



NET 3101

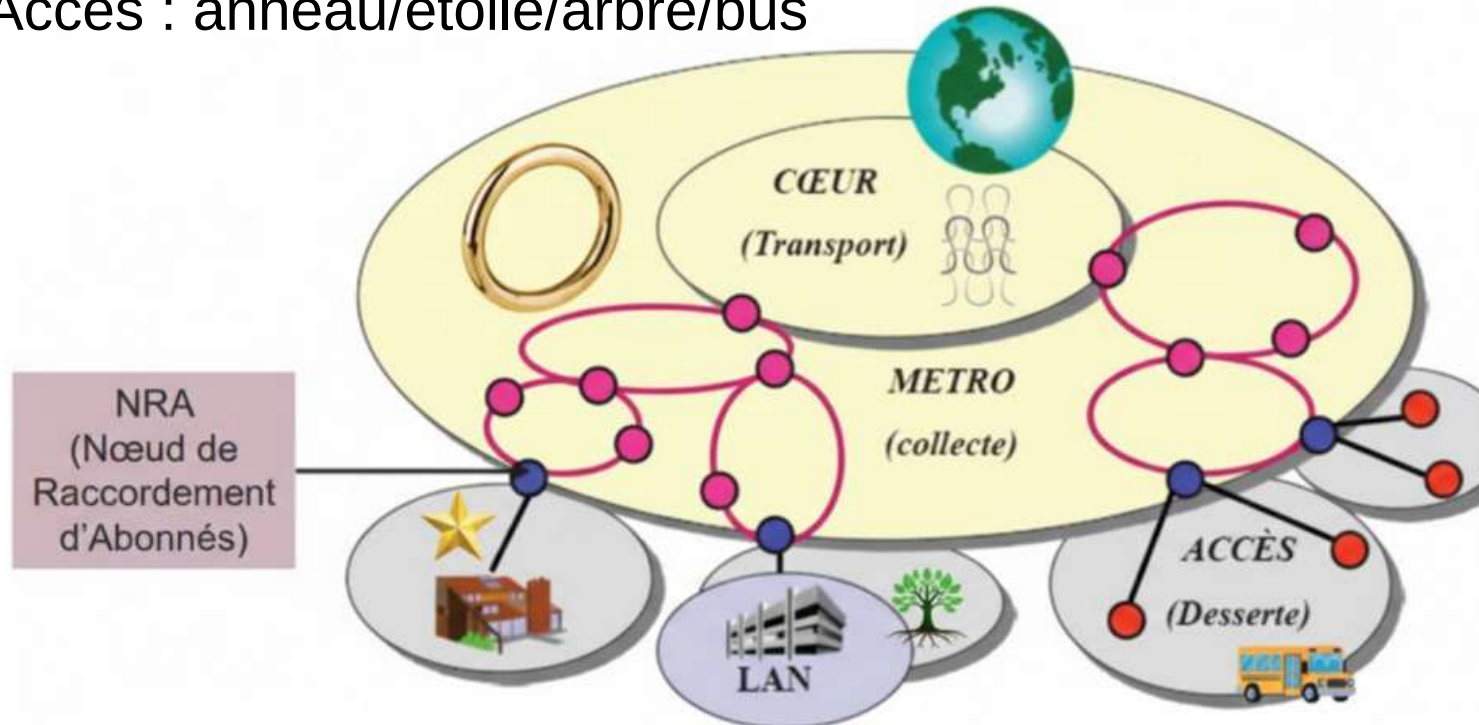
Par rioner et rubicon

Pour retrouver la formation
et plein d'autres :

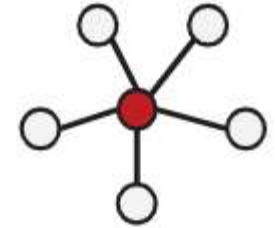


La topologie des réseaux

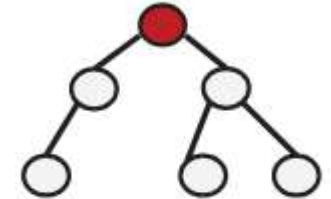
Cœur : maille
Métro cœur : maille, anneau
Métro accès : anneau
Accès : anneau/étoile/arbre/bus



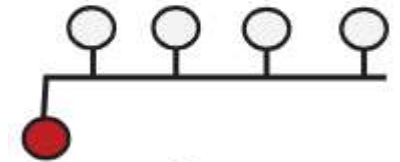
Étoile



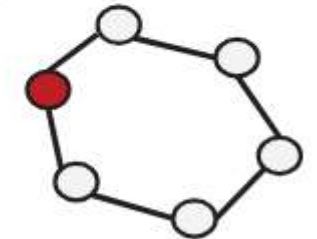
Arbre



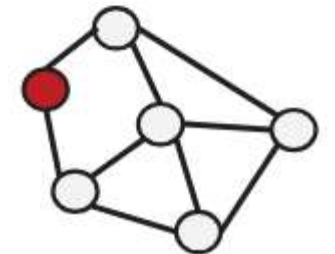
Bus



Anneau



Maille



Les tailles des réseaux

WAN = wide area network



MAN = metropolitan area network



LAN = local area network

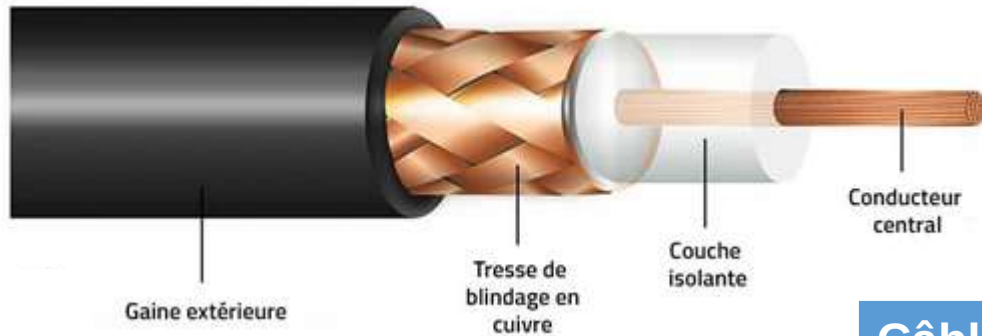


PAN = personnal area network



Les supports de transmission : Paire cuivre torsadée et câble coaxial

L'atténuation du signal dans ces supports de transmission augmente avec la fréquence du signal



Cable coaxial

2 conducteurs de même axe séparés l'un de l'autre par une épaisse couche d'isolant :

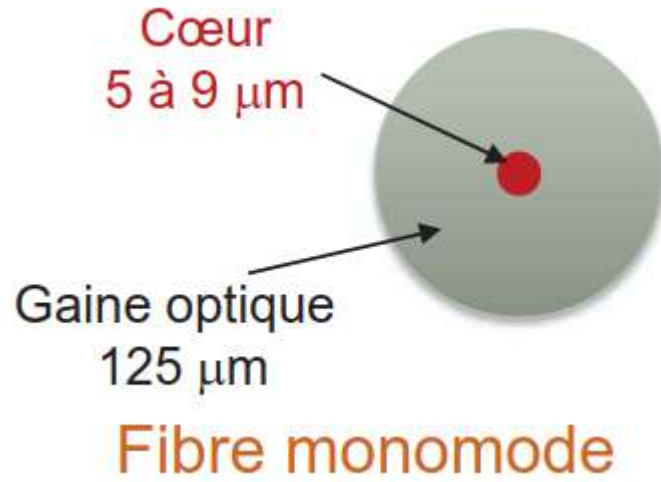
- L'âme au centre
- La tresse atténue les interférences extérieures

Câble coaxial	Paire cuivre
Plus haut débit	Bas débit
Sensible aux rayonnements	Sensible aux rayonnement
Atténuation plus lente	Atténuation très rapide
Très coûteux	Peu coûteux



Paire cuivre torsadée

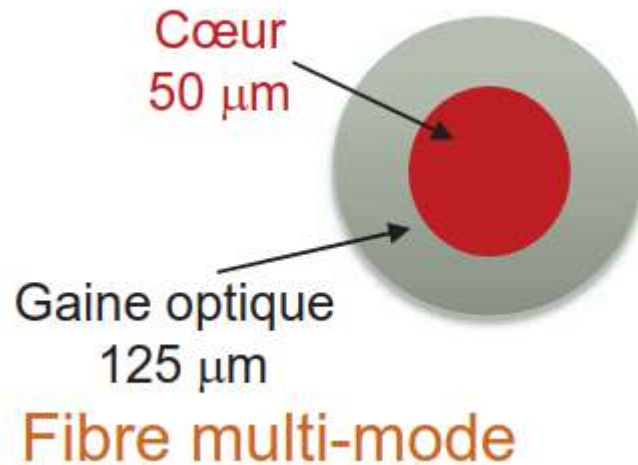
2 fils conducteurs enroulés l'un sur l'autre de manière hélicoïdale afin de réduire les interférences EM parasites (diaphonie)



- plus faible atténuation (0,2 dB/km*)
- adapté à toutes les distances
- pas de dispersion intermodale
 - dispersion chromatique

La fibre

Le coeur est constitué d'un fil de verre (silice) et entouré par une gaine optique en verre



- plus haut débit
 - atténuation (2 dB/km*)
 - adapté à de très courtes distances (quelques km)
 - fréquence de coupure (OM3 = 1,3 GHz / km)
 - dispersion intermodale (+ chromatique mais faible devant l'autre)

