

Chapitre 2

TRANSPORT DES DONNEES

II.1. INTRODUCTION

Une des grandes tendances de la fin des années 90 est la demande croissante en bande passante des réseaux d'entreprises et des réseaux d'opérateurs, due principalement aux nouveaux usages liés à Internet (services multimédia, commerce électronique, liaisons privées,...). Cette évolution s'est accompagnée d'une transformation technologique profonde des réseaux de transport afin de pouvoir écouler les volumes de trafic en perpétuelle croissance. En effet, les réseaux de transport ont évolué à travers trois générations : PDH, SONET/SDH et G.709 (Optical Transport Network).

La première génération de technologie de transport numérique a été la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy), dont la norme nord-américaine T1 et la norme équivalente UIT-T E1 sont probablement les schémas de transport les plus connus. Le T1/E1 a été déployé pour la première fois au début des années 1960 pour transporter le trafic vocal.

Le réseau optique synchrone (SONET, Synchronous Optical Network) a été proposé par Bellcore (maintenant Telecordia) en 1985, et il peut être considéré comme la deuxième génération de réseaux de transport numérique. SONET a été conçu pour multiplexer des signaux PDH et les transmettre optiquement entre des équipements fabriqués par différents fabricants. La SONET n'a cependant pas été conçu pour répondre aux besoins de la communauté européenne, qui utilise la hiérarchie numérique plésiochrone de l'UIT-T. Compte tenu de cela, l'UIT-T a adopté la hiérarchie numérique synchrone (SDH, Synchronous Digital Hierarchy) comme norme internationale. SONET est compatible avec SDH. SONET et SDH ont également été définis pour transporter des cellules ATM et des trames PPP et HDLC.

Le réseau de transport numérique de troisième génération est la norme UIT-T G.709, également connue sous le nom de *digital wrapper*. Il s'agit d'une nouvelle norme qui tire parti de la technologie de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM). Il peut transporter des paquets IP, des cellules ATM, des trames Ethernet et du trafic synchrone SONET / SDH.

II.2. NOTIONS DE BASES

II.2.1. Codage MIC

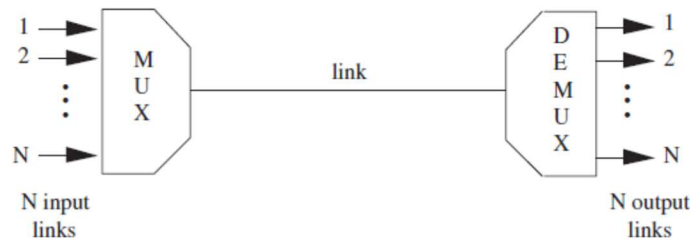
La numérisation de la voix selon le procédé **MIC** (Modulation par impulsion et codage ou **PCM**, *Pulse Code Modulation*) est adoptée dans tous les réseaux téléphoniques. Cette numérisation doit passer par deux procédures : échantillonnage et quantification.

Echantillonnage : La bande passante étant de 4 kHz, pour respecter la condition de Nyquist, la voix est échantillonnée à $f_e=8$ kHz, soit $T_e=125\mu s$.

Quantification : L'amplitude de chaque échantillon est quantifiée à la valeur la plus proche, et est représentée par un nombre codé sous forme binaire par le biais d'une modulation MIC G.711. Donc, on converti les échantillons en données numérique sur 8 bits, soit un débit par voix de 64 kHz.

II.2.2. Multiplexeur

Le multiplexeur est un équipement qui met en relation un utilisateur avec un autre par l'intermédiaire d'un support partagé par plusieurs utilisateurs. Un multiplexeur n voies simule, sur une seule ligne, n liaisons point à point. Chaque voie d'entrée est dénommée voie incidente, le support partagé voie composite.

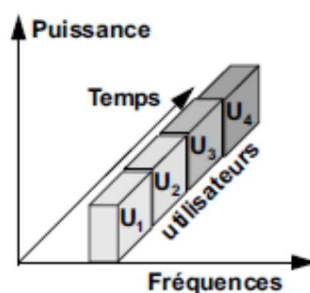


L'opération de regroupement des voies incidentes sur un même support s'appelle le multiplexage. Le démultiplexage consiste à restituer à chaque destinataire les données qui lui sont destinées.

