Cours de Réseaux

2 – La couche physique

Rappel : le modèle hybride

5	Couche application
4	Couche transport
3	Couche réseau
2	Couche liaison de données
1	Couche physique

Rappel : la couche physique

- Chargée de la transmission effective des signaux entre les interlocuteurs. Son service est typiquement limité à l'émission et la réception d'un bit ou d'un train de bit continu.
- Problèmes de traitement de signaux
- Comment encoder des bits sur le médium physique ?
- Quel débit peut-on atteindre sur le médium physique ?

Contenu de ce chapitre

1. Un peu de théorie
2. Le cuivre
3. Fibre optique
4. Transmission sans fils
5. Satellites

Un peu de théorie : Analyse de Fourrier (1)

Jean-Baptiste Fourrier : Toute fonction périodique est une somme de fonctions sinusoïdales et cosinusoïdales.
Soit $g\colon \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ une fonction périodique de période T, $f = \frac{1}{T}$.
Il existe c, $(a_i)_{i=1,\ldots,\infty}$, $(b_i)_{i=1,\ldots,\infty}$ tels que

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

Application à une fonction $g\colon [a, b[\to \mathbb{R}$:
Supposer que la fonction est répétée de façon continue.

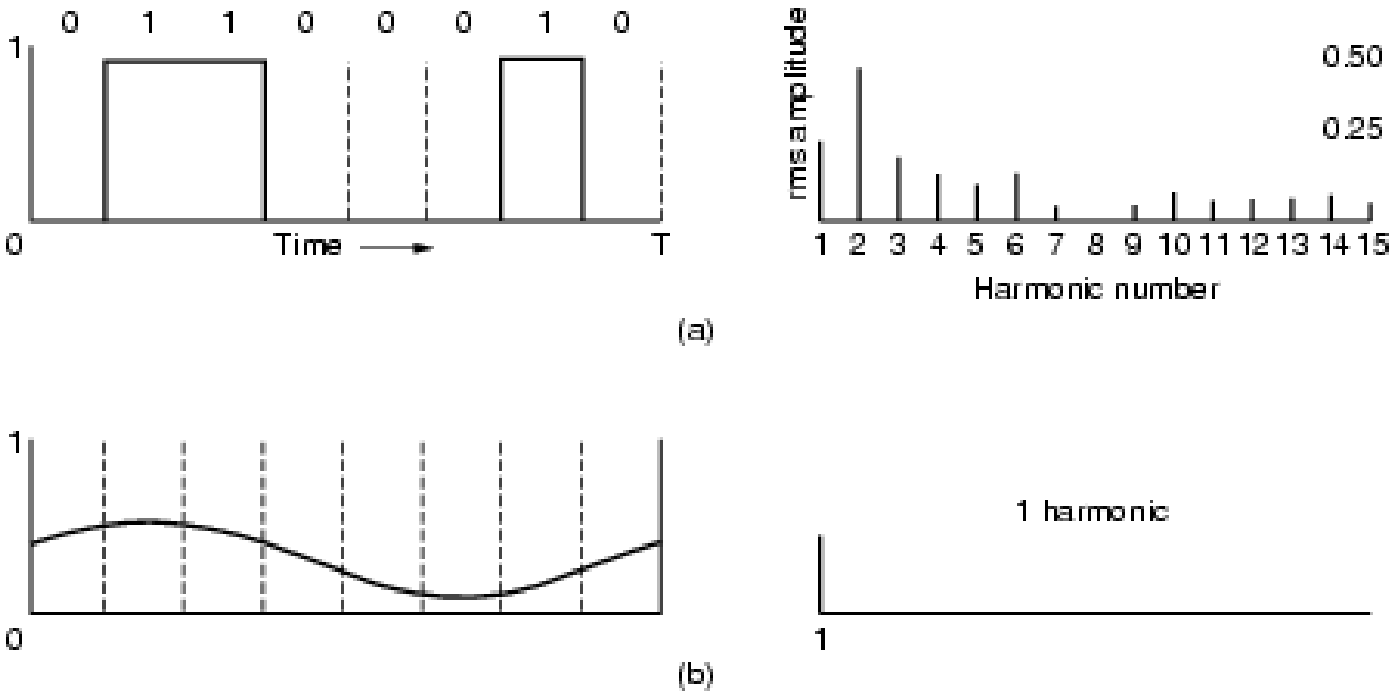
Un peu de théorie : Analyse de Fourrier (2)

Inversement, on peut calculer les *amplitudes harmoniques* :

$$
\begin{aligned}
a_n &= \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,\sin(2\pi n f t)\,dt \\
b_n &= \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,\cos(2\pi n f t)\,dt \\
c_n &= \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,dt
\end{aligned}
$$