*dépend de la bande utilisée (CF slide 7)

incident

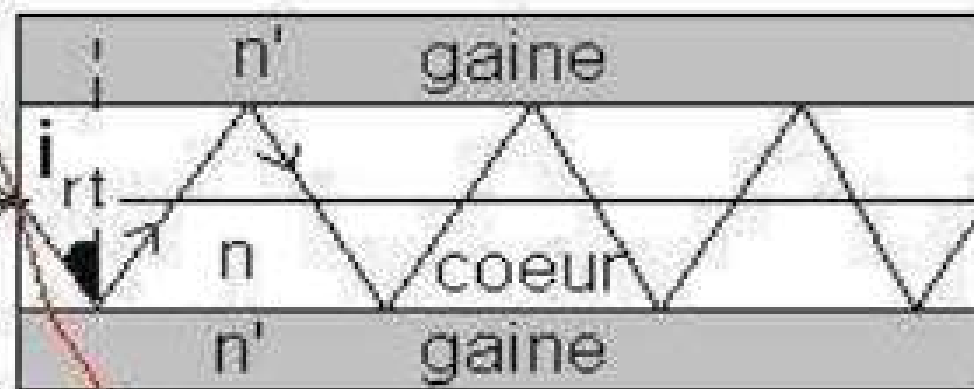
marginal

propagation des rayons par réflexion totale

émergent
marginal

* cône
d'acceptance
d'entrée

d'acceptance
d'entrée

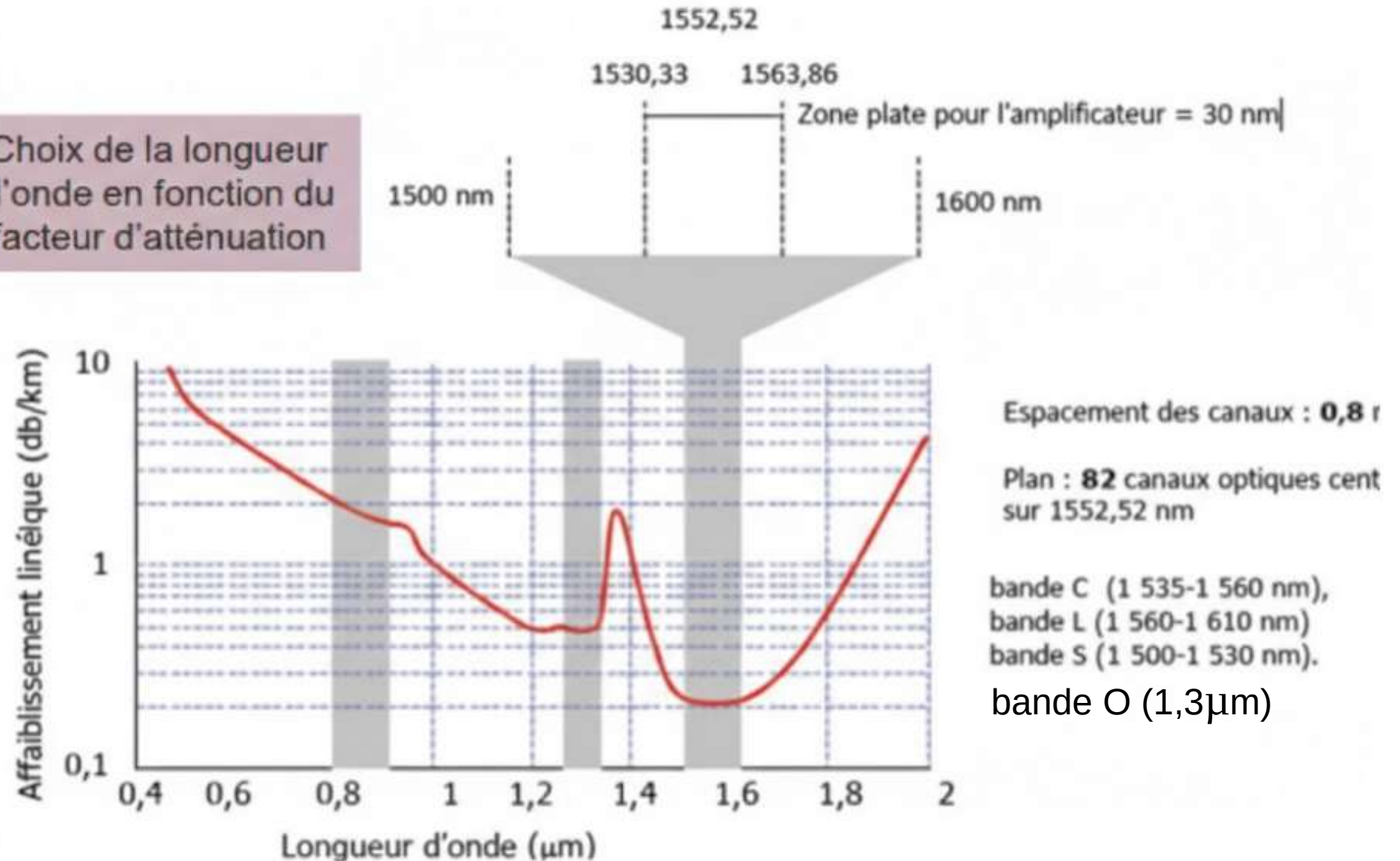


FIBRE OPTIQUE

cône d'acceptance
de sortie

Les bandes de longueur d'onde utilisées par les télécommunications

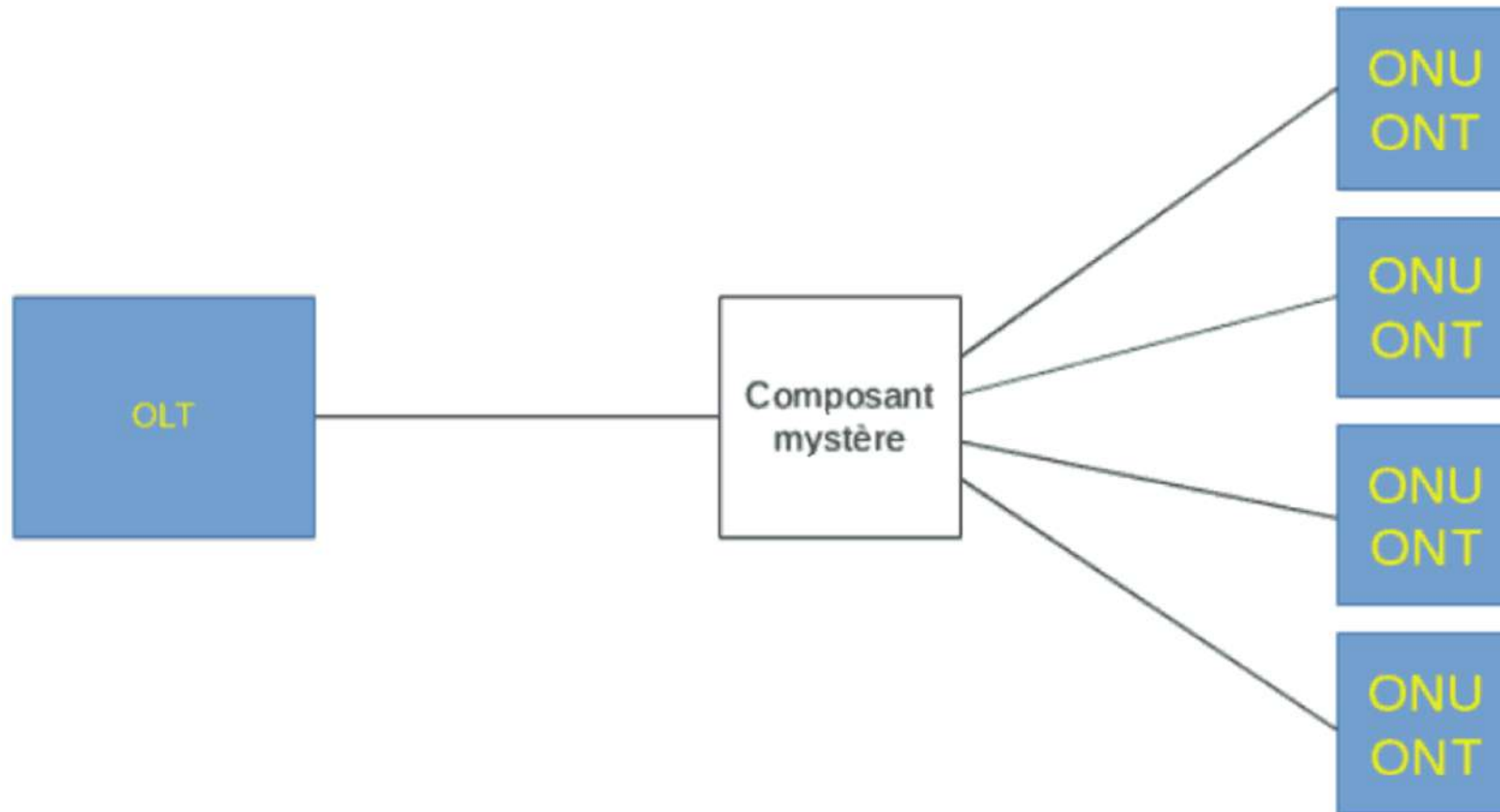
Choix de la longueur d'onde en fonction du facteur d'atténuation

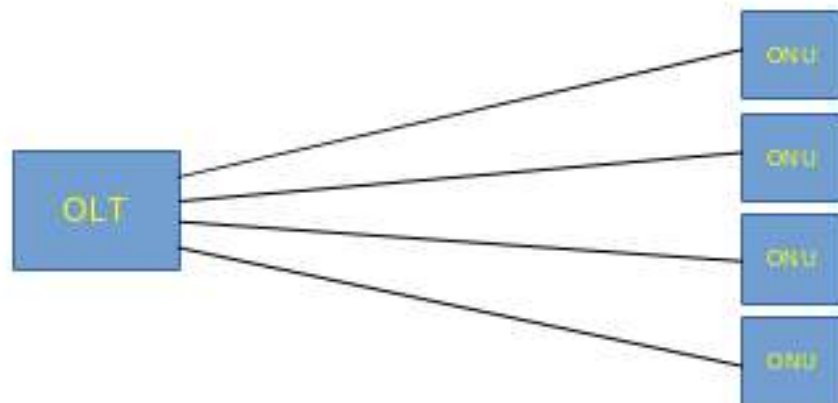


Bande la plus utilisée : bande C

FTTH/C/B (*Fiber to the Home/Curb/Building*)