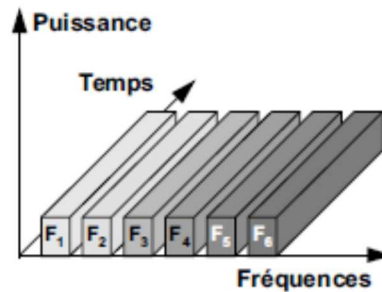
a) Techniques de multiplexage

Afin de partager le médium de communication entre plusieurs flux de données, trois techniques de multiplexage ont été distinguées : FDM, TDM et WDM/DWDM.

- **FDM (Frequency Division Multiplexing)** : est une technique de multiplexage par répartition de fréquence. Elle consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes et à affecter chacun de ces canaux à une voie de transmission. Pour prévenir les interférences entre les sous-bandes, des bandes de garde ont été utilisées pour les isoler les uns des autres. Si un utilisateur n'utilise pas son canal, la bande correspondante est perdue. L'efficacité d'un tel système reste faible (0,2 à 0,3), le multiplexage fréquentiel n'est plus utilisé qu'en association avec d'autres techniques.

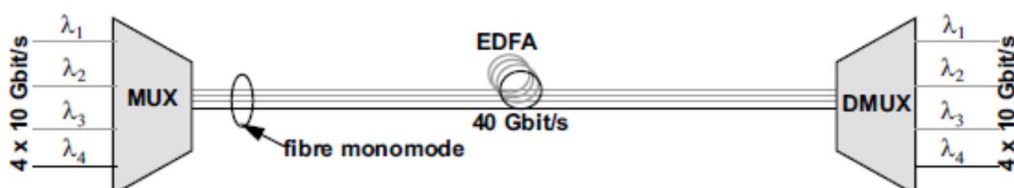


- **TDM (Time Division Multiplexing)** : consiste à affecter à un flux unique la totalité de la bande passante pendant un slot de temps et à tour de rôle pour chaque flux de données. Le multiplexage est dit caractère quand chaque IT est égal à un caractère. Dans un tel système, l'efficacité peut atteindre 0,8. Si on diminue encore le temps affecté, à un IT, jusqu'au niveau bit (1 IT = 1 temps bit, multiplexage bit), l'efficacité peut atteindre 0,9.



- **WDM/DWDM (Wavelength Division Multiplexing/Dense WDM)** : est considérée comme une sorte de FDM et utilisée dans le cadre des réseaux de fibres optiques. Elle consiste à injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes. A l'origine, seules les fenêtres courantes de 1300 et 1550 nm ont été utilisées autorisant, par exemple, l'exploitation de quatre longueurs d'ondes dans la fenêtre de 1530 à 1560 nm (bande C) soit une liaison à 10 Gbit/s (quatre canaux de 2,5 Gbit/s) sur une distance de 250 km. Cette technique est limitée par la dispersion chromatique (différence de coefficient de vélocité en fonction de la longueur d'onde).

Les réalisations actuelles autorisent le multiplexage de 4, 16, 32, 80 et 160 longueurs d'onde avec des trains numériques incidents de 2,5, 10 voire 40 Gbit/s. Les technologies du type *Dense WDM* (**DWDM**) permettent de réduire l'écartement entre les canaux utilisés inférieur ou égal à 0,8 nm (soit 100 GHz) et laisse espérer l'utilisation de 1 000 longueurs d'onde dans un même multiplex. Aujourd'hui, on a pu réaliser des liaisons à 3 Tbit/s sur 7 300 km en utilisant 300 canaux à 10 Gbit/s et en laboratoire 10 Tbit/s sur 100 km avec 256 canaux à 40 Gbit/s. La figure suivante illustre un système de transmission en multiplexage de longueurs d'onde. Le faisceau lumineux est régénéré par un amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium (**EDFA**, *Erbium Doped Fibre Amplifier*). Les pas de régénération sont d'environ 100 km pour les liaisons terrestres et de 50 à 80 km pour les liaisons océaniques. Une liaison terrestre de 450 km à 160 Gbit/s (10 faisceaux de 1,6 Gbit/s), sans aucune régénération, a déjà été réalisée.



