 1 est une tension négative comprise entre –3 V et –25 V, le 0 une tension positive comprise entre +3 V et + 25 V. À chaque broche correspond un fil (ou *circuit*). Chaque fil possède un numéro et joue un rôle dans l'échange de données comme le montre le tableau 1.2 dans lequel seuls figurent les principaux circuits.

Tableau 1.2

Les principaux circuits de l'interface série V24

N° broche	N° circuit	Rôle	Sens	Type
2	103	Données émises	ETTD vers ETCD	Données
3	104	Données reçues	ETCD vers ETTD	Données
4	105	Demande pour émettre	ETTD vers ETCD	Commande
5	106	Prêt à émettre	ETCD vers ETTD	Commande
6	107	Poste de données prêt	ETCD vers ETTD	Commande
8	109	Détection de porteuse	ETCD vers ETTD	Commande
20	108.2	Équipement de données prêt	ETTD vers ETCD	Commande

4. Bien que l'IEC (*International Electrotechnical Commission*) ait décidé d'aligner les unités d'informatique sur toutes les autres unités physiques avec kilo = 1 000, méga = 10^6…, de nombreux logiciels continuent d'utiliser les préfixes qui sont des puissances de 2.

L'initialisation d'un échange met en jeu les circuits 107 et 108.2. Lorsque l'ETTD veut émettre des données, il le signale par le circuit 105 pour que le modem se prépare (celui-ci envoie par exemple une porteuse non modulée pour que le modem distant se synchronise). Quand le modem est prêt, il répond sur le circuit 106. Enfin, les données à émettre sont fournies en série sur le circuit 103, accompagnées du signal d'horloge associé[5]. Lorsque le modem reçoit une porteuse de la part du modem distant, il le signale par le circuit 109. Dès qu'il est capable de démoduler le signal reçu, il en extrait les données qu'il transmet en série sur le circuit 104. L'ETTD échantillonne les données reçues grâce au signal d'horloge transmis par l'ETCD. L'échange de données sur les circuits 104 et 105 peut avoir lieu simultanément si la transmission est en duplex intégral.

On voit donc qu'un dialogue existe entre l'ETTD et l'ETCD, par l'intermédiaire des différents circuits. La normalisation définit ce dialogue indépendamment du mode de transmission, du support utilisé et de la configuration du circuit. L'interface série *V24* a été très largement répandue, en particulier avec un connecteur simplifié à 9 broches seulement (*DB9* au lieu de *DB25*). Elle a fait place à d'autres interfaces plus performantes, comme RS449 qui peut supporter jusqu'à 2 Mbit/s. Depuis 1995, on utilise fréquemment le port USB (*Universal Serial Bus*) – dont la version la plus rapide supporte jusqu'à 480 Mbit/s – car il permet de brancher ou de débrancher le modem à chaud (sans avoir à redémarrer l'ordinateur). Le port USB ne contient que 4 circuits : un pour l'alimentation, deux pour les données (un par sens de transmission) et une terre de protection. Le dialogue de l'interface se déroule alors directement sur les circuits de données, par des échanges de messages codés.

5 ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)

L'ADSL fait partie d'une famille d'accès à haut débit (d'où le nom générique *xDSL* donné à ces techniques de transmission), qui utilise les lignes téléphoniques ordinaires comme support de transmission. L'ADSL utilise la *boucle locale* raccordant chaque usager du téléphone au central téléphonique dont il dépend. L'idée est la suivante : puisque la bande passante utilisée pour les conversations téléphoniques est faible (de 300 à 3 400 Hz), la majeure partie de la bande passante des paires torsadées est inutilisée et peut s'employer pour le transfert des données numériques. L'ADSL multiplexe, sur la ligne de l'abonné, les données numériques (provenant d'un ordinateur par exemple) et le téléphone vocal. Les deux équipements s'utilisent ainsi simultanément sans interférences.