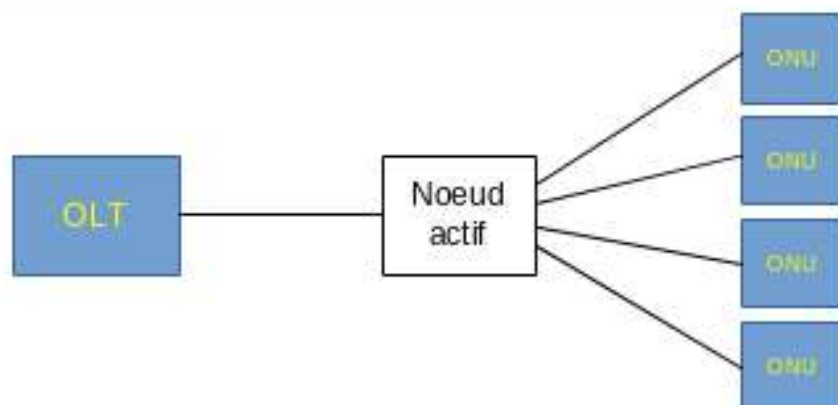
- Problématique : Relier n ONUs/ONTs (*Optical Network Unit/Termination*, en pratique la box chez toi) à partir d'un OLT (*Optical Line Termination*, le composant qui va émettre un signal côté opérateur), en fibre (réseau accès)





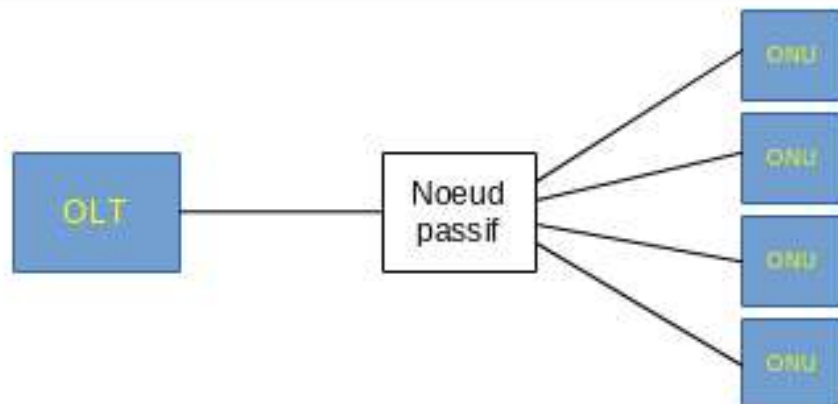
Architecture point à point

Trop cher et trop difficile à maintenir
→ on ne s'en sert pas en pratique



Architecture point/multipoint active

Difficile d'apporter du courant pour répéter le signal au noeud actif, coûte cher pour un opérateur mais peu cher pour un client

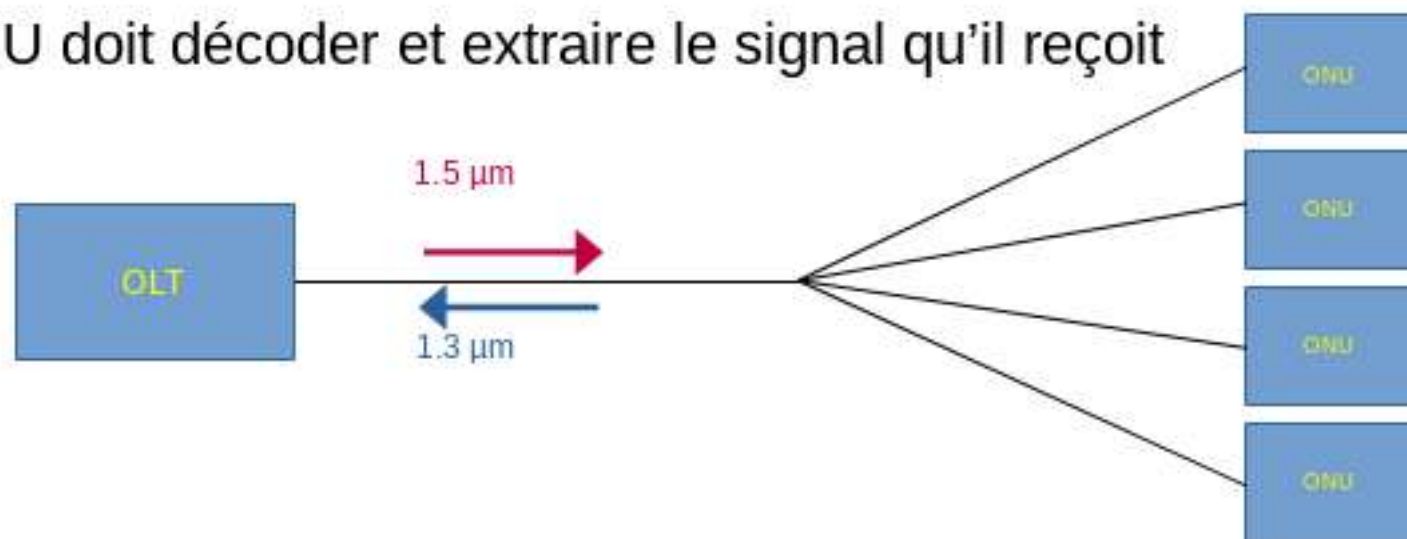


Architecture point/multipoint passive

Noeud passif == Diviseur de puissance == Hub
Nécessite + de traitement côté ONU, mais beaucoup moins cher pour un opérateur
→ celui utilisé en pratique

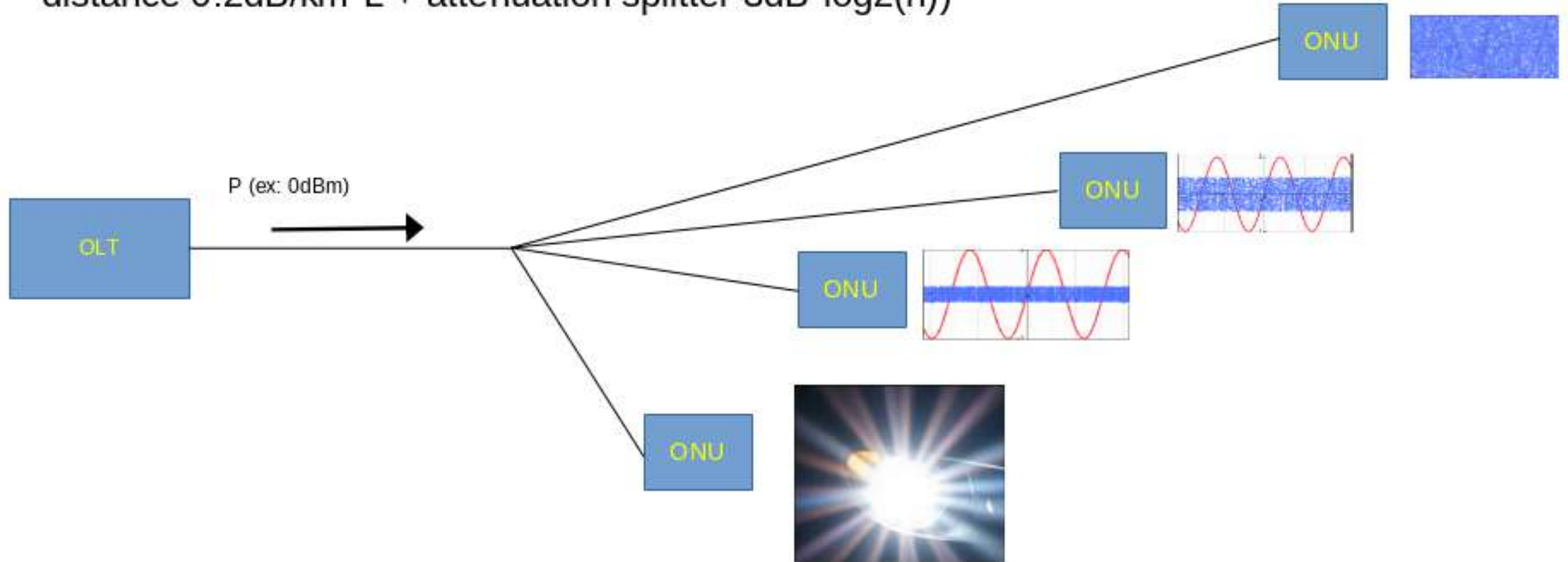
PON (*Passive Optical Network*)

- Un *protocole* (standard qui explique comment s'échanger des messages) pour faire du FTTH en architecture point/multipoint passive
- Éventuellement préfixé par G, 10G, XG... différentes versions du protocole pour transmettre différents débits
- En multiplexage TDMA
- Cas du GPON : 1.5 μm descendant, 1.3 μm montant
- Chaque ONU doit décoder et extraire le signal qu'il reçoit