Espacement	Nombre de canaux	
1000 GHz ($\Delta\lambda = 8 \text{ nm}$)	4	WDM (Wavelength Division Multiplexing)
400 GHz ($\Delta\lambda = 3,2 \text{ nm}$)	8	
200 GHz ($\Delta\lambda = 1,6 \text{ nm}$)	16	DWDM (Dense WDM)
100 GHz ($\Delta\lambda = 0,8 \text{ nm}$)	32	
50 GHz ($\Delta\lambda = 0,4 \text{ nm}$)	80	UDWDM (Ultra Dense WDM)
25 GHz ($\Delta\lambda = 0,2 \text{ nm}$)	160	

Il existe une autre forme de multiplexage WDM, moins performante, connue sous l'appellation CWDM (Coarse WDM qui signifie WDM grossier). Dix-huit canaux au maximum sont utilisables, mais en pratique les équipements émettent sur quatre, huit ou seize canaux.

Exemple d'application : la trame MIC

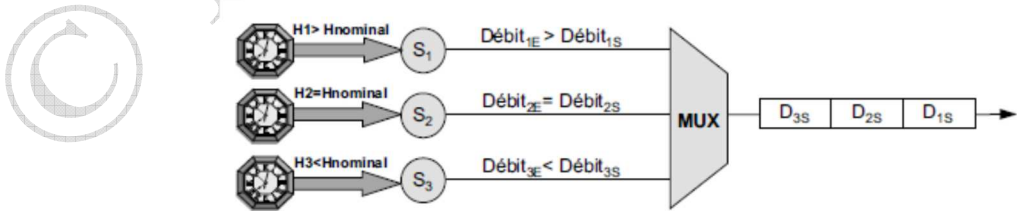
Pour transiter plusieurs appels téléphoniques sur un même câble, on opère un multiplexage temporel : le signal MIC d'une voix n'a pas la nécessité d'occuper le canal de transmission pendant la totalité du temps entre deux échantillons. On transmet ce signal sur une durée très courte par rapport au temps séparant deux échantillons (125 μs), ce qui permet d'entrelacer, dans l'intervalle de temps inoccupé d'autres communications.

Le système MIC normalisé par les Européens est appelé MIC E1 (Européen, 1er Niveau). Le standard prévoit que 30 IT transporteront des communications téléphoniques, les 2 IT restantes transporteront les informations de synchronisation et de signalisation (La ligne multiplexée de débit 2048 Mb/s transportant 32 IT est appelée Multiplex ou MIC).



b) Notion de débit de cadrage

Dans un système de transmission, chaque source est indépendante. Même si on réalise à partir d'une horloge unique distribution d'horloge, il est pratiquement impossible de garantir que les horloges de chaque système soient identiques.



Le décalage des horloges provoque des inégalités de débit et sont, aujourd'hui, la principale source d'erreur dans les réseaux (saut de bits).

Afin d'assurer l'égalité entre le débit incident et le débit correspondant dans le multiplex, il est nécessaire de prévoir, dans le multiplex de sortie, un surdébit pour permettre le cadrage des données (surdébit de cadrage ou justification).

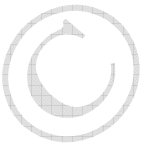
La figure suivante illustre le principe de la justification au niveau bit par bit de cadrage.