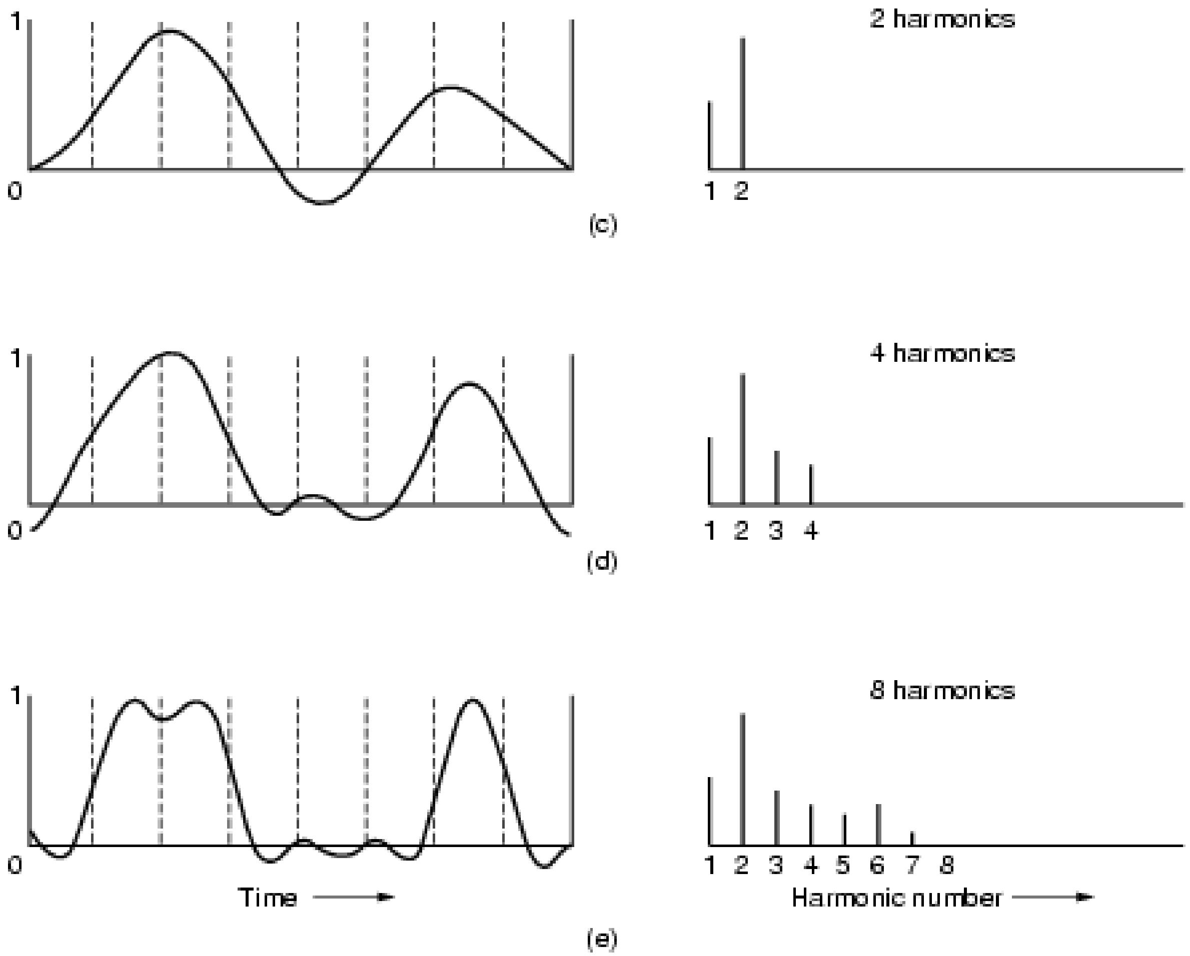
Exemple : Transmission du caractère « b »
en codage ASCII : 01100010

Un peu de théorie : Analyse de Fourrier (3)



Amplitude moyenne de la n-ième harmonique : $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$

Un peu de théorie : Analyse de Fourrier (4)



Conséquences pour la transmission de signaux (1)

Problème : Dans tous les médias, la perte de puissance dépend de la fréquence.
$\Rightarrow$Distorsion des signaux.

Normalement plus de pertes dans les hautes fréquences.
Bande passante (bandwidth) : fréquence où perte $< 50\%$.
Dépend de la distance.

Par exemple pour les lignes téléphoniques : $\sim 3KHz$ (plafonné par les opérateurs de téléphone)

Conséquences pour la transmission de signaux (2)

Sur l'exemple : avec une bande passante de $3KHz$. Si on est capable de récupérer l signal à partir des deux premières harmoniques

$\Rightarrow$ Deuxième harmonique à $3KHz$

$\Rightarrow$ Première harmonique à $1.5KHz$

$\Rightarrow$ Débit binaire à $1.5 * 8KHz = 12KHz$.

(Question : comment marchent les modèmes à 56 KHz ? Voir plus tard pour la réponse)

Le théorème de Nyquist

Harry Nyquist 1889 - 1976, ingénieur chez AT&T)

Codage en plusieurs niveaux sur un canal sans bruit.

– Soit H la bande passante.
– Soit V le nombre de niveaux.

$$\textit{débit binaire maximale} = 2H\ \log_2 V\ \mathrm{bit/sec}$$

Exemple : 2 niveaux, bande passante $3KHz$: 6000 bit/sec
Un débit plus haut est possible si on fait un codage des bits plus fin sur plus que 2 niveaux.

Le théorème de Shannon

Claude Shannon 1916 - 2001, père de la théorie de l'information

Codage avec un nombre quelconque de niveaux sur un canal avec bruit.

- Soit H la bande passante
- Soit S/N le rapport signal sur bruit

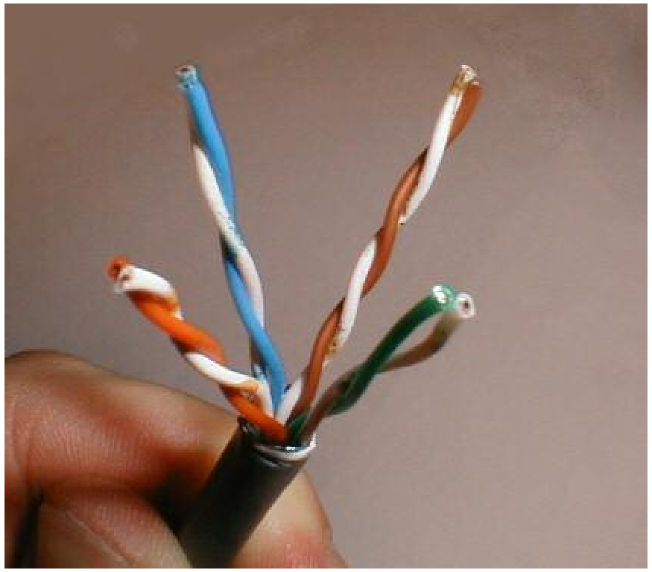
$$\textit{débit binaire maximale} = H \log_2(1 + S/N) \, \text{bit/sec}$$

Exemple : bande passante $3KHz$, bruit de $30dB$: 30000 bit/sec

(Bruit en $dB = 10 * \log_{10}(S/N)$)

Le cuivre : paire torsadée

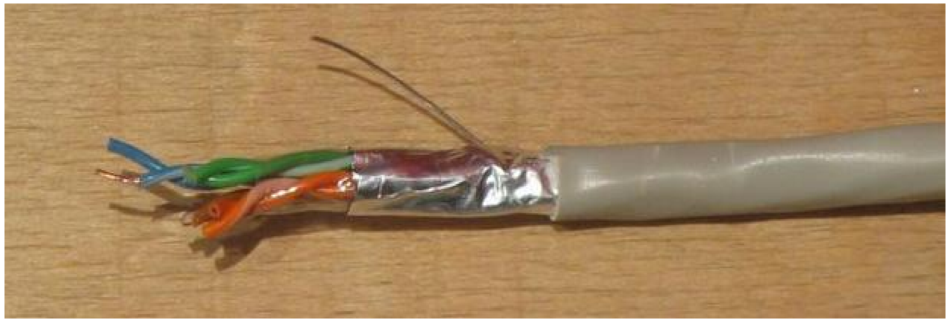
(anglais : twisted pair) : Paires de fils de cuivre isolés
Pourquoi torsadé : pour minimiser les interférences (crosstalk).
Beaucoup utilisé dans la téléphonie, et aussi depuis quelque temps dans les LAN's (Ethernet)



Paire torsadée

Plusieurs catégories selon le nombre de torsions.