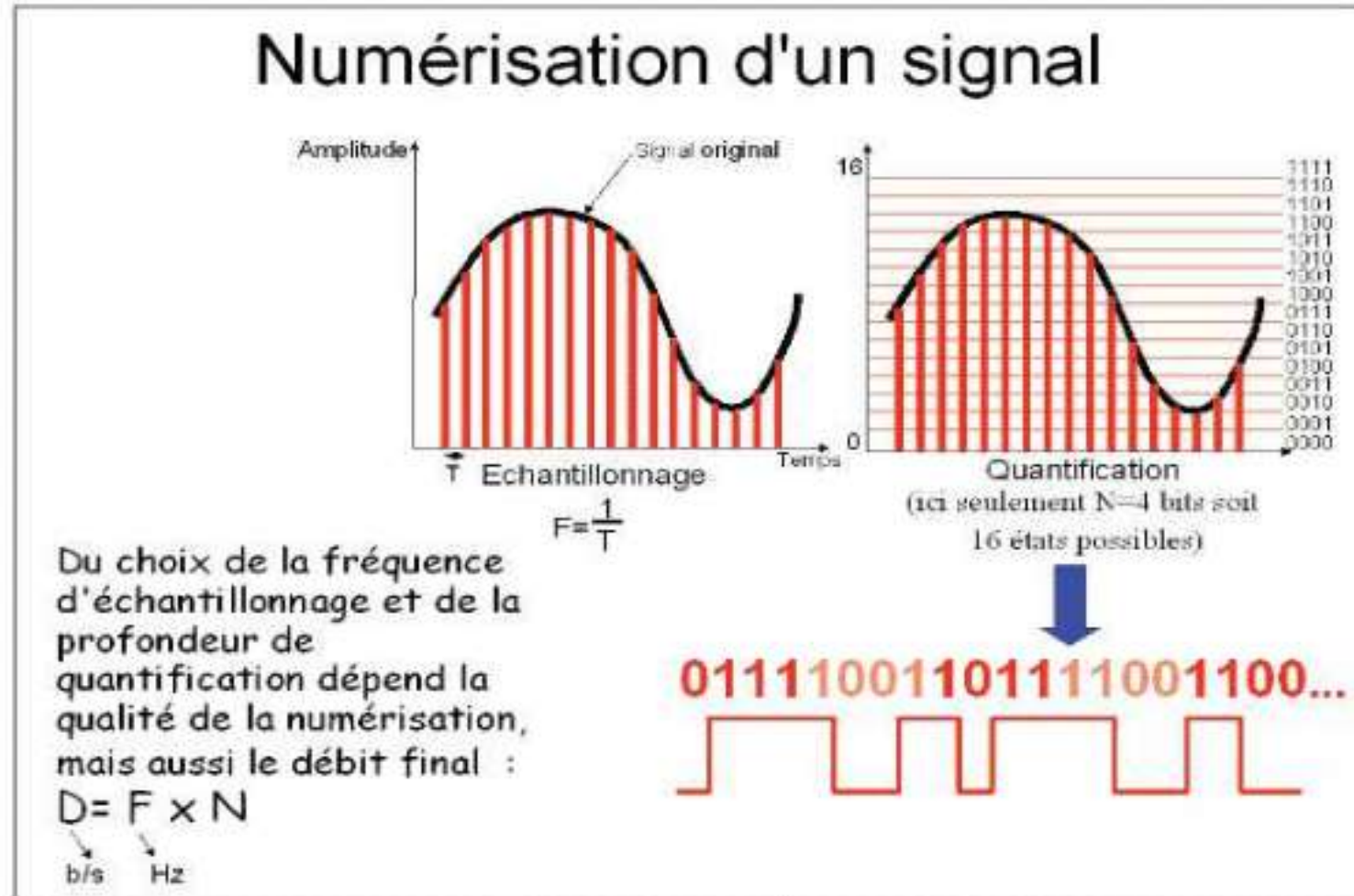
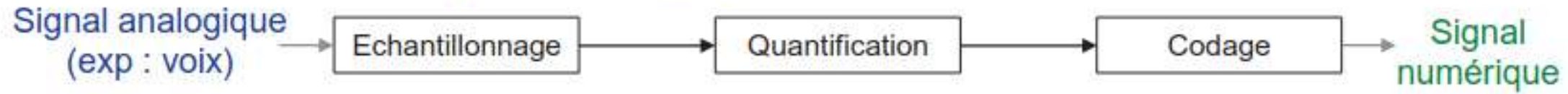


Near/far effect (Effet proche/éloigné)

- Problème de l'architecture point/multipoint passive
- $\pm 25\text{dB}$ d'atténuation acceptables (atténuation = atténuation distance $0.2\text{dB/km} \times L$ + atténuation splitter $3\text{dB} \times \log_2(n)$)



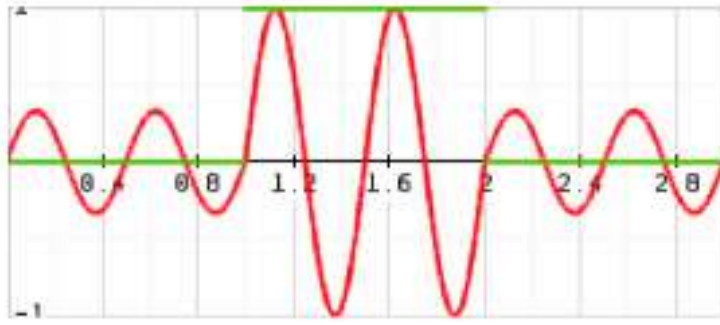
Numérisation d'un signal analogique



Pour échantillonner il faut :
 $f_e \geq 2 * f_{max}$

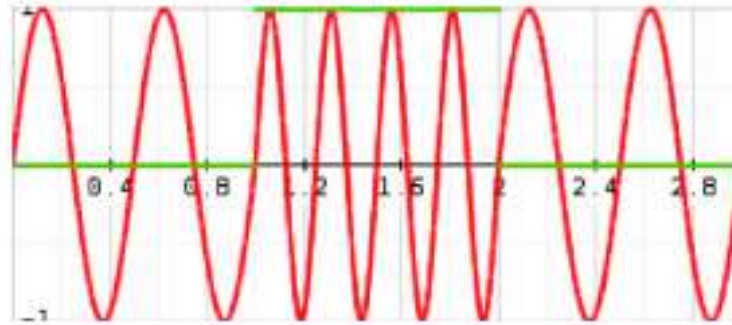
f_e = fréquence d'échantillonnage
 f_{max} = fréquence maximale du signal à échantillonner

Modulation : Comment distinguer un “0” d’un “1” ?



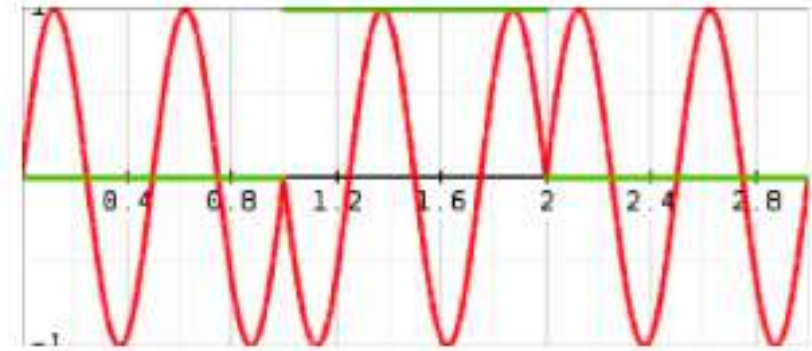
AM : Amplitude Modulation

Simple à mettre en oeuvre
Peu coûteux
Sensible au bruit/atténuation



FM : Frequency Modulation

Très coûteux à démoduler
→ on ne s'en sert pas très souvent en pratique
(exemple d'utilisation : radio FM)

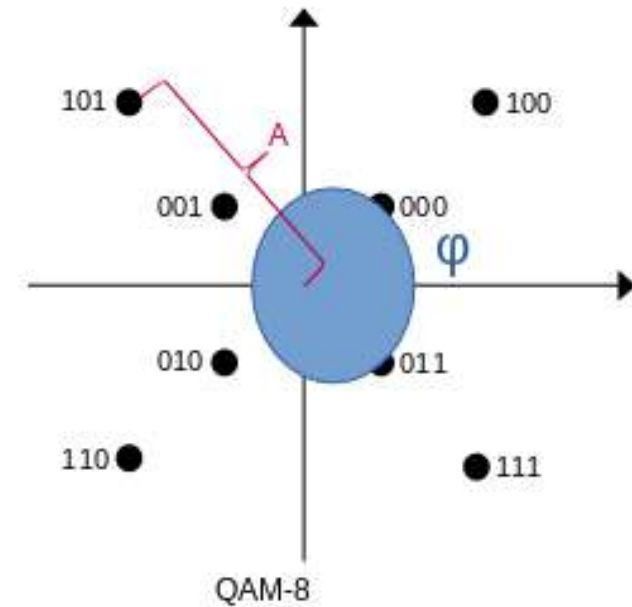
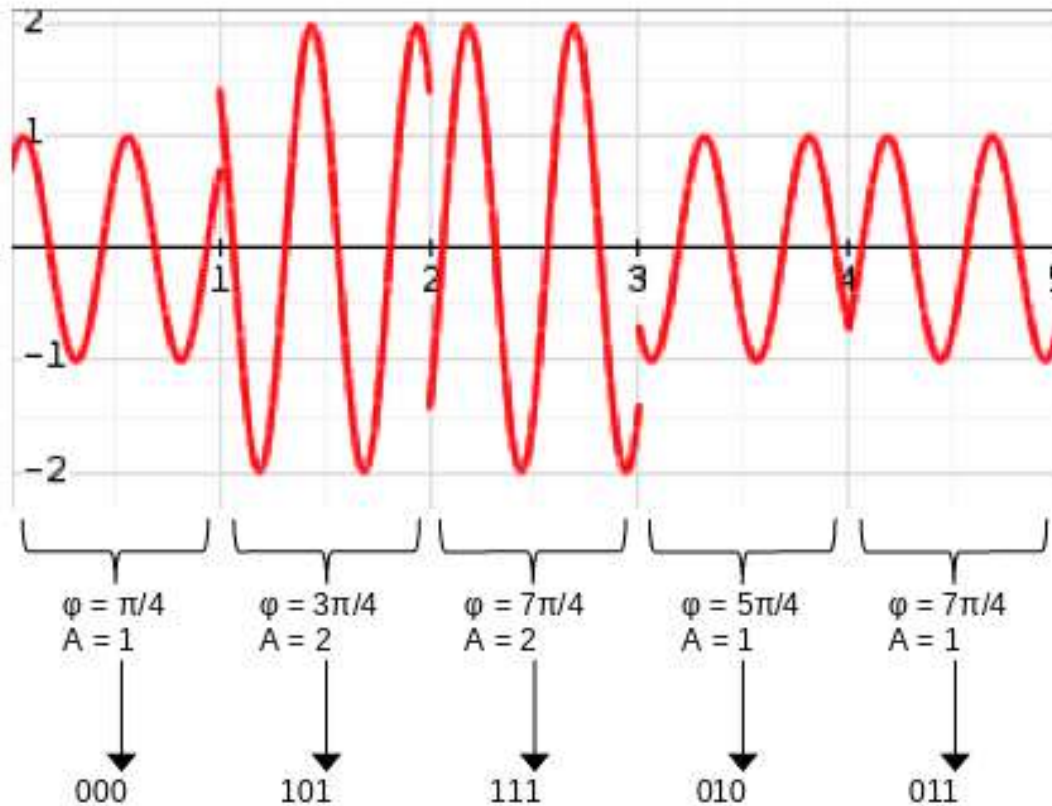