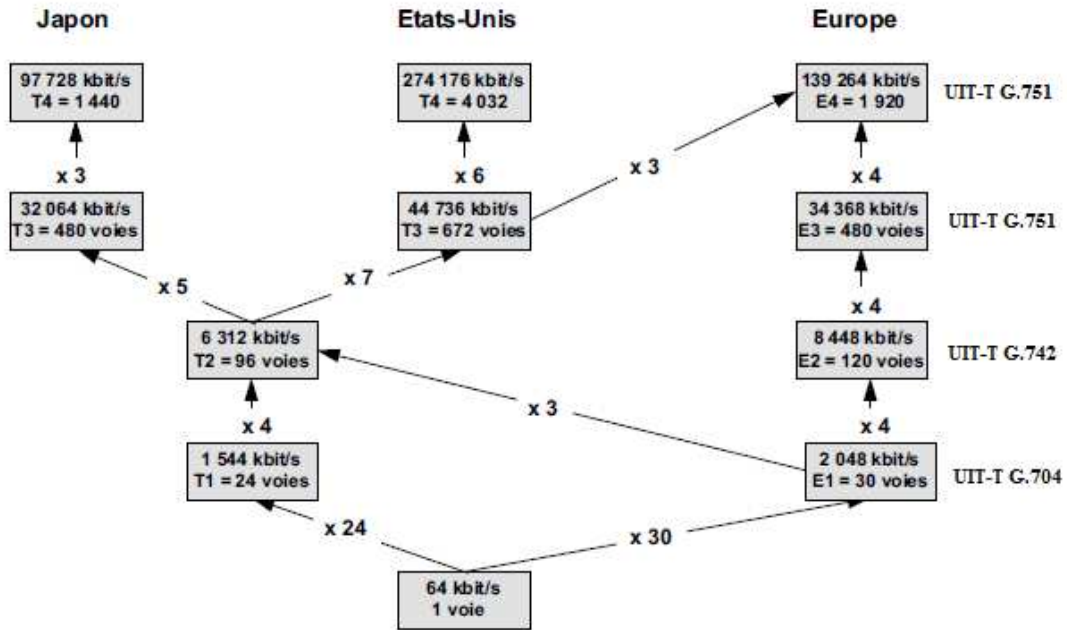
Trame PDH		C ₁	C ₂	J ₁	J ₂	Données
Justification négative	H _s < H _e	0	0	0	0	Données
Pas de justification	H _s = H _e	0	1	0		Données
Justification positive	H _s > H _e	1	1			Données

La justification est nulle quand la fréquence d'horloge du train incident (H_s) est identique à celle du train d'émission (H_e), c'est-à-dire que le débit binaire incident correspond exactement au débit binaire nominal d'émission. Si le train de bits incident est supérieur à la capacité nominale d'émission, elle est dite positive et négative dans le cas inverse. Dans l'exemple de la figure 13.8, l'écart maximal des horloges a été supposé limité à 1 bit. La position des données dans la trame varie donc de ± 1 bit, par rapport à une position de référence. Les bits C₁ et C₂ indiquent, lorsqu'ils sont positionnés à 1, que le bit de justification correspondant (C₁ pour J₁ et C₂ pour J₂) contient un bit de donnée. Lorsqu'ils ne sont pas utilisés, les bits de justification J₁ et J₂ et d'indication (C₁ et C₂) sont à 0

II.3. PDH

La hiérarchie PDH est apparue avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter simultanément plusieurs canaux téléphoniques sur un même support (multiplexage temporel). Le multiplex de base est constitué du regroupement de plusieurs canaux téléphoniques de 64 kbit/s. Ces regroupements sont différents en Europe, au Japon et en Amérique du nord, ce qui conduit à la définition de différentes hiérarchies plésiochrones illustrées comme suit





Les deux bits d'indication d'erreur CRC-4 (E) indiquent la réception d'une multiframe erronée ; le délai pour communiquer cette erreur doit être inférieur à 1 s.

Le deuxième bit alterne de 0 à 1 entre trame pour éviter l'imitation (recopie) des deux trames IT0 consécutives.

Le bit A transmet vers l'extrémité distante de la ligne à 2 048 kbit/s une indication de défaut affectant la réception locale. Ce bit doit être à 0 en l'absence d'alarme ; Les causes d'erreurs sont :

- erreurs dans les codes
- perte d'alignement de trame

Les bits S_{a4} à S_{a8} sont des bits de réserve supplémentaires. Ils (lorsqu'ils ne sont pas utilisés) doivent être fixés à 1 sur un conduit numérique traversant une frontière internationale.