Catégorie 5 : bande passante $100MHz$, catégorie 6 : $250MHz$.



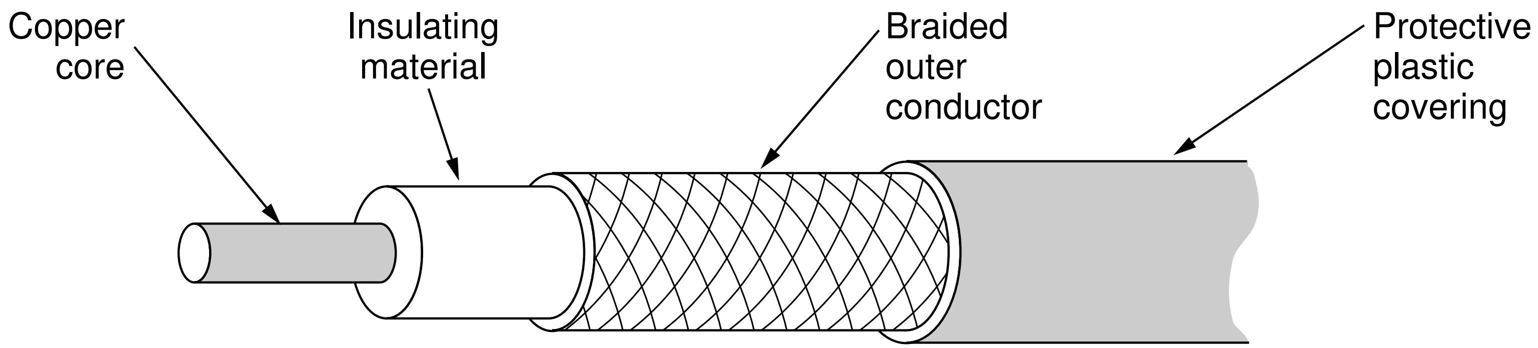
Ici :

– *non-blindée* (unshielded)

– *écrantée* (screened)

Le cuivre : câble coaxial

(pour les amateurs : *coax*)

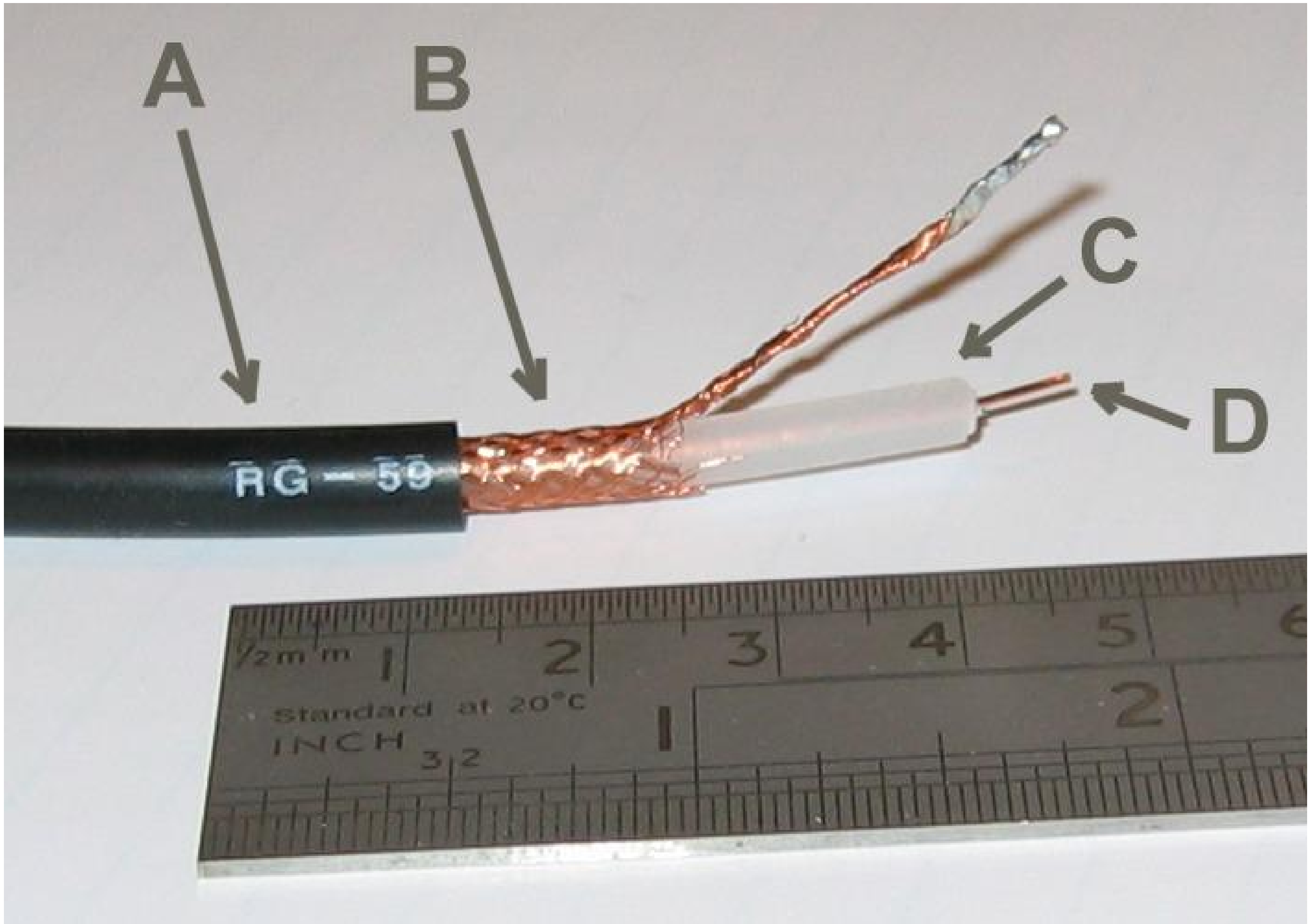


Consiste en : cœur, isolant, tresse conductrice, gaine protectrice

Large bande passante et très bonne protection contre le bruit.

