

Supports physiques, Transmission physique

C. Pham
Université de Pau et des Pays de l'Adour
Département Informatique
<http://www.univ-pau.fr/~cpham>
Congduc.Pham@univ-pau.fr



Informations analogiques vs numériques

- **Analogique**
 - En analogique, les informations sont représentées par des niveaux de valeurs continus, proportionnels à la valeur de l'information. La transmission de ces informations se fait directement sur le support physique. Ex: Micros, photographie sur négatif.
- **Numérique**
 - Seulement un nombre faible de niveaux est utilisé. On doit d'abord échantillonner le signal analogique pour obtenir une représentation numérique. On transmet alors ces échantillons sur le support physique en utilisant le codage binaire pour n'utiliser que les valeurs pré-définies de voltages. Ex. +5 volts et -5 volts pour les 1 et les 0.
- **Question: Le télégraphe est-il un système analogique ou numérique?**

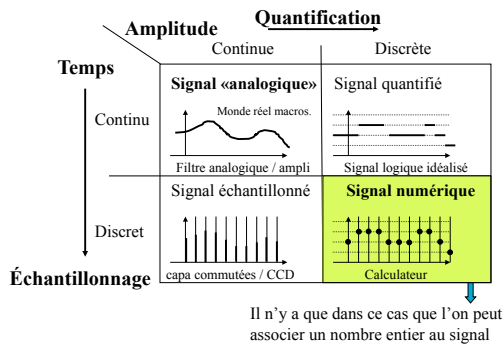
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Avantages et inconvénients

- **Analogique**
 - Informations complètes, pas de perte dues à l'échantillonnage.
- **Numérique**
 - Facilité de régénérer le signal, de le retravailler.
 - Détection et corrections des erreurs possibles.
 - Possibilité de mixer plusieurs types de données (voix, images, données...)
 - Des débits plus élevés peuvent être obtenus avec les infrastructures existante.

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Numérisation / discrétisation



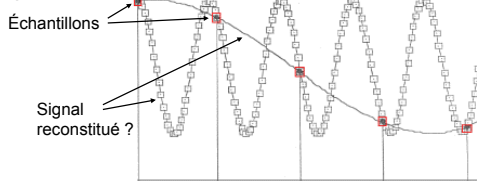
Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Échantillonnage : Théorème de Shannon

Théorème De Shannon: $F_e > 2 \times F_{max}(\text{Signal})$

Exemple :



Un signal incorrectement échantillonné ne pourra pas être reconstitué

Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Les différentes catégories de réseaux

- Les besoins et les contraintes ne sont pas du tout les mêmes d'une catégorie à l'autre. Les LANs sont souvent sur des support en partage, les MAN et les WAN sont plutôt point à point. La distance influe sur les mécanismes à mettre en oeuvre dans les protocoles. La notion de sécurité n'est plus la même etc...

| distance | localisation |
|----------|------------------|
| 0.1 m | Circuit |
| 1 m | Système SAN |
| 10 m | Pièce SAN/LAN |
| 100 m | Bâtiment SAN/LAN |
| 1 km | Campus LAN |
| 10 km | Ville MAN |
| 100 km | Pays WAN |
| 1000 km | Continent |
| 10000 km | Planète Internet |

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

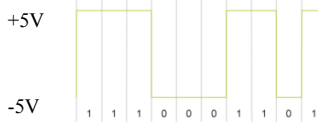
Transmission et modulation

- Les ordinateurs fonctionnent dans un système numérique binaire (0,1)
- Toutes les informations seront donc une suite binaire
 - Audio, Image, vidéo
 - Texte, programmes
- Transmettre de l'information nécessite un support de transmission
 - Filaire (conducteur électrique, guide optique)
 - Sans-fils (l'air est le support)
 - Autre (quoi?)
- Transmettre une information binaire consiste à introduire un changement d'état sur le support de transmission : c'est la modulation

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Exemples de modulation et transmission