	Sous-multiframe (SMF)	Numéro de trame	Bits 1 à 8 de la trame							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Multiframe	I	0	C ₁	0	0	1	1	0	1	1
		1	0	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}
		2	C ₂	0	0	1	1	0	1	1
		3	0	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}
		4	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
		5	1	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}
		6	C ₄	0	0	1	1	0	1	1
	7	0	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}	
	II	8	C ₁	0	0	1	1	0	1	1
		9	1	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}
		10	C ₂	0	0	1	1	0	1	1
		11	1	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}
		12	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
		13	E	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}
		14	C ₄	0	0	1	1	0	1	1
15		E	1	A	S_{a4}	S_{a5}	S_{a6}	S_{a7}	S_{a8}	

NOTE 1 – E sont les bits d'indication d'erreur CRC-4
 NOTE 2 – S_{a4} à S_{a8} sont les bits de réserve
 NOTE 3 – C₁ à C₄ sont les bits de contrôle de redondance cyclique 4 (CRC-4)
 NOTE 4 – A est l'indication d'alarme distante

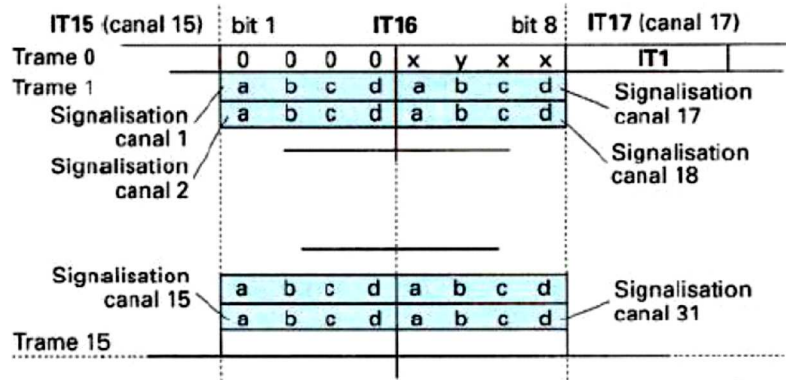
b) Structure de l'IT16

L'IT16 est généralement réservé au transport de la signalisation des diverses voies du multiplex. Dans ce cadre, on peut distinguer deux modes principaux de transport de la signalisation :

- signalisation sémaphore (en anglais CCS : common channel signalling) ;
- signalisation voie par voie (en anglais CAS : channel associated signalling).

En mode signalisation sémaphore, l'IT16 transporte la signalisation en mode message, l'affectation à une voie particulière s'effectuant par adressage explicite contenu dans le message. Ce mode présente une grande souplesse et permet également le transport d'informations d'exploitation.

En mode signalisation voie par voie, l'IT16 porte une structure permettant une affectation implicite et donc stricte de la signalisation. Cette structure repose sur une multiframe d'IT16, composée de 16 trames. La multiframe d'IT16 est totalement indépendante de la multiframe de CRC4.

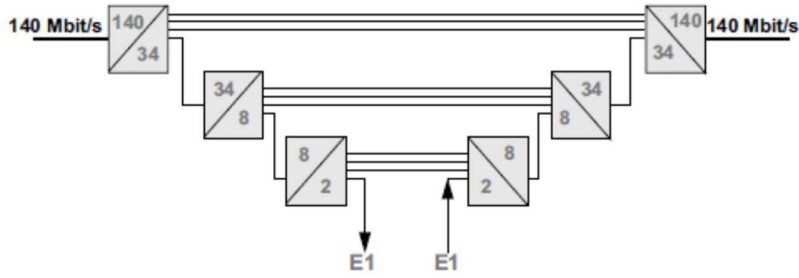


Le premier IT16 de la multiframe (IT16 de la trame 0), porte le motif de verrouillage de multitrames : 0000 suivi de quatre bits dont trois bits (X) de réserve plus le bit (y) servant à transmettre vers l'extrémité opposée de la liaison une information de défaut de fonctionnement local de la multiframe (par exemple, perte de verrouillage multiframe en réception). Les quinze IT16 qui suivent le mot de verrouillage de multitrames portent la signalisation de trente voies à 64 kbit/s à raison de quatre bits par voie.