Bande passante : jusqu'à $1GHz$.

Le cuivre : câble coaxial



Transmission par téléphone

Transmission analogique par *modulation* d'un signal porteur

Modem : modulate and demodulate

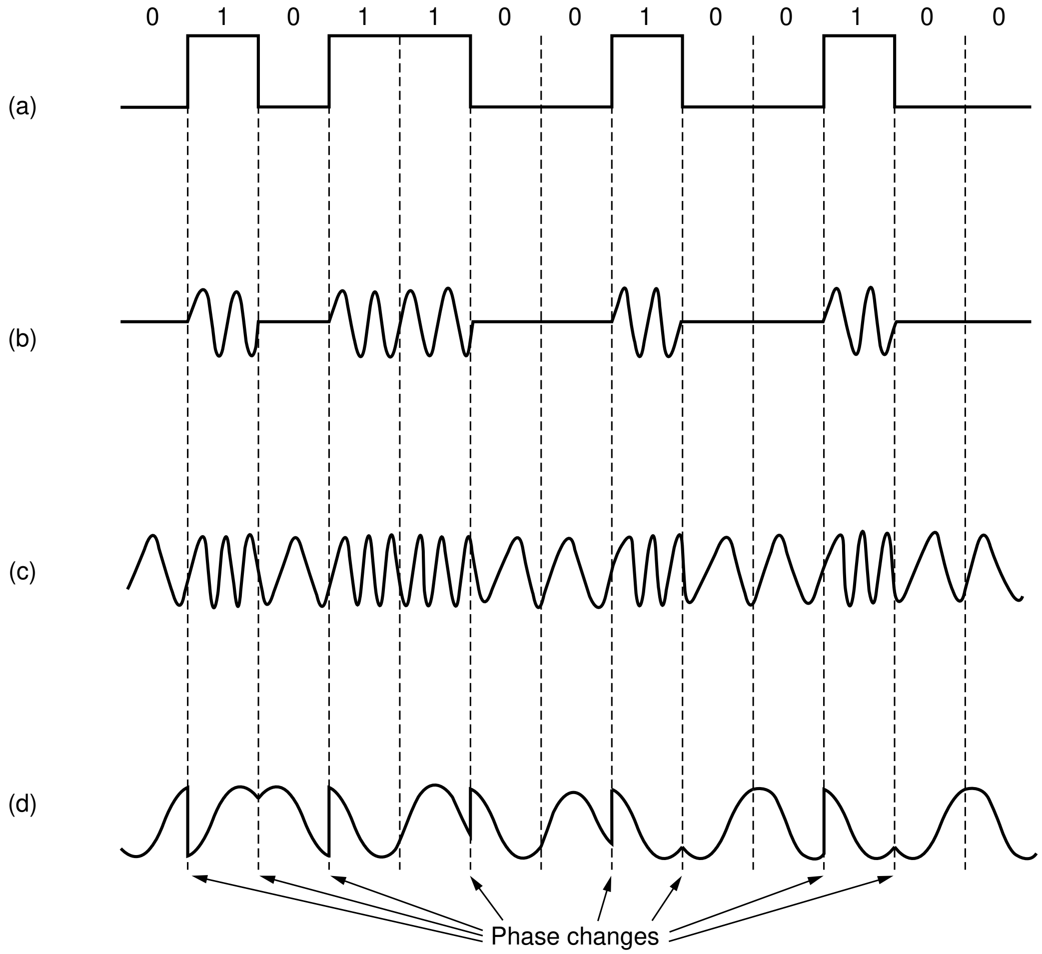
Plusieurs bits sont regroupés en *symboles*

Nombre de *baud* : nombre de symboles envoyés par seconde

Méthodes de modulation analogue utilisées :

- amplitude
- fréquence
- phase

Méthodes de modulation



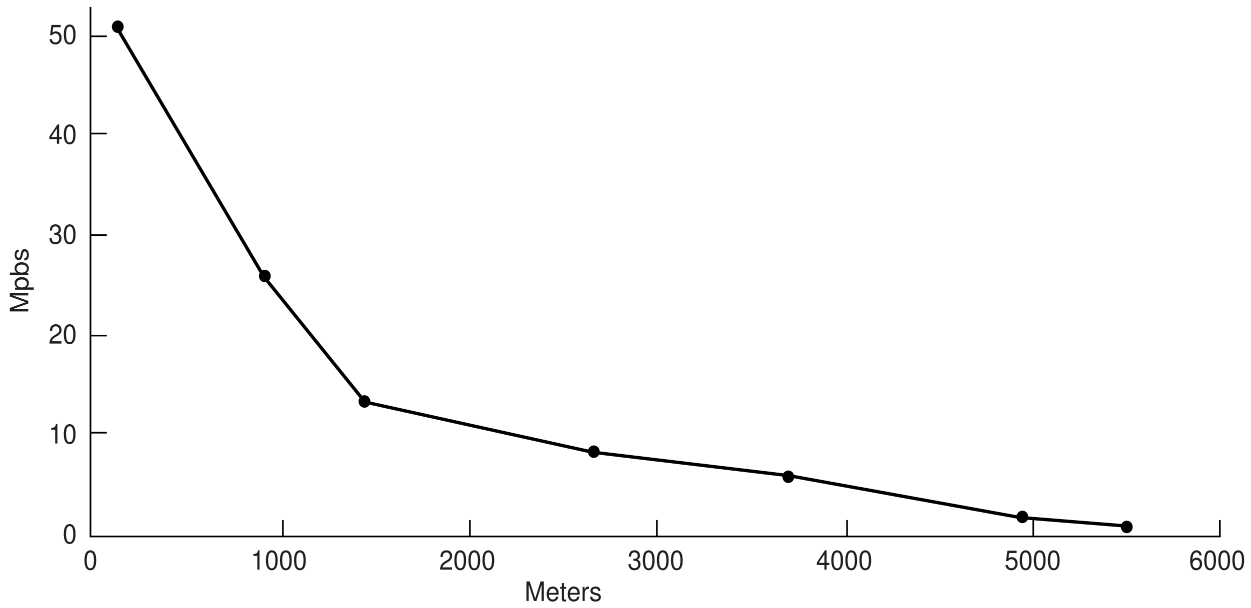
Le sécrèt des modèmes à 56Kbit/sec

Seulement possible si la ligne téléphonique est numérique
Au moins connexion FAI - backbone numérique, la partie restante analogue doit être de bonne qualité.