■ Propagation d'une tension



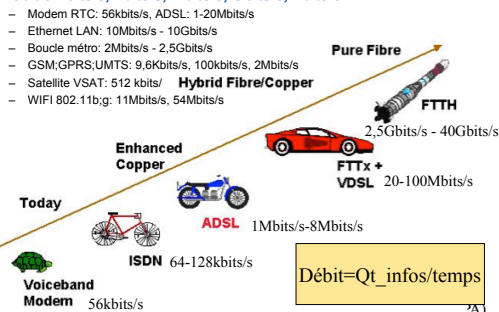
■ Propagation d'une onde électromagnétique



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Les performances de réseaux

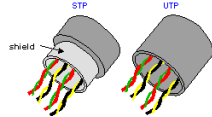
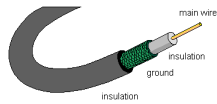
- Débit : nombre de bits que le réseau peut transporter par seconde
- Latence : délai pour aller de la source à la destination
- Débit en bits/s, kbits/s, Mbits/s, Gbits/s, Tbits/s...



Support cuivre

■ Paire torsadée (STP et UTP)

- peu coûteuse, symétrique, écrané ou non
- très utilisée (téléphone, réseaux locaux),
- large infrastructure existante,
- débit limité (centaine de Mbits/s)



■ Câble coaxial

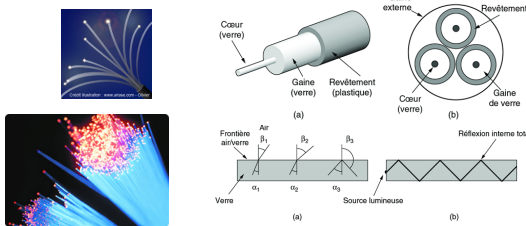
- plus coûteux, asymétrique mais,
- meilleur protection contre les interférences,
- distance plus élevée et meilleur débit (1 à 2 Gbits/s sur 1 km)

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Fibres optiques (1)

■ Fibre optique

- de moins en moins coûteuse, plus légères, en silice le plus souvent, rarement en verre (atténuation). Le plastique est possible.
- environ 50km sans répéteurs.
- très haut-débit (50000 Gbits/s théorique) et très bonne fiabilité.

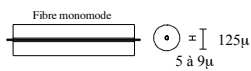


Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Fibres optiques (2)

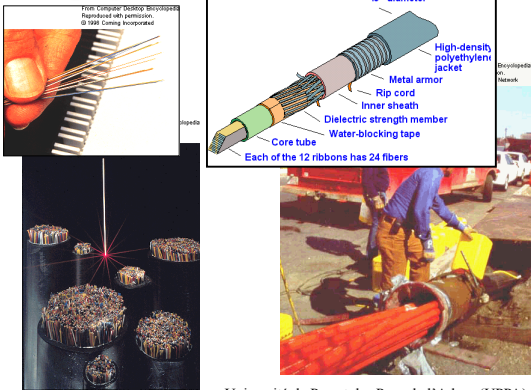
■ Fibres optiques

- multi-mode
 - fibre multimode (obsolete) 50 ou 62,5 9μ
 - Fibre à gradient d'indice 50 ou 62,5 9μ
- mono-mode
 - Fibre monomode ± 125μ 5 à 9μ



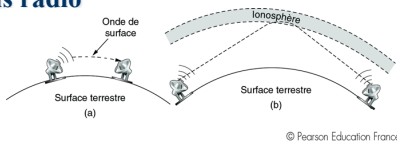
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Fibres optiques (3)

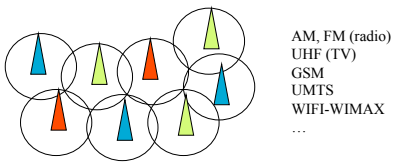


Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Liaisons radio



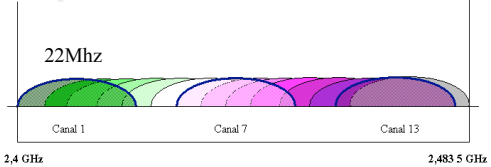
- Sans fils
 - infrastructure moins coûteuse, mais
 - erreurs plus fréquentes et dépendantes des conditions climatiques.



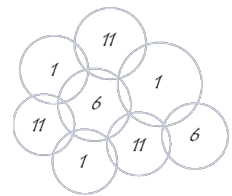
- AM, FM (radio)
- UHF (TV)
- GSM
- UMTS
- WIFI-WIMAX
- ...