II.4. SDH

La hiérarchie numérique synchrone conserve une structure de multiplexage, elle améliore les fonctions de maintenance et d'exploitation du réseau, elle simplifie la mise en œuvre et l'interconnexion des réseaux.

Outre l'utilisation de surdébits (justification et bourrage) qui consomme inutilement de la bande passante, l'inconvénient majeur de la hiérarchie PDH réside dans l'obligation de démultiplexer complètement le train à haut débit pour reconstituer un lien à 2 Mbit/s, c-à-d ; qu'il faut procéder à toutes les opérations de démultiplexage 140/34, 34/8, 8/2 ce qui signifie chaque fois : retrouver l'horloge, la trame, les bits de justification,... Si cette faible flexibilité est tolérable dans les réseaux téléphoniques (PSTN), relativement stables en demande de E1's, elle ne l'est plus dans un environnement compétitif où il faut approvisionner des clients divers (e.g. circuits loués pour entreprises privées, autres opérateurs,..) avec des débits divers et de plus en plus élevés (> 140 Mbit/s) ce qui demande une capacité de gestion plus performante.



II.4.1. Structure de multiplexage

La structure de multiplexage SDH s’articule autour d’une trame de base: le signal STM-1 (Synchronous Transfer Module d’ordre 1). A partir du STM-1, la norme SDH prévoit la construction des trames de niveau N (STM-N) ayant des débits supérieurs. Ses débits sont illustrés dans la figure suivante et représentent les débits permis (capacités standardisés) sur les liens SDH.

La Figure montre une vue simplifiée de la structure de multiplexage de la norme SDH. Les affluents sont d’abord mappés dans des zones contigües appelées conteneurs C (Container). Chaque conteneur est identifié par son débit maximum admissible (2, 34, 140 Mbps). Ces conteneurs sont incorporés dans des conteneurs virtuels VC (Virtual Container) pourvus d’une zone d’octets de service appelée surdébit de gestion. Les conteneurs virtuels VC flottent dans des blocs d’unités d’affluents TU (Tributary Unit). La position des VC dans les TU est donnée par un pointeur placé dans les TU. Les TU sont multiplexés octet par octet dans les zones appelées groupe d’unités d’affluents TUG (Tributary Unit Group). Un TUG peut être aussi multiplexé dans un TUG supérieur (TUG-2 dans TUG-3). Les TUG sont à leur tour groupés dans un conteneur virtuel, dit d’ordre supérieur HO (High Order), VC-4.

Ces conteneurs virtuels HO flottent dans des zones d’unités administratives AU (Administrative unit). Les unités administratives AU sont ensuite multiplexés dans un groupe d’unités administratives AUG (Administrative Unit Group). Chaque AUG comporte les informations de justification et d’alignement pour chaque VC qu’il contient. Ces informations (identification, alignement et justification des VC) sont disposées à un emplacement connu dans le surdébit de gestion de la trame STM.