PM : Phase Modulation

Résiste bien au bruit

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) = AM+PM

- Parfois, on veut pouvoir envoyer plus que juste "0" ou "1" sur un temps symbole, alors on envoie plusieurs bits à la fois !
- Idée : combiner les modulations que l'on vient de voir (QAM = AM+PM)

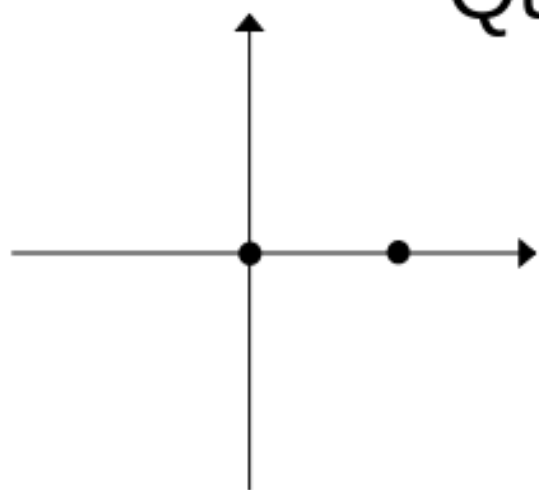


Valence $V = 8$ états
 $\log_2(V) = 3$ bits

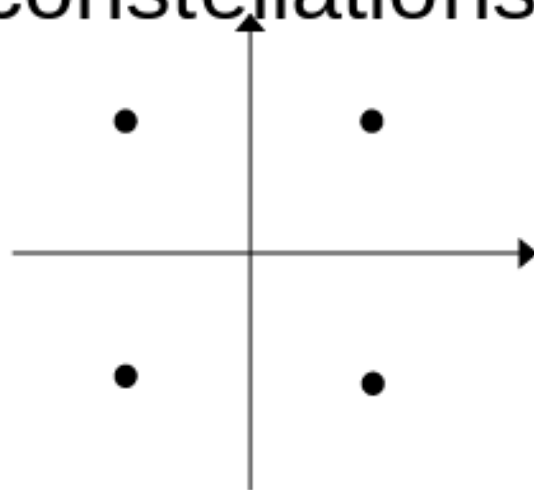
D = débit (bits/s)
 R = rapidité de modulation (états/s)

$$D = R \log_2(V)$$

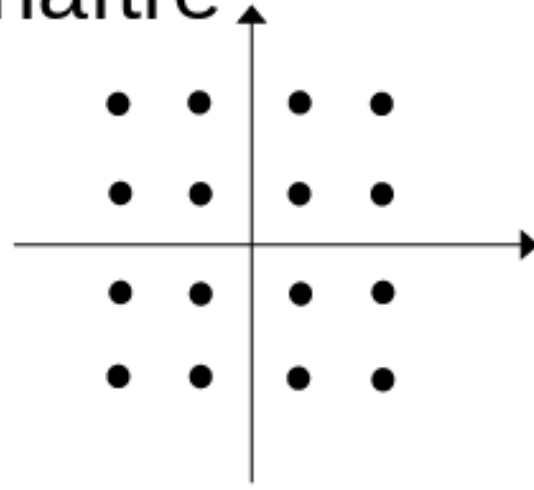
Quelques constellations à connaître



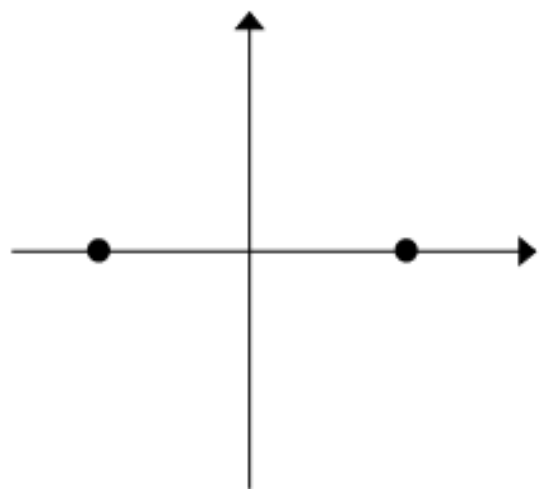
OOK (On-Off Keying)



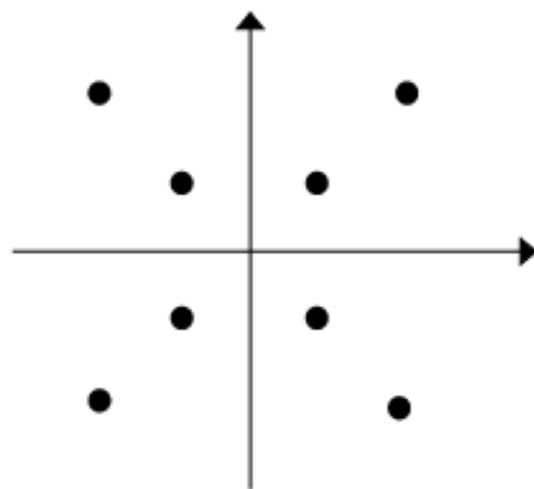
QPSK / QAM-4



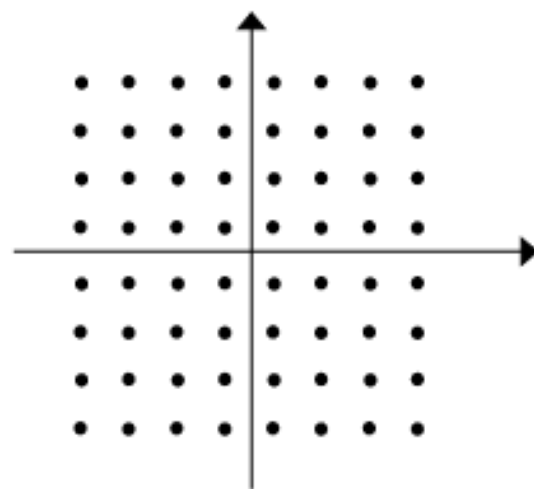
QAM-16



BPSK



QAM-8



QAM- 2^N

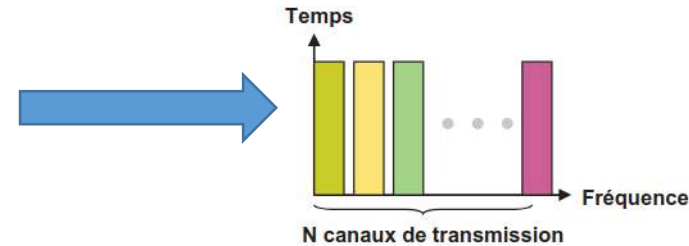
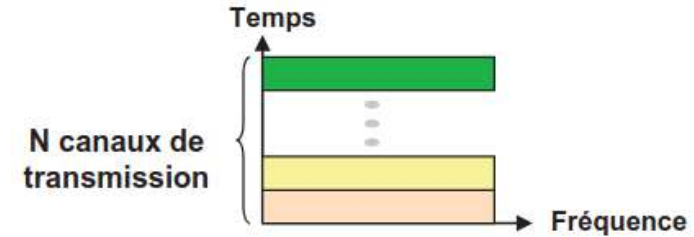
TDMA/FDMA, ou comment se partager les ressources disponibles

TDMA = Time Division Multiple Access

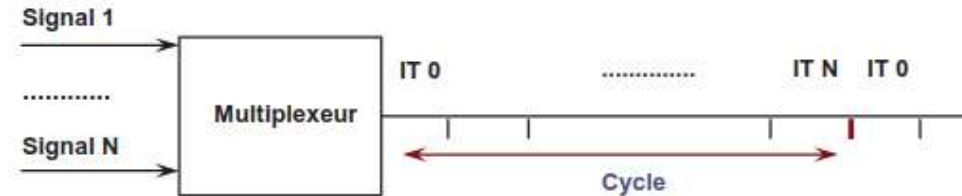
(Les données des utilisateurs sont envoyées les une après les autres)

FDMA = Frequency Division Multiple Access

Les données des utilisateurs sont envoyées en même temps mais sur des fréquences différentes (équivalent optique : WDM)



Quelle technique est utilisée ici ?



E1 = flux de trames MIC

MIC = 32 intervalles de temps

IT = intervalle de temps

Durée d'une trame MIC : 125 μ s

Débit par IT : 8 000 fois/s x 8 bits = 64 kbit/s

Une trame MIC comprend 32 IT : IT0 à IT31, IT0 est réservée au verrouillage de la trame