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Exemple: WIFI 802.11b à 11Mbps/s



| Canal | Fréquence crête (en GHz) |
|-------|--------------------------|
| 1 | 2,412 |
| 2 | 2,417 |
| 3 | 2,422 |
| 4 | 2,427 |
| 5 | 2,432 |
| 6 | 2,437 |
| 7 | 2,442 |
| 8 | 2,447 |
| 9 | 2,452 |
| 10 | 2,457 |
| 11 | 2,462 |
| 12 | 2,467 |
| 13 | 2,472 |
| 14 | 2,477 |



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Satellites

- répéteurs dans le ciel, d'une base source vers une base destination,
- possède généralement plusieurs transponder (1 transponder = plusieurs centaines de communications téléphoniques),
- faisceau large ou plus étroit (very small aperture terminals, VSATs)
- grande bande passante (>500MHz),
- plusieurs orbites disponibles,
- grande couverture géographique,
- mais délais plus grands (250 a 300 ms) et,
- coût élevé par équipement.

60 GHz = Fréquence d'échange entre satellites.
Il y a environ 1000 Satellites.

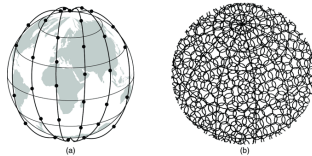
| BANDES | FREQUENCES |
|----------|------------|
| BANDE C | 4/6 GHz |
| BANDE KU | 11/14 GHz |
| BANDE Ka | 20/30 GHz |

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Satellites (suite)

| Altitude (km) | Type | Latence (ms) | Satellites nécessaires |
|-----------------|------|--------------|------------------------|
| 35 000 | GEO | 270 | 3 |
| 10 000 - 20 000 | MEO | 35-65 | 10 |
| 0 - 10 000 | LEO | 1-7 | 50 |

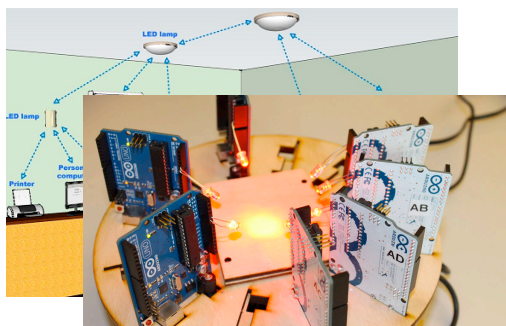
Iridium, 66 satellites
Initialement 77



Auteur: C. P

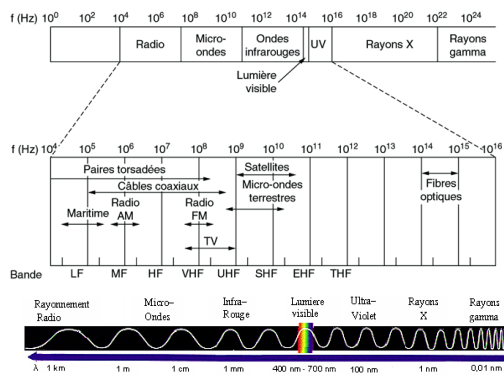
© Pearson Education France (UPPA)

Visible Light Communication



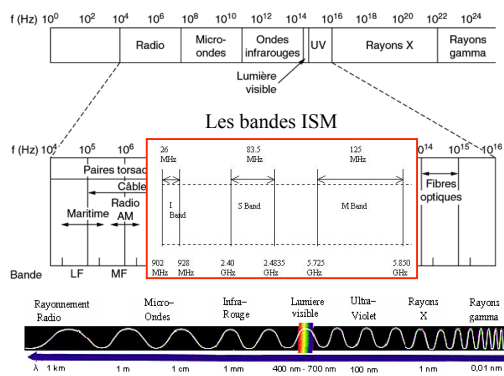
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Le spectre électromagnétique



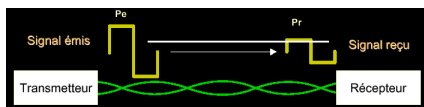
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Le spectre électromagnétique



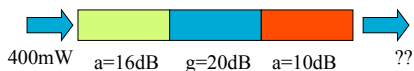
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Phénomènes indésirables (1)