Permet 8000 baud, chaque symbole comporte 7 bit + 1 bit de parité.

Bande passante sur les lignes téléphoniques

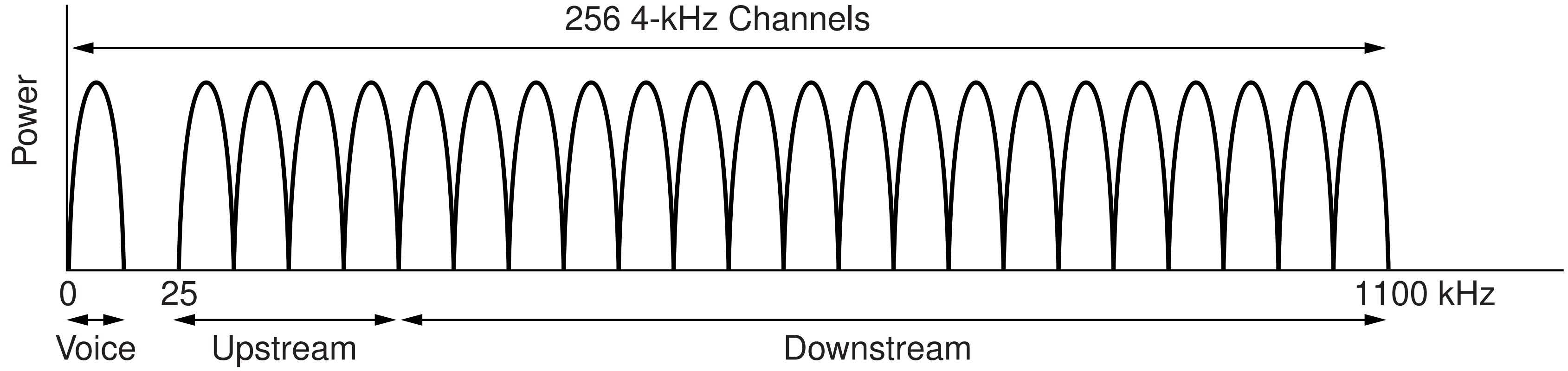
Sur les lignes « normales » : limitée artificiellement à $\sim 3KHz$
Permet aux opérateurs téléphoniques d'estimer le débit nécessaire par connexion



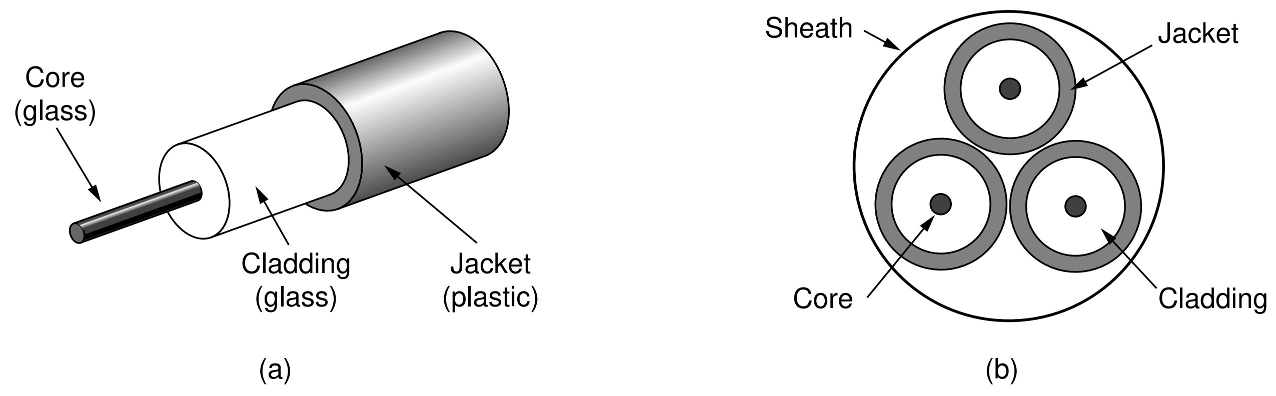
Technologie (A)DSL

Plusieurs connexions « modem » en parallèle sur une bande passante non-restreinte

Seulement possible en proximité d'une centrale téléphonique



Fibre optique



- Transmission des impulsions de lumière
- Réflection des rayons lumineux à la frontière verre/gaine
- Émetteurs de lumière : diodes LED ou laser
- Récepteurs de lumière : photo-diode
- Problème : connecter deux fils

Fibre optique (2)

- Peut théoriquement atteindre 50 Tbit/sec
- Limitation actuelle 10 Gbit/sec à cause des limitation de l'électronique
- Faible perte de puissance
- Pas de problèmes de bruit
- Utilisé pour les LANs et WANs

Réseaux en fibre optique

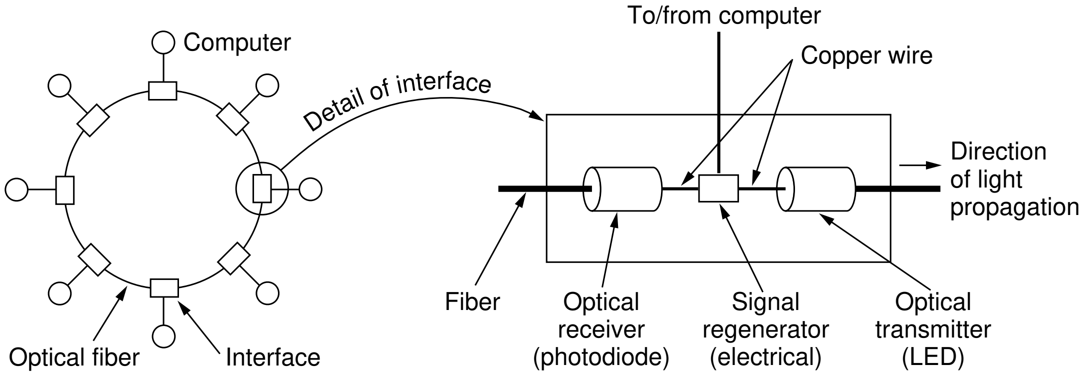
Interface passive : diodes émetteur et récepteur optiquement connecté au fibre