Débit global : 32 x 64 kbit/s = 2 048 kbit/s, Trame 2 Mbit/s

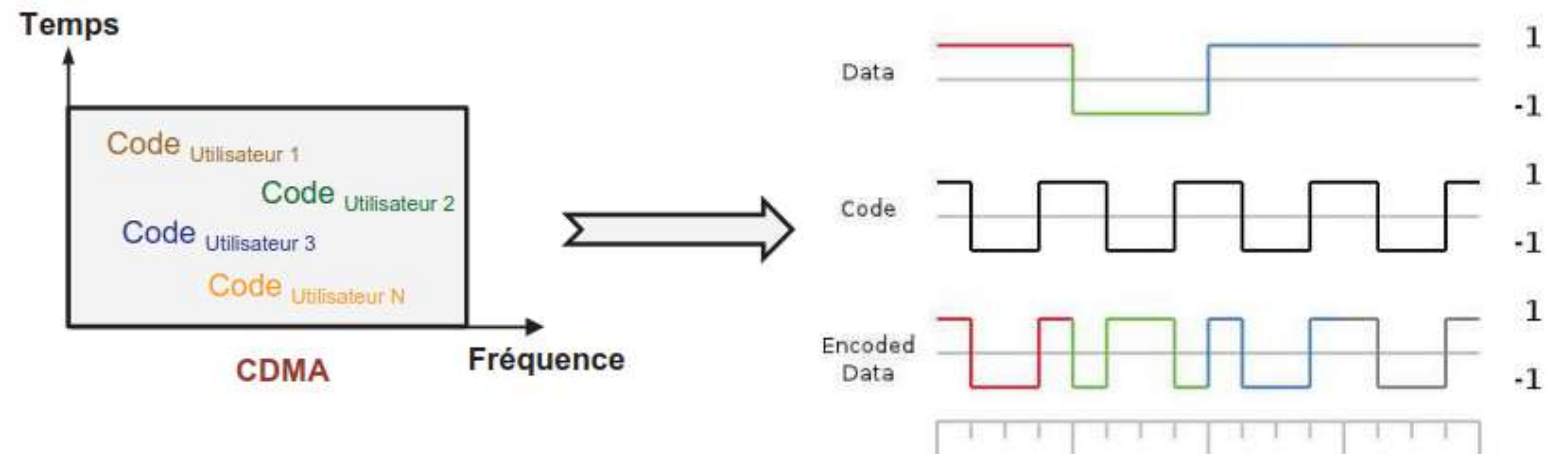
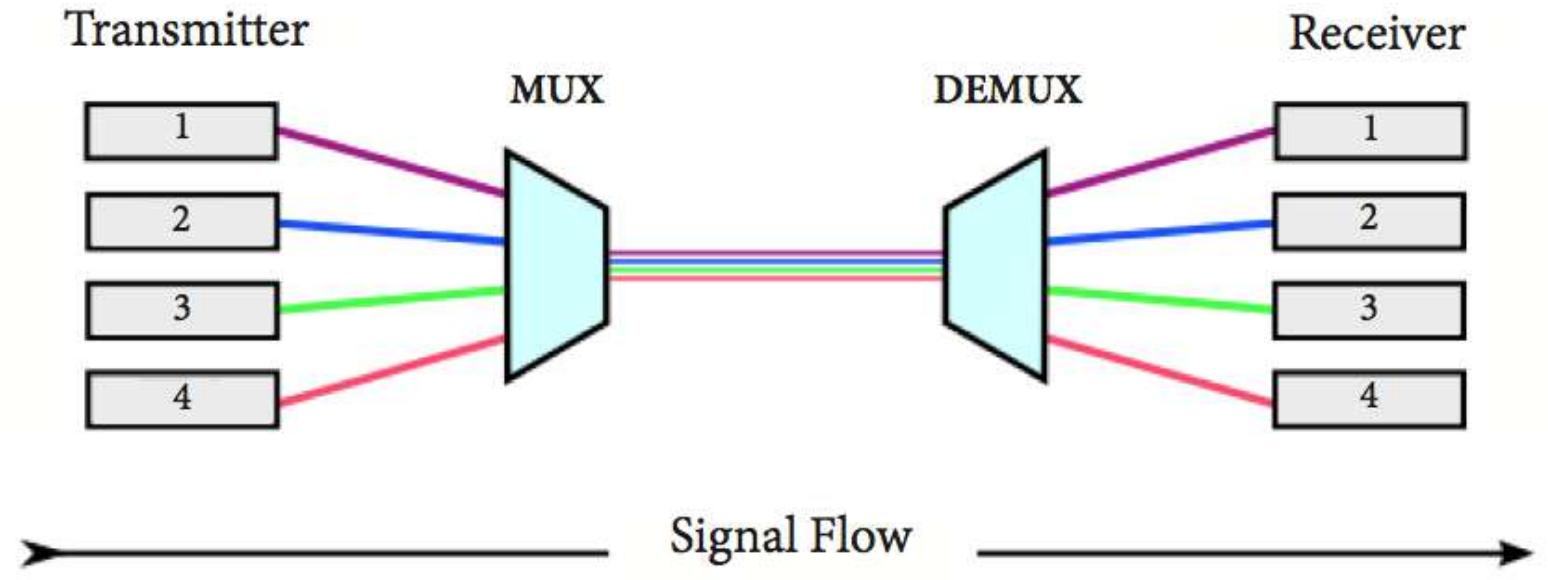
RÉPONSE

A l'envers : TDM A

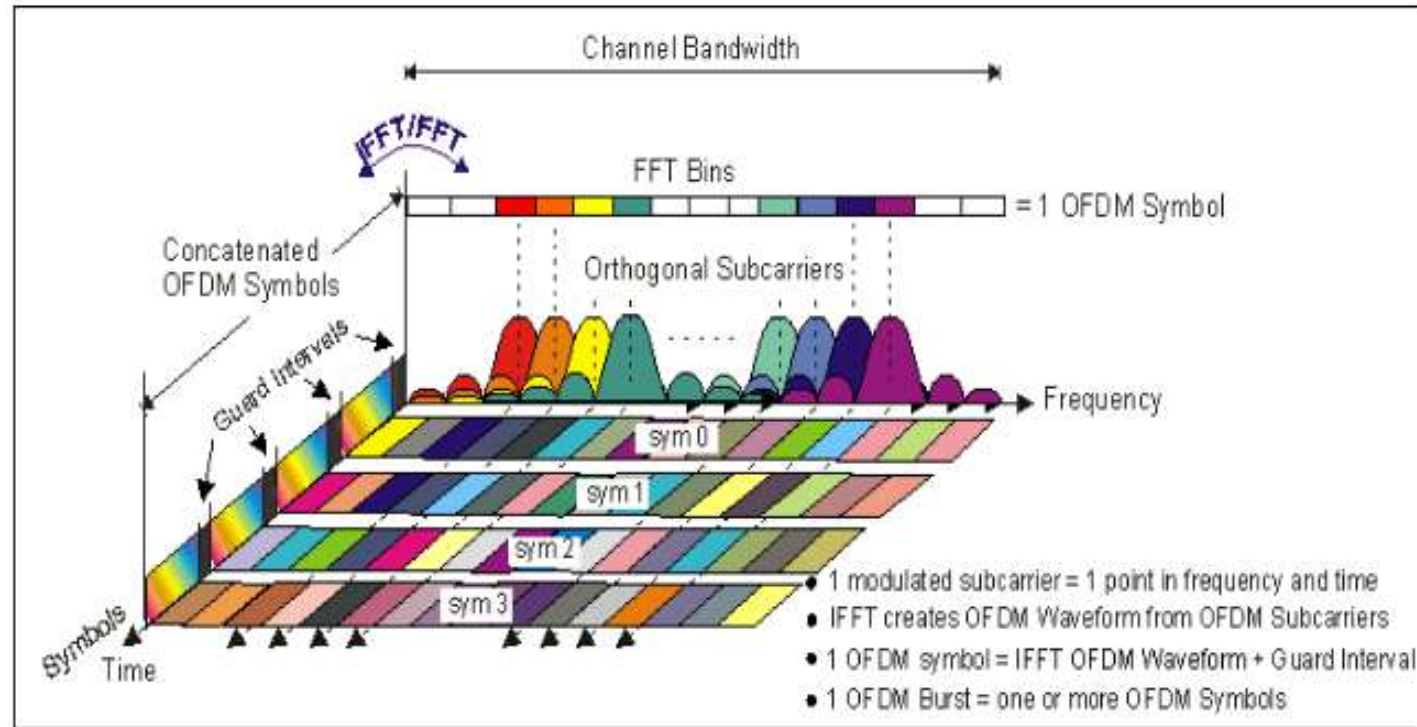
WDM = Wavelength Division Multiplexing
(Chaque utilisateur a sa longueur d'onde et les données de tous les utilisateurs sont envoyées en même temps)

Et pour la fibre optique ?

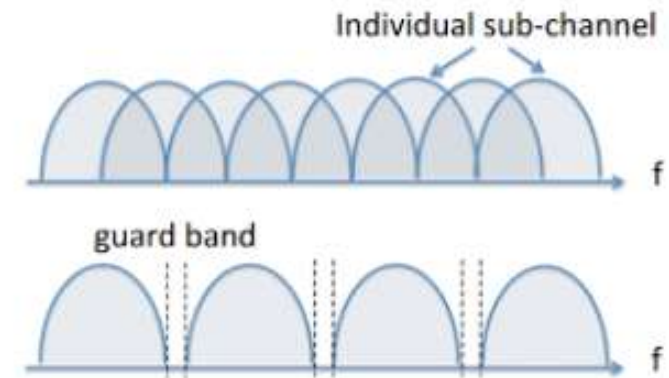
CDMA = Code Division Multiple Access
(Chaque utilisateur émet sur n'importe quelle fréquence et a n'importe quel moment, ils ont chacun un code de tel sorte qu'ils soient orthogonaux entre eux : cela permet de les dissocier ensuite)



Du FDMA à l'OFDMA (*Orthogonal FDMA*)



Frequency-Time Representative of an OFDM signal



OFDMA (haut)
vs
FDMA (bas)
(effet exagéré)

OFDMA : Dans le domaine fréquentiel, les peak des subcarriers correspondent aux 0 des autres subcarriers (sinc) => carriers beaucoup plus proches les uns des autres. Chaque subcarrier envoie un état à la fois (au sens de la valence d'une modulation QAM par ex.). Codage et décodage de l'information par FFT; on répète ça sur autant de temps symboles que nécessaire.