■ Atténuation

- affaiblissement de l'amplitude du signal, en fonction de la distance généralement. L'atténuation augmente quand la fréquence augmente.
- Atténuation = $10 \log_{10}(P_e/P_r)$ (en dB), P_e en watts (-3dB=moitié)
- Gain = $10 \log_{10}(P_r/P_e)$
- si plusieurs sections d'atténuation/gain différents, on peut les sommer:



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

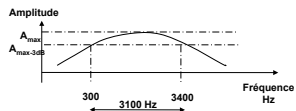
Phénomènes indésirables (2)

■ Bande passante limitée

- Pour un matériau donné les fréquences de 0 à f peuvent être raisonnablement véhiculées sans subir de distorsion trop grande. C'est la bande passante $W = F_{max} - F_{min}$ (en Hz)
- Le spectre du signal à transmettre (éventuellement modulé) doit être compris dans la bande passante du support physique.

■ Exemples:

- l'atmosphère élimine les U.V.
- l'oreille humaine est sensible dans la bande 20 Hz-20 KHz
- Réseau téléphonique commuté (RTC)



Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Phénomènes indésirables (3)

■ Bruit

- émetteur du signal ;
- media de transmission ;
- perturbation atmosphérique

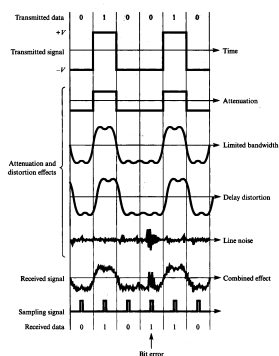
■ Chaque support introduit des perturbations électriques qui font que même en l'absence de signal, il y a des signaux parasites. C'est le bruit de la ligne.

- Bruit thermique = agitation thermique des électrons (source de bruit la plus courante)
- Diaphonie = influence mutuelle entre deux signaux utiles mais sur des conducteurs voisins.

■ On utilise le rapport S/N (signal reçu à bruit, SNR) en le caractérisant par $SNR=10\log_{10}(S/N)$ dB

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Ce qui en résulte...



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

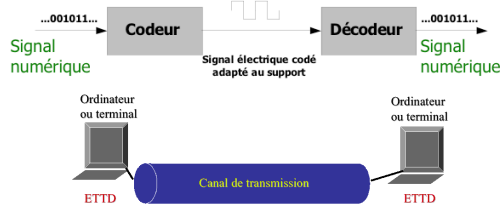
Modulation, BP et débit

- La modulation est la transformation d'un message à transmettre en un signal adapté à la transmission sur un support physique.
- 1 bit = {0,1} → on associe un état donné à 0 et un autre à 1. Une suite binaire est alors une suite de changement d'état du support (tension, intensité lumineuse,...)
- Chaque support permet nombre de changement d'états par seconde (rapidité de modulation, R_m) exprimé en baud. 1 baud ne correspond pas forcément à 1 bit: vec des schémas de codage complexe, on peut coder plusieurs bits.
- La bande passante limite la rapidité de modulation

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Transmission courte distance

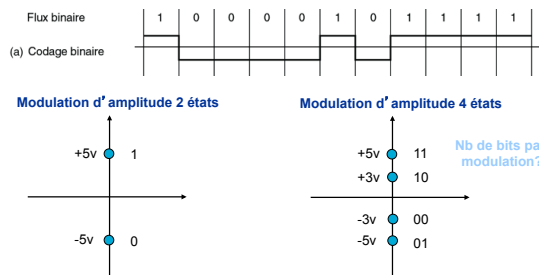
- Transmission en bande de base
 - les bits sont directement représentés par des valeurs de tensions
 - simplicité du codage mais distances limitées à quelques kilomètres
 - occupe toute la bande passante (pas de multiplexage)
 - code NRZ, code Manchester, code Miller, ...



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Exemple de code bande de base

- Code NRZ (non return to zero): les 1 sont codés par une tension positive, les 0 par l'opposé.