Inconvénient : perte de lumière

Avantage : si l'interface tombe en panne, le réseau n'est pas touché

Réseaux en fibre optique (2)

Interface active :

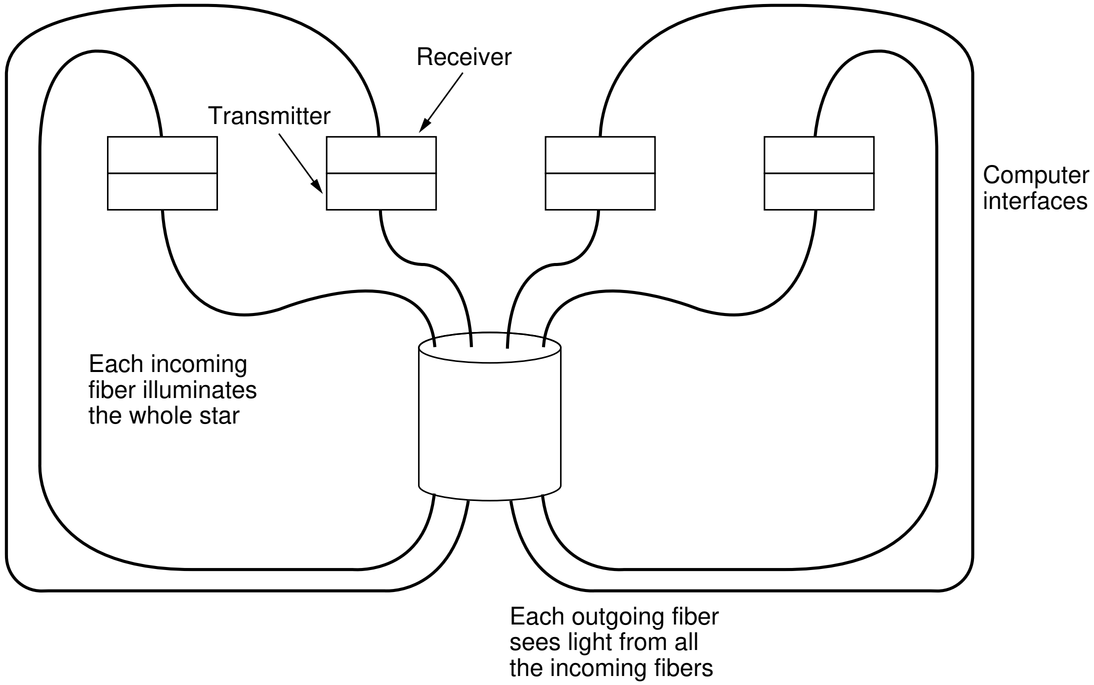


Avantage : pas de perte de lumière

Inconvénient : Si l'interface tombe en panne, le réseau est coupé

Réseaux en fibre optique (3)

Autre technologie : *étoile passive*



Débit sur le fibre optique

29 Septembre 2006 : NTT (Japon)

14 Tb/sec sur un seul fibre optique d'une longueur de 160 km

- plusieurs canaux, en utilisant plusieurs fréquences (*multiplexage en longueur d'onde*, wavelength multiplexing) et polarisations
- Débit pour un canal : 10 Gb/sec
- amplificateurs purement optiques

Débit sur les fibres optiques sous-marines en 2002 : 2.5 Tb/sec.

Comparaison cuivre/fibre optique

Avantages du fibre optique :
– très large bande passante
– peu de perte : amplificateurs nécessaires tous les 50 km (tous les 5km pour le cuivre)
– pas de problème de bruit ou d'interférences dans un faisceau
– pas de problèmes de corrosion chimique
– petit et léger
– plus difficile d'écouter par des tiers

Comparaison cuivre/fibre optique

Avantages du cuivre :