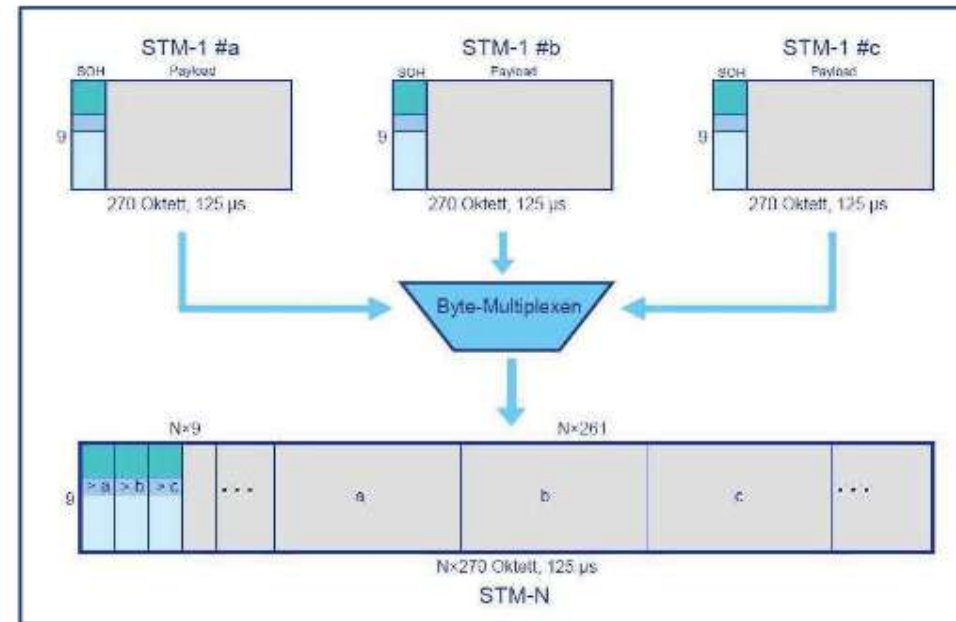
La structuration des données dans les cœurs de réseaux (trame SDH=Synchronous Digital Hierarchy)

Plusieurs liaisons SDH à 155 Mbps peuvent ensuite être agrégées par multiplexage en une liaison plus rapide, par exemple à 622 Mbps pour 4 liaisons multiplexées

N trames SDH
9 lignes de 270 octets
Envoyées toutes les 125 μ s



Trame SDH résultante
9 lignes de $N \times 270$ octets
Envoyée toutes les 125 μ s

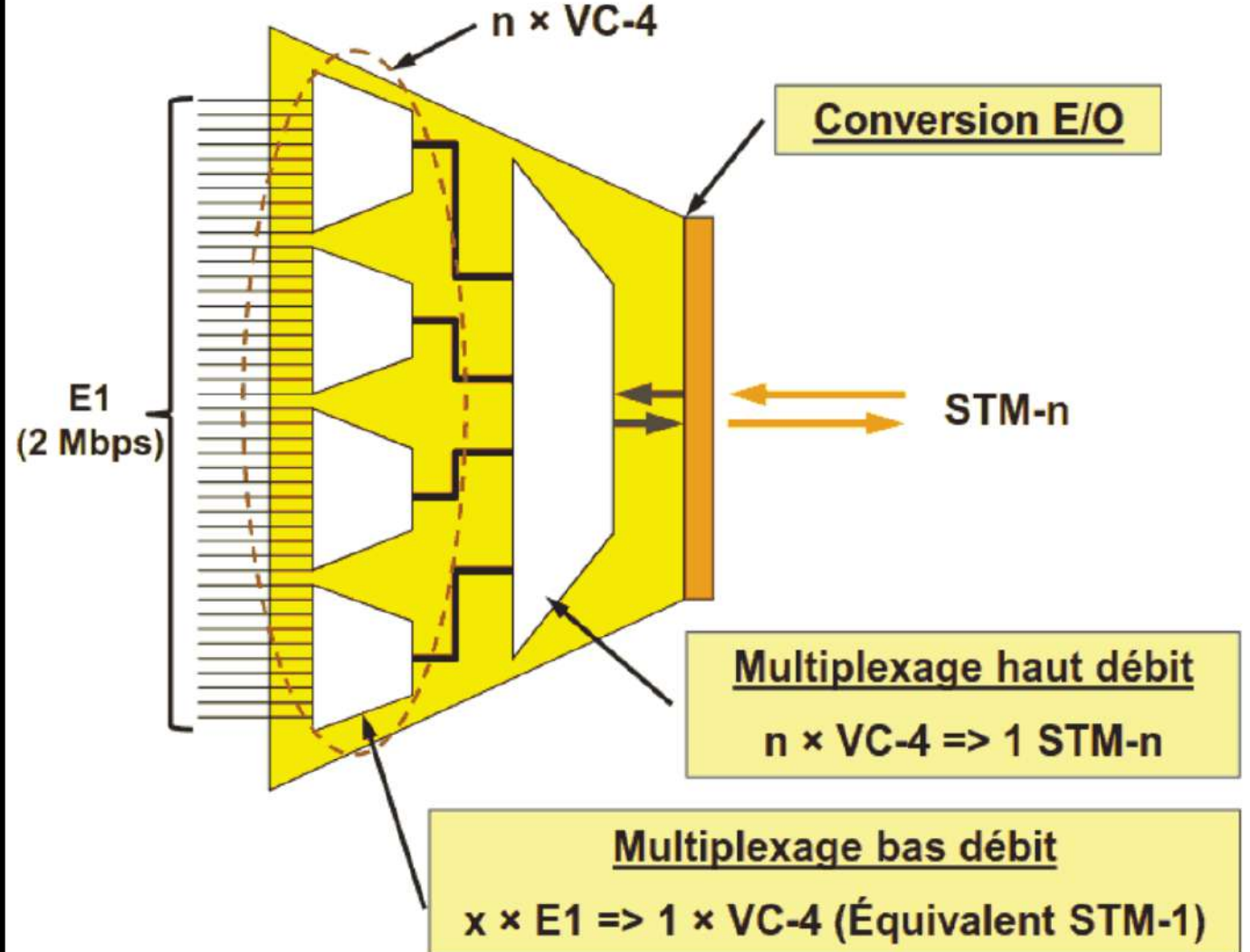


Le dimensionnement des réseaux SDH

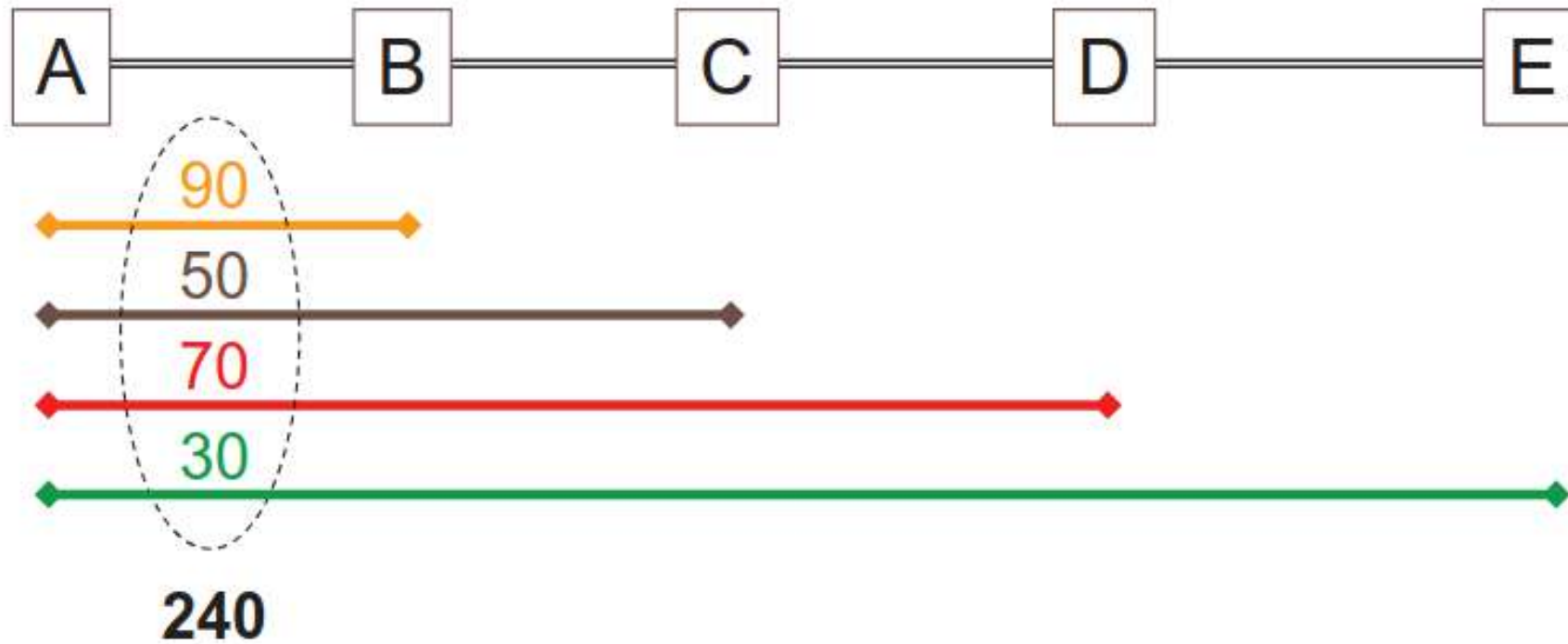
E1 = Trafic utilisateur

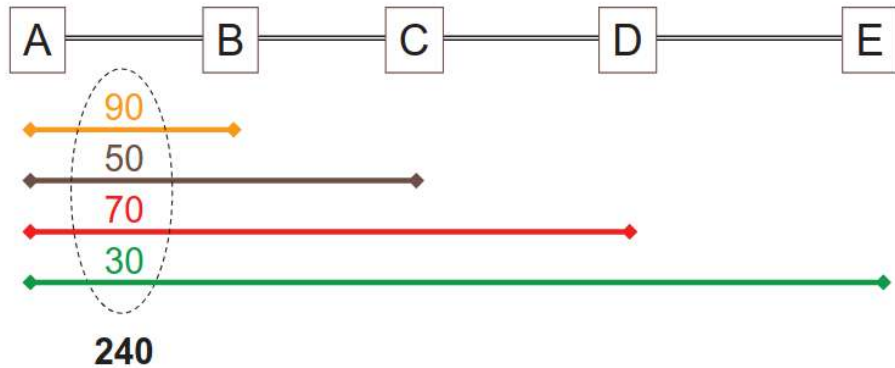
STM = Synchronous Transport Module

- Les E1=MIC sont le trafic des utilisateurs
- Ils sont agrégés dans des conduits VC-4 = virtual container - 4 (multiplexage bas débit), c'est comme des STM-1 (ils agrègent 63 E1 maximum)
- Les n conduits VC-4 sont agrégés (multiplexage haut débit) pour constituer un STM-n (avec $n = 4, 16, 64, \dots$)



EX : Le besoin de trafic entre nœuds





Option 1
STM-4

VC-4 #1 ● → 60 (AB)
 VC-4 #2 ● → 60 = 50 (AC) + 10 (AB)
 VC-4 #3 ● → 60 = 60 (AD)
 VC-4 #4 ● → 60 = 30 (AE) + 20 (AB) + 10 (AD)

avantage : optimisation du remplissage (STM-4)

désavantage : grande complexité des nœuds intermédiaires (ex : B)