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Modulation et valence

- La valence est le nombre de niveau de valeur que peut prendre le signal:
 - (+5v,-5v): valence = 2
 - (+5v, +3v, -3v, -5v): valence =4
- Le débit binaire est directement relié à la rapidité de modulation et à la valence
 - quel est le débit binaire avec 2 niveaux de valeur?
 - quel est le débit binaire avec 4 niveaux de valeur?
- $D=Rm \cdot \log_2 V$

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Débit maximum d'un canal de transmission

- Si un signal quelconque est appliqué à l'entrée d'un filtre passe-bas ayant une bande passante W, le signal ainsi filtré peut être reconstitué avec un échantillonnage à 2W/s (Nyquist, Shannon)

$$D_{max} = 2 W \log_2 V \text{ en bit/s}$$

si le signal comporte V niveaux significatifs (Valence).

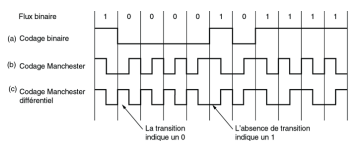
- Exemple: Pour un canal sans bruit dont la bande passante est de 3000 Hz qui ne peut transmettre qu'un signal binaire, D max = 6000 bit/s.
- Le théorème de Shannon-Hartley donne le débit maximum sur une ligne bruitée (S et N en watts, W en Hz, C en bits/s):

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Exemples de codages en bande de base (1)

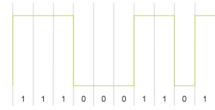
- NRZ: les 1 sont codés par une tension positive, les 0 par l'opposé. Pas d'horloge véhiculée, problème de synchronisation.
- Manchester (Ethernet 10Mbps): Transition au milieu de chaque bit. Les 0 sont codés par un front montant, les 1 par un front descendant. Synchronisation.
- Manchester Différentiel: Les transitions ne codent que l'horloge. Les bits sont codés par la présence (0) ou l'absence de transition (1) en début. Pas de polarité.



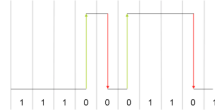
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Exemples de codages en bande de base (2)

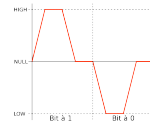
- Bus CAN: NZR



- USB: codage NRZI



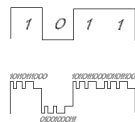
- ARINC: codage bipolaire



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Chipping code: exemple 802.11

- La couche physique de la norme 802.11 définit une séquence de 11 bits (10110111000) pour représenter un 1 et son complément (01001000111) pour coder un 0. On appelle *chip* ou *chipping code* (en français *puce*) chaque bit encodé à l'aide de la séquence. Cette technique (appelée *chipping*) revient donc à moduler chaque bit avec la séquence *barker*.



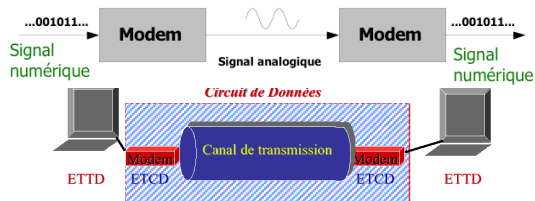
- Redondance=contrôle d'erreurs et possibilité de correction

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Transmission longue distance

- Transmission large bande ou par modulation

- utilise les théories de Fourier sur la décomposition d'un signal périodique
- adaptée aux longues distances (transposition dans un domaine de fréquences adapté au support, protection du bruit)
- résout le problème du multiplexage



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Modulation en large bande

- **Les objectifs de la modulation sont:**
 - une transposition dans un domaine de fréquences adapté au support de transmission;
 - une meilleure protection du signal contre le bruit;
 - une transmission simultanée de messages dans les bandes de fréquences adjacentes, pour une meilleure utilisation du support.
- **Trois types de modulation de base existent, en faisant varier les trois paramètres de l'onde porteuse: A_p , f_p , Φ_p .**

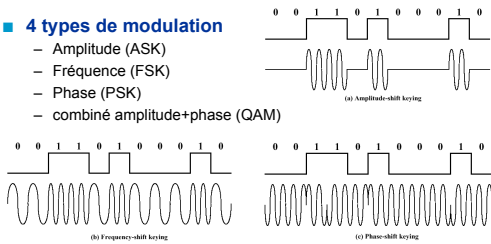
Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Transmission en large bande (broadband)