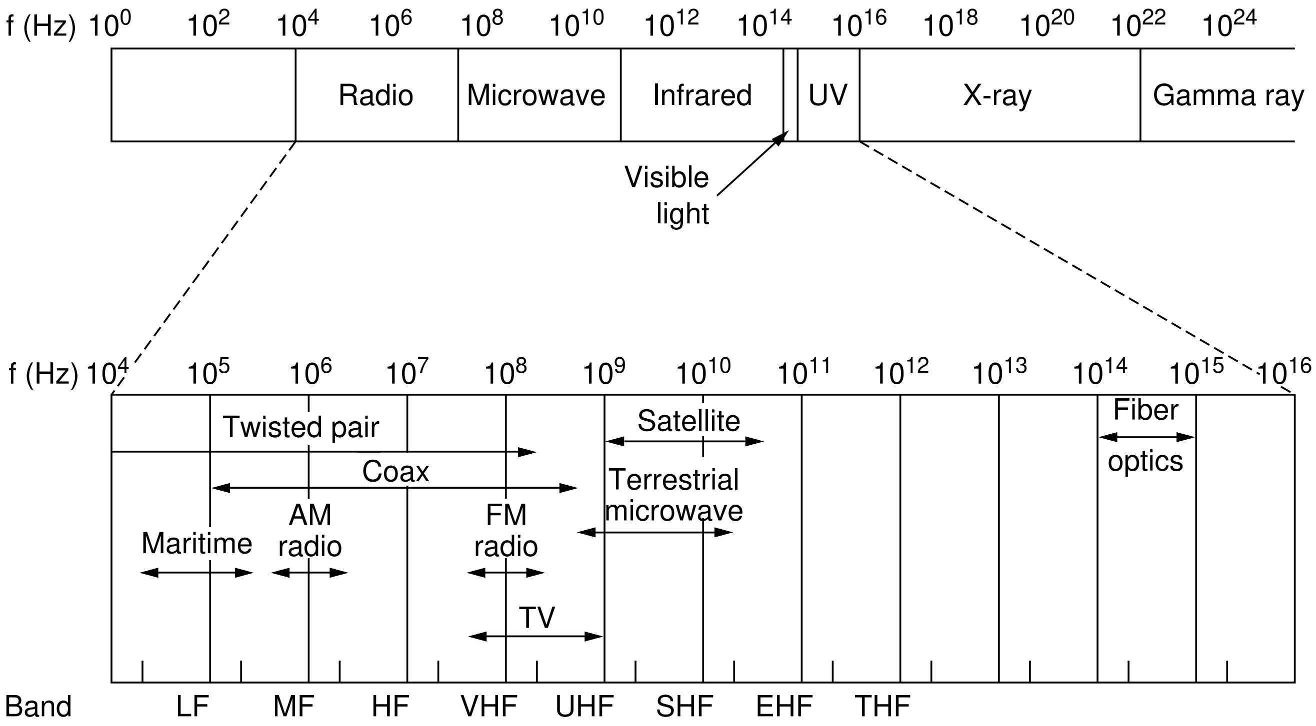
– moins cher

– amplificateurs et interfaces plus simples

– plus facile de connecter deux câbles

– peut aussi servir à l'alimentation électrique

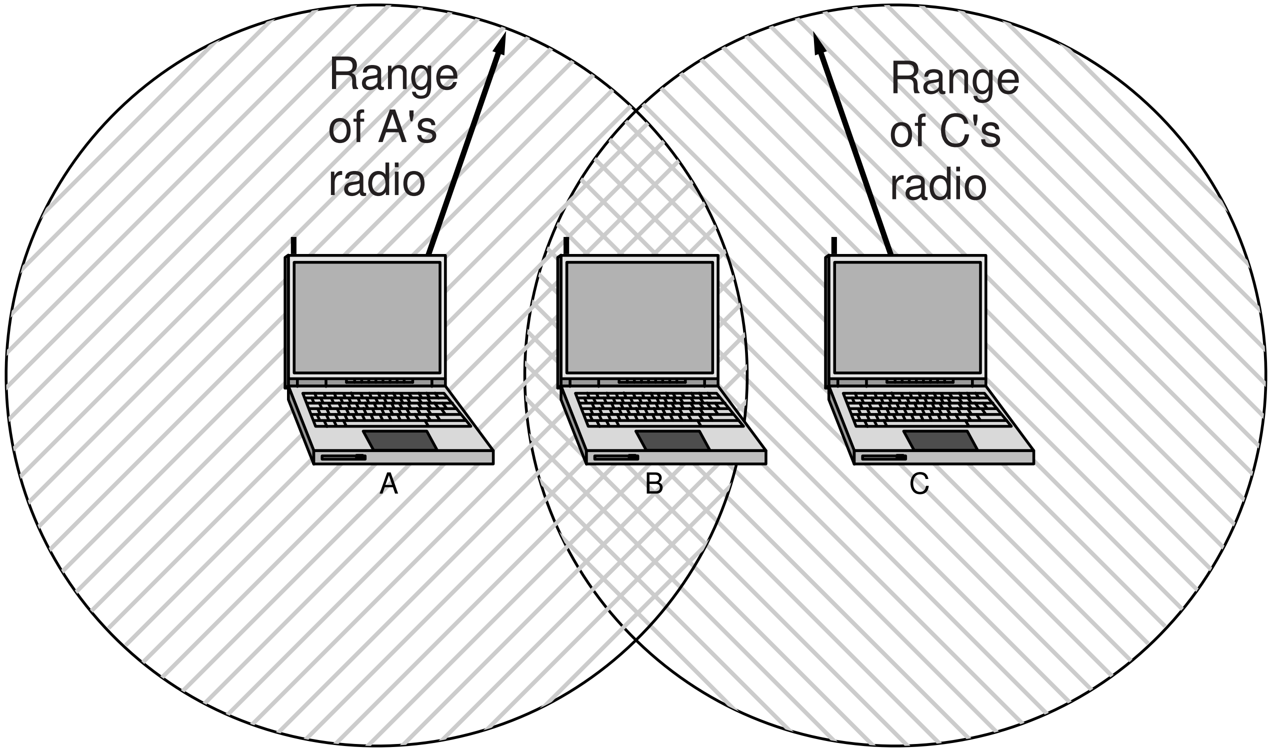
Transmission sans fils (1)



Une partie du spectre électromagnétique

Transmission sans fils (2)

Problème : les participants ont des portées différentes



Transmission sans fils (3)

Autres problèmes :

- *évanouissement par propagation multitrajet* (multipath fading)
  Solution : étalement de spectre par saut de fréquence
- Aucune protection contre écoute / insertion de signaux
  Solution : protocoles cryptographiques
  (mais faut le faire correctement - mauvais exemple WEP !)
- Perturbations entre différents réseau
  Solution : gestion globale des fréquences (radio), limitation de puissance

Transmission sans fils

Propriétés différentes selon la fréquence :

- Fréquence basses (radio) : omnidirectionnelles, pénètres (certaines) matières (eau, pierre, ...)
- Fréquences hautes (à partir des micro-ondes) : unidirectionnelles, ne pénètrent pas les bâtiments, atténues par l'eau ou des perturbations atmosphériques