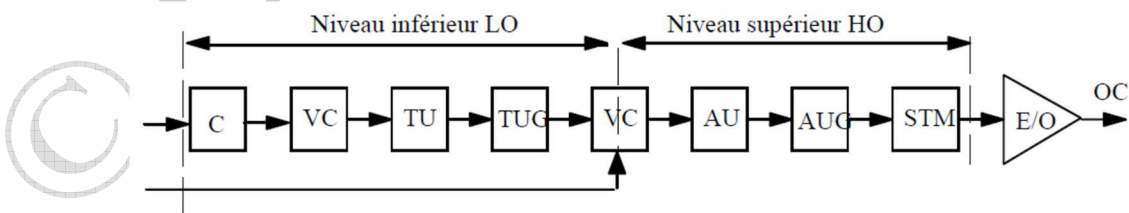


Fig. 1-7 : Les niveaux de multiplexage SDH

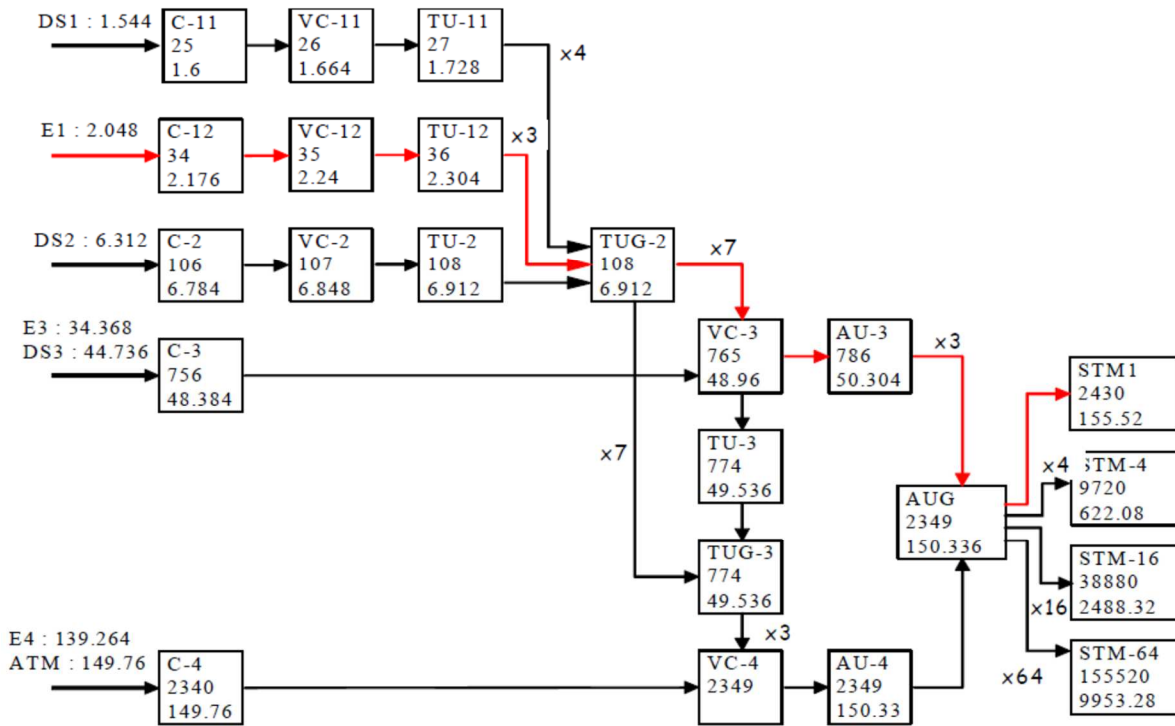
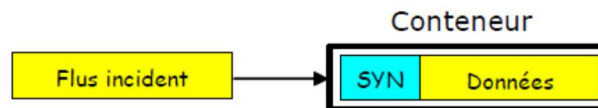


Fig. 1-12 : Multiplexage SDH

Chaque rectangle indique le nom du bloc de données, sa taille en octets et son débit en Mb/s

a) Conteneur

Un conteneur contient un paquet de données utiles (payload) arrivés au rythme du débit de l'affluent pendant $125\mu s$ plus un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident à la structure de la trame.



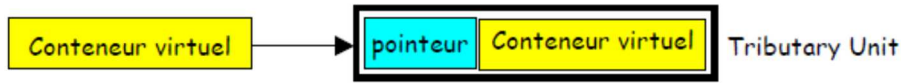
b) Conteneur virtuel

Le conteneur sera transporté à travers le réseau SDH en suivant un chemin (path) entre le point d'entrée et le point de sortie. Une des propriétés essentielle de la SDH est de pouvoir gérer ce conteneur et son chemin à travers le réseau indépendamment de son contenu. A cette fin, des bits de gestion appelés POH (Path Overhead) sont ajoutés au conteneur, l'ensemble constitue ce qu'on appelle un conteneur virtuel VC (Virtual Container).