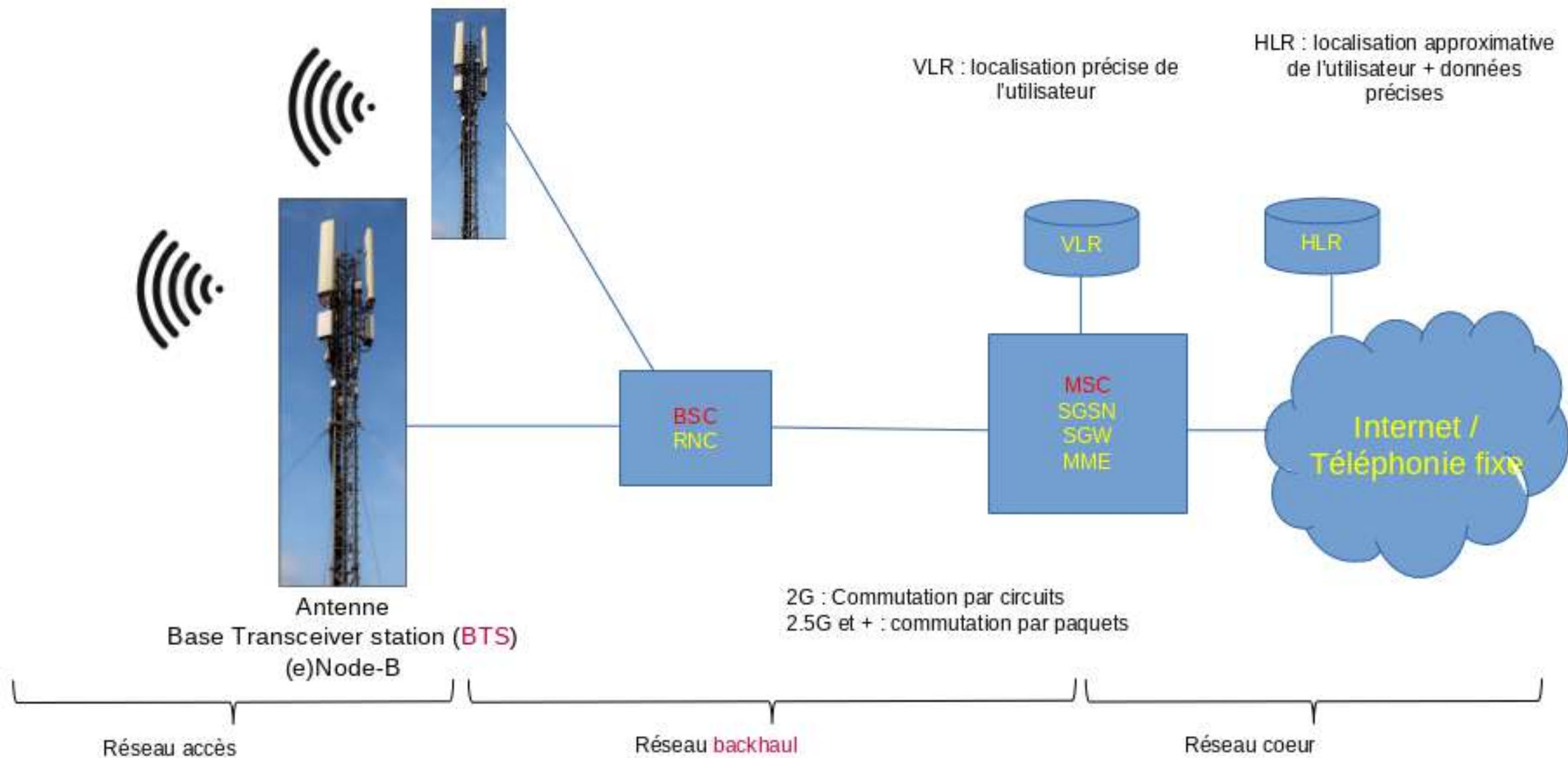
Option 2
STM-16

VC-4 #1 ● → 60 (AB)
 VC-4 #2 ● → 30 (AB)
 VC-4 #3 ● → 50 (AC)
 VC-4 #4 ● → 60 (AD)
 VC-4 #5 ● → 10 (AD)
 VC-4 #6 ● → 30 (AE)

avantage : nœud B plus simple et les conduits VC-4 #3 à #6 sont en transfert direct sans démultiplexage

désavantage : surdimensionnement du réseau (STM-16 au lieu de STM-4)

Architecture des réseaux mobiles



MNO/MVNO/FullMVNO

MNO = Mobile Network Operator (opérateurs ayant leur propre fréquence attribuée par l'ARCEP et leur propre infrastructure)

Ex : Bouygues Telecom, Free Mobile, Orange, SFR

MVNO = Mobile Virtual Network Operator (opérateurs n'ayant pas leur propre réseau radio mais achètent des communications aux autres opérateurs)

FullMVNO = MVNO aujourd'hui (M6 Mobile, La Poste Mobile)

Les acteurs

Organismes de régulation :

En France

- ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes

Dans le monde

- Canada - CRTC : Canada Radio Telecommunications Commission
- Etat-Unis - FCC : Federal Communication Commission

Les opérateurs :

SFR, Bouygues Telecom, Free, Orange

Les équipementiers :

IMB, Cisco, Samsung

Les fournisseurs de services et de contenus :

Google, Facebook, Instagramme, Youtube

Organismes de normalisation

UIT (Union Internationale des Télécommunications) (ou ITU)

- Elle gère l'attribution des bandes de fréquences radioélectriques pour la communication hertzienne
- Elle assigne les orbites aux satellites envoyés dans l'espace.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

- Il assure la publication de ses propres normes et des autres textes rédigés par des membres de son organisation.

IETF (Internet Engineering Task Force)

- Ce groupe a pour rôle d'élaborer les standards Internet

ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

- Organisme de normalisation européen dans le domaine des télécommunications
- Il est officiellement responsable de la normalisation des TIC pour l'Europe en coopération avec les instances nationales.

L'attribution des fréquences

UIT (Union Internationale des Télécommunications) (ou ITU)

- Coordonne les contributions des états et du secteur privé
- Elle est chargée de la réglementation et de la planification des télécommunications dans le monde,

Les fréquences sont gérées par l'ITU au niveau mondial et par l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) en France

- Certaines fréquences sont d'usage libre (four à micro-ondes, télécommandes, thermomètres d'extérieur...)
- Les autres sont allouées par l'ANFR à différents organismes : ARCEP (télécoms), CSA (audiovisuel), ministères de la Défense et de l'Intérieur, CNES, météo, ports et navigation maritime, aviation civile...

En France

- ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes

ITU > ANFR > ARCEP

Comparaison de technologies

GSM(Global System for Mobile), GPRS(General Packet Radio Service), **EDGE : FDMA/TDMA**

UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) 99 : **CDMA**

3.5G : **CDMA/TDMA**

LTE : **OFDMA**

Valence (d'un signal) : Nombre d'états différents transmis $D = R \log_2 V$

Exemple :

Signal $V=2$ (0 et x volt), 4 eb en 1 sec : $D = 4 \text{ bit/s}$ $R = 4 \text{ bauds}$

Signal $V=4$ (+1, -1, +2, -2), 4 eb en 1 sec : $D = 4 \text{ bit/s}$ $R = 2 \text{ bauds}$

HFC = Hybrid Fibre Coax

Handover : automatiquement changer de cellule (d'antenne relai) lorsque le signal est trop faible (lorsqu'on se déplace de cellule en cellule)

DSLAM (DSL Access Multiplexer)

- Raccorde les lignes d'abonnés (1000)
- Modem ADSL
- Multiplexage les flux clients au niveau ATM (jusqu'à 20 Gbit/s)
- Transparent à l'IP

Les modalités de dégroupage

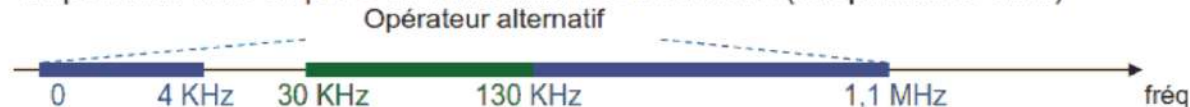
- Dégroupage partiel

- L'opérateur tiers ne dispose que de la data. La téléphonie reste sur le réseau RTC de l'opérateur historique (Orange)



- Dégroupage total

- L'opérateur tiers dispose de l'ensemble des services (téléphonie et data)



Définitions

Nyquist (1924)

- Pour un canal parfait, il suffit de $2B_{\text{(Hz)}}$ échantillons pour reconstituer un signal de largeur de bande $B_{\text{(Hz)}}$.
- Le débit binaire maximal est obtenu par :
 - **$D_{\text{max}} = 2B_{\text{(Hz)}} \log_2 V$**
 - V : nombre de niveau de modulation que le signal peut prendre

Rapport signal sur bruit

- Les niveaux du signal et du bruit sont exprimés en W.
- Le rapport Signal (S) / Bruit (B : Noise) :
 - SNR (Signal to Noise Ratio) = (S/B) (sans unité)
 - **$\text{SNR (Signal to Noise Ratio)} = 10 \log_{10} (S/B)$ (dB)**

Théorème de Shannon (1948)

- Ce théorème s'applique pour un canal imparfait, indépendamment du nombre de niveaux de modulation
 - Avec SNR en linéaire : $D_{\text{max}} = B_{\text{(Hz)}} \log_2 (1+S/B)$
 - **Avec SNR en dB : $D_{\text{max}} = (B_{\text{(Hz)}} / 3) * (S/B)$**

Pour échantillonner un signal : $f_e \geq 2 * f_{\text{max}}$

Atténuation d'un signal se propageant en espace libre : $\text{FSL (dB)} = C + 20 * \text{Log}(D) + 20 * \text{Log}(F)$

$$D = R \log_2(V)$$

Les formules qui servent

FSL = Free Space Loss
 $C = 32,4$
 D en km
 F en MHz



C'EST L'HEURE DU BLOOCKET !

LEVEL UP YOUR LEARNING!



Un petit TP ?

<https://wiki.minet.net/fr/tps/tp-formations/net3101>



La formation ?