■ 4 types de modulation

- Amplitude (ASK)
- Fréquence (FSK)
- Phase (PSK)
- combiné amplitude+phase (QAM)



■ Avantages

- Plusieurs canaux de transmission sur le même support
 - de Données
 - de Signaux vidéo analogiques

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Exemple de modulation sinusoïdale

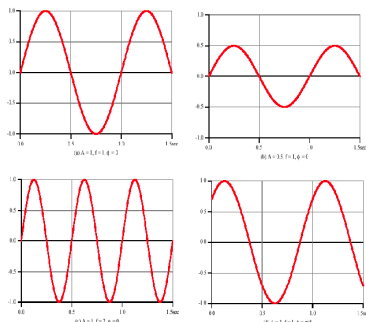
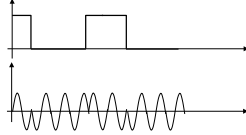


Figure 2.4 $A \sin(2\pi ft + \phi)$

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Modulation de phase

- PSK: Phase Shift Keying
- Un déphasage ↔ une valeur du signal



- Avec des codes à plusieurs bits, on peut augmenter le débit sans changer la fréquence de modulation.
- Les vitesses de transmission sont plus élevées qu'en modulation FSK pour la même bande passante
- Differential PSK: déphasage obligatoire, relatif. Ex: $90^\circ=0$, $270^\circ=1$

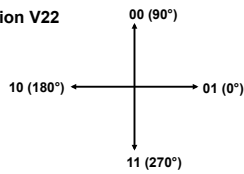
Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Modulation de phase

- Exemple : avis V22 du CCITT (1200 bauds) - phase codée sur 2 bits

Constellation V22



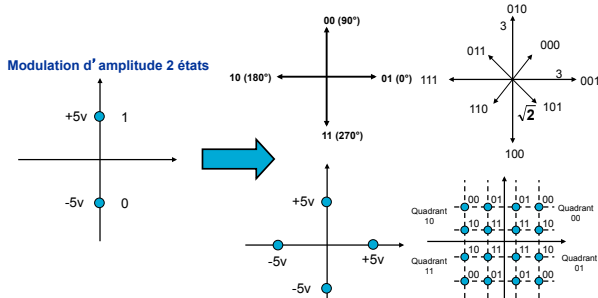
- Nombre de déphasages limité par le bruit pour retrouver le bon signal

Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Modulation combinée

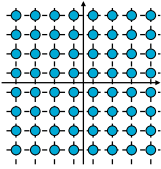
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation)



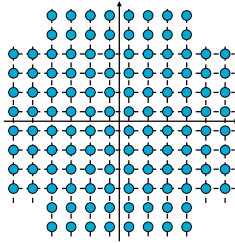
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

QAM 64, QAM 128

Quadrature Amplitude Modulation
QAM 64
64 états (6 bits)



Quadrature Amplitude Modulation
QAM 128
128 états (7 bits)



Source F. Dupond

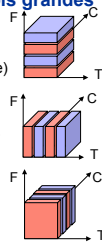
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Multiplexage

■ **Objectif : optimiser l'usage des canaux de transmission pour un transit simultané du maximum d'informations → partage (multiplexage) du support physique de transmission entre plusieurs signaux.**

■ **Ces techniques peuvent se classer en trois grandes catégories:**

- multiplexage fréquentiel :
- MRF (Multiplexage par Répartition de Fréquence)
- FDM (Frequency Division Multiplexing)
- multiplexage temporel :
- MRT (Multiplexage à Répartition dans le Temps)
- TDM (Time Division Multiplexing)
- multiplexage par code
- CDM (Code Division Multiplexing)

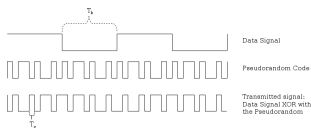


Source F. Dupond

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

CDMA (Code Division Multiple Access)

■ **Un code pour chaque utilisateur lui permet de filtrer et décoder les communications qui lui sont adressées**