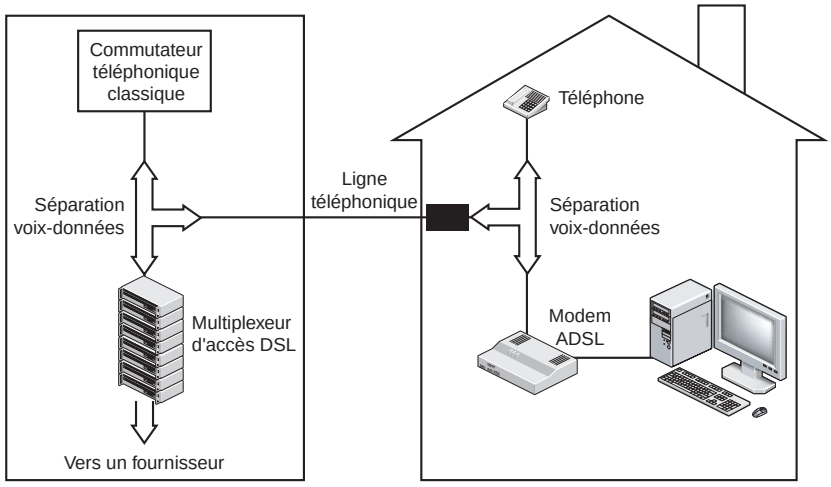
Une des caractéristiques de l'ADSL tient dans son nom : le débit est différent dans les deux sens de transmission ; le sens le moins rapide possède un débit environ 10 fois inférieur à l'autre sens. Le débit binaire disponible dépend de la longueur et de l'état de la boucle locale. Ces deux facteurs déterminent, à l'initialisation, le débit maximal offert à l'abonné. Au départ, l'ADSL permettait d'émettre jusqu'à 8 Mbit/s dans le sens *descendant* (du fournisseur vers l'usager) et jusqu'à 800 kbit/s dans le sens *montant* (de l'usager vers le fournisseur). Les dernières versions offrent des débits pouvant aller jusqu'à 50 Mbit/s, mais sur des distances beaucoup plus courtes.

Dans le central téléphonique, les deux types de systèmes coexistent : le réseau de données (le réseau du fournisseur d'accès) vient se greffer sur le réseau téléphonique classique, les

5. Le circuit utilisé pour l'horloge dépend du type du modem et de la nature du transfert de données (émission ou réception) : une émission utilise le circuit 113 ou 114, une réception utilise le circuit 115. Quand la transmission est en mode duplex intégral, le modem utilise deux signaux d'horloge, un par sens de transmission.

deux réseaux utilisant la ligne de l'abonné (voir figure 1.11). Les deux types de signaux sont acheminés dans leurs équipements respectifs, chez l'abonné comme dans le central téléphonique. Un équipement appelé *répartiteur* (*splitter*) est responsable de l'éclatement et de la recombinaison des deux types de signaux dans le central et chez l'abonné (indispensable chez ce dernier uniquement lorsque celui-ci utilise un téléphone numérique ; il sert alors à séparer les canaux utilisés pour la téléphonie de ceux employés pour la transmission des données). Pour un téléphone analogique, un simple filtre placé devant le téléphone de l'abonné suffit.

Figure 1.11
Raccordement ADSL.



La transmission des données de l'ADSL utilise une modulation particulière (DMT, *Discrete MultiTone*), spécifiquement adaptée aux caractéristiques physiques des lignes d'abonnés sur une courte distance (généralement moins de 3,5 km) et utilisant deux débits différents. Le modem ADSL logé chez l'abonné et l'interface utilisateur peuvent se présenter sous plusieurs formes, dont la plus récente est le port USB.

Résumé

Pour relier deux équipements informatiques éloignés l'un de l'autre, on utilise un circuit de données constitué par un support de transmission, des modems et une interface série.

Les supports de transmission sont très variés (paires métalliques, câbles coaxiaux, fibre optique, sans fil…). La bande passante et le taux d'erreur qu'il introduit dans les signaux transportés sont les principales caractéristiques d'un support. À chaque extrémité, des modems (modulateurs-démodulateurs de signaux analogiques) ou des codecs (codeurs-décodeurs de signaux numériques) transmettent des signaux adaptés à la nature du support. Les techniques de transmission de données (en bande de base ou par modulation) permettent d'adapter au mieux les signaux aux caractéristiques des supports. Une interface série relie chaque modem à l'équipement informatique qui envoie ou reçoit des données. Les techniques et les interfaces sont normalisées au niveau international par l'ISO et l'ITU.

Le raccordement ADSL des usagers à Internet est un exemple de transmission utilisant la boucle locale téléphonique. Un multiplexage de la téléphonie et des données utilise une modulation spécifique. L'interface série est fréquemment un port USB.