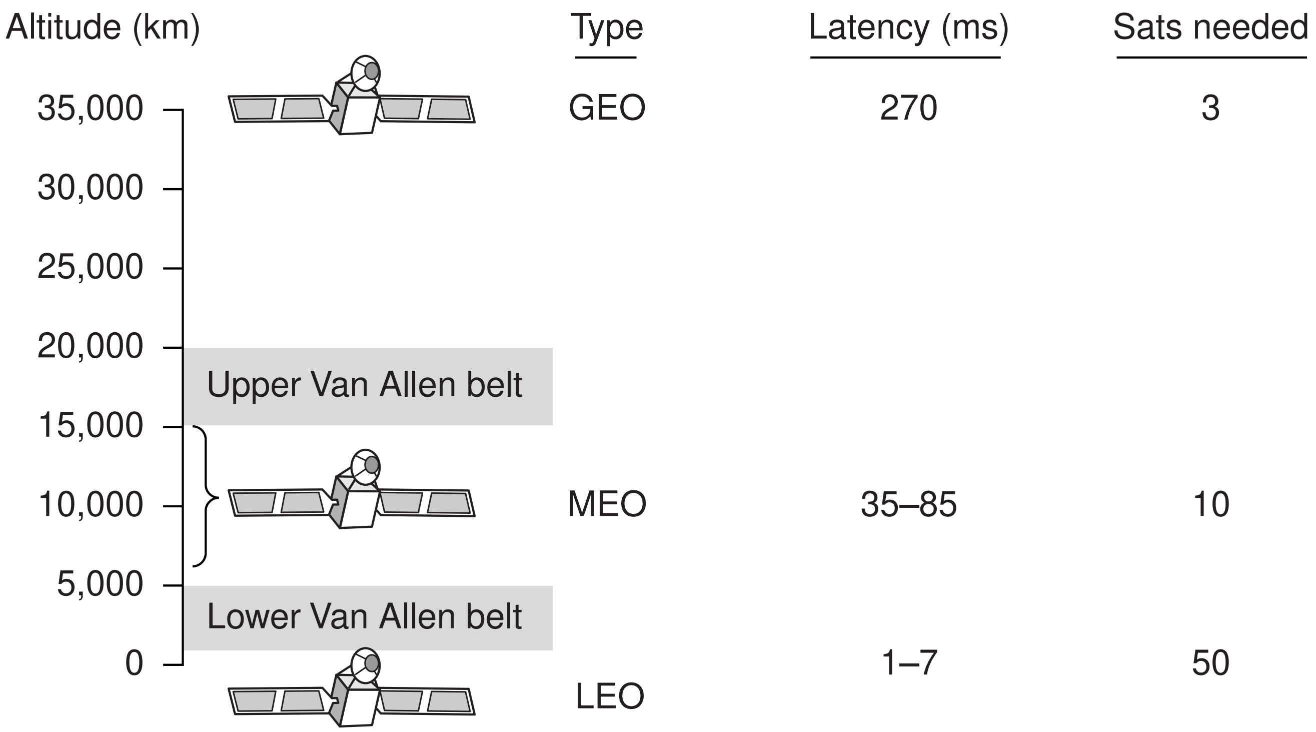
Transmission par satellite (1)

Utilisent des fréquences micro-ondes

Contiennent des *transpondeurs* qui reçoivent des signaux sur une fréquence et les renvoient sur une autre

Latence importante (dépend de l'altitude)

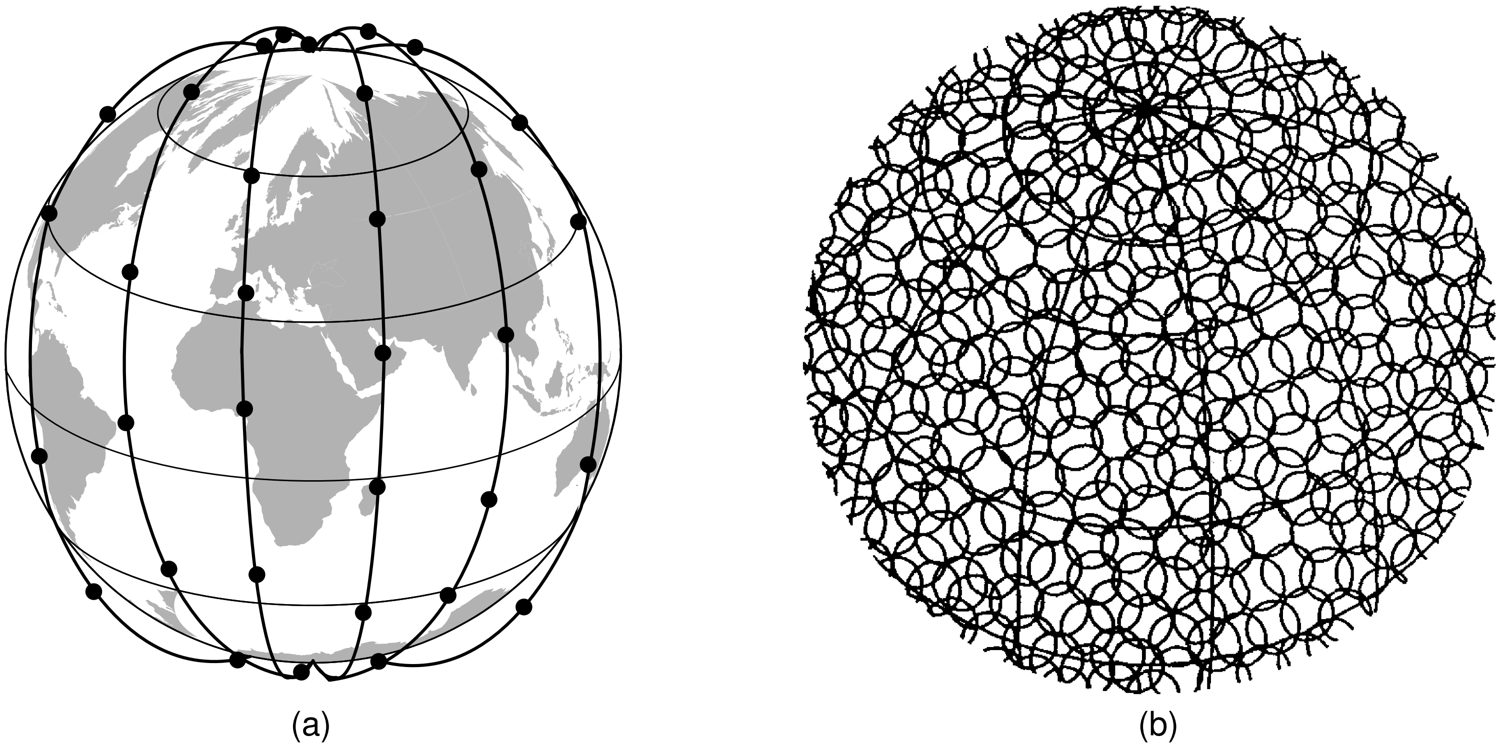
Transmission par satellite (2)



Transmission par satellite (3)

– GEO : le plus utilisé pour les communications
  Satellite moderne : 40 transpondeurs, chacun avec une bande passante de 80 MHz
– MEO : peu utilisé, exception : GPS (global positioning system)
– LEO : quelques tentatives de monter des réseaux globales téléphoniques (Iridium, Globalstar) ou de Internet (Teledesic)

Transmission par satellite : Iridium



(a) Les satellites Iridium (b) Cellules

Comparaison fibre optique/transmission par satellite

- Avantage fibre : très haut débit
- Avantage satellite :
  - utilisateurs mobiles
  - couverture globale d'un terrain
  - couverture des endroits difficilement accessible