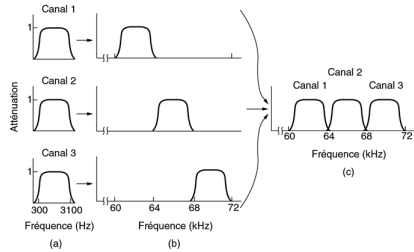
■ **Exploite les propriétés mathématiques entre les codes orthogonaux. 2 codes sont orthogonaux si le produit scalaire de leur vecteur associés est nul. $u = (a, b)$ and $v = (c, d)$ alors $u \cdot v = a \cdot c + b \cdot d$**

■ **Ex: $u=(1,1)$, $v=(1,-1)$**

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Multiplexage en fréquence (1)

■ FDM: Frequency Division Multiplexing



© Pearson Education France

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

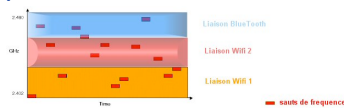
Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

- Etallement de spectre par saut de fréquence
- Découpe la bande de fréquence sous-canaux puis de transmettre en utilisant une combinaison de canaux connue de toutes les stations de la cellule
- Dans la norme 802.11, la bande de fréquence 2.4 - 2.4835 GHz permet de créer 79 canaux de 1 MHz. La transmission se fait ainsi en émettant successivement sur un canal puis sur un autre pendant une courte période de temps (d'environ 400 ms), ce qui permet à un instant donné de transmettre un signal plus facilement reconnaissable sur une fréquence donnée.
- Originellement été conçu dans un but militaire afin d'empêcher l'écoute des transmissions radio.

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

FHSS, suite

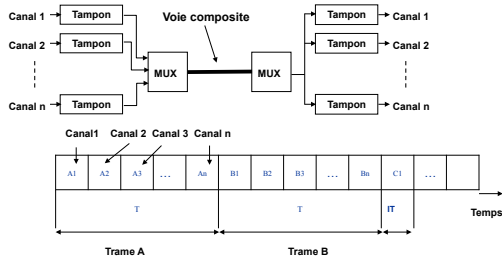
- Aujourd'hui les réseaux locaux utilisant cette technologie sont standards. La séquence de fréquences utilisées est connue de tous donc ne sert plus à la sécurisation des échanges.
- FHSS est utilisé dans 802.11 pour réduire les interférences entre les transmissions des diverses stations d'une cellule
- Plusieurs réseaux peuvent cohabiter à proximité sans interférer tant que leurs sauts de fréquence sont différents. En théorie, jusqu'à 15 réseaux différents peuvent cohabiter dans une même zone.



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Multiplexage temporel

- TDM: Time Division Multiplexing
- Données numériques



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Multiplexage temporel

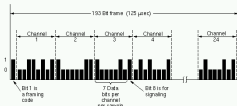
- La vitesse de transmission des voies bas débit (d) est fonction de la vitesse de transmission de la ligne (D) et du nombre de voies n

$$d = D/n$$

- La période T des trames est fonction du nombre de voies et de l'intervalle de temps élémentaire IT .

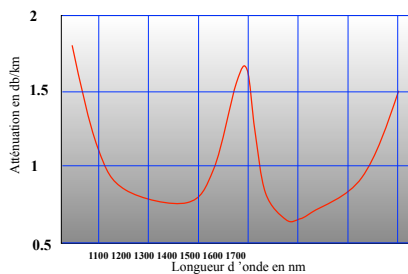
$$T = n \times IT$$

- Ex: Une ligne T1 groupe 24 canaux de communication
 - Trame de 193 bits ($24 \times 8 + 1$) périodiquement émise
 - Débit brut de 1.544 Mbits/s.



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Le multiplexage sur fibre optique

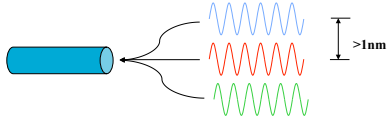


- Wave-length Division Multiplexing
 - mettre sur une même fibre plusieurs canaux de données, en utilisant différentes longueurs d'onde (couleurs).

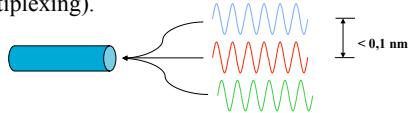
Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Principes du WDM

WDM(Wavelength Division Multiplexing).



DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing).



Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)