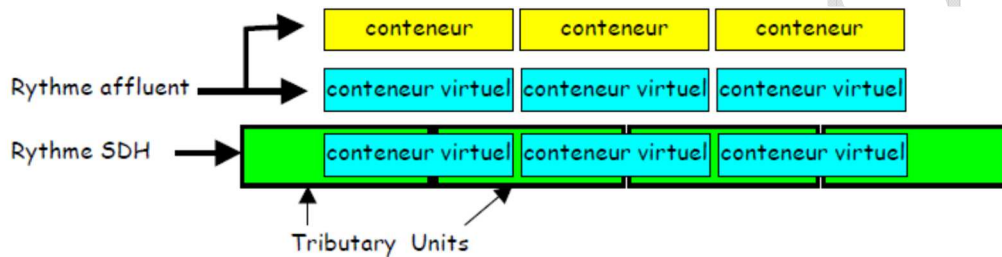


c) Tributary unit

Pour pouvoir localiser un VC dans une trame SDH sans que celui-ci soit placé toujours à la même position, on utilise un pointeur qui indique l'adresse relative du VC par rapport au début de trame. Le pointeur plus le VC constitue ce qu'on appelle une Tributary Unit (TU).

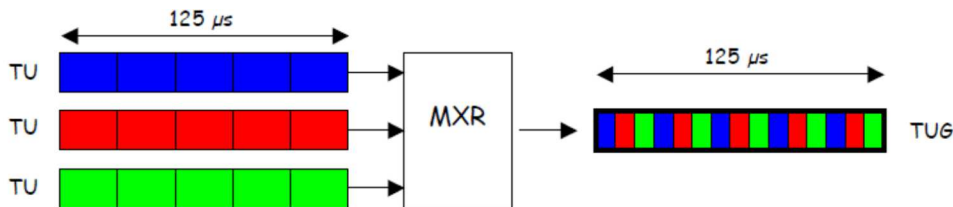


Ce pointeur est nécessaire car les TUs sont construites à l'aide de l'horloge SDH qui est "indépendante" de celle des affluents, le début d'une TU ne coïncide pas forcément avec celui d'un VC. Le fait qu'un VC puisse se trouver à n'importe quelle position de la TU, on dit que celui-ci flotte à l'intérieur de la TU (et donc de la trame). Il arrive souvent qu'un VC tombe à cheval entre deux trames successives.



d) Tributary unit group

Les TUs de différents affluents sont multiplexées (groupées par 3 ou 4) pour former des blocs plus grand appelé des Tributary Unit Group (TUG). Le multiplexage se fait toujours octet par octet. Il n'y a pas de surdébit propre à une TUG.



e) Les virtual containers d'ordre supérieur

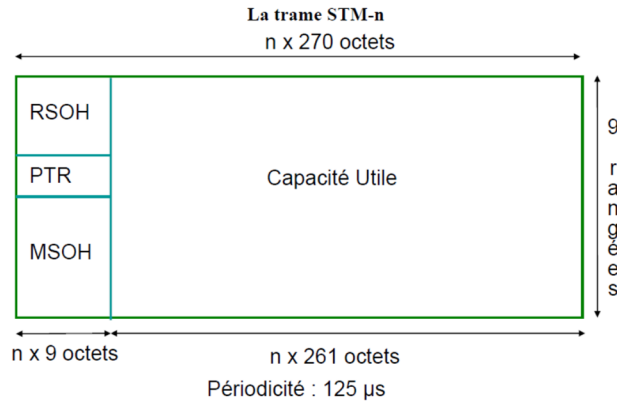
Un Virtual Container de niveau supérieur VC-HO est constitué soit par groupement de plusieurs TUG, soit directement à partir d'un affluent extérieur haut débit. Dans tous les cas, 9 octets POH sont attribués à chaque VC-HO. Des octets de bourrage et de justification peuvent aussi être ajoutés afin adapter la taille du VC-HO à la structure de la trame SDH.

f) Les unités administratives AU et AUG

Dans le niveau supérieur HO, les Unités administratives sont l'équivalent des Tributary Units dans le niveau inférieur. Ici aussi, les VC-HO flottent dans les AU, d'ou la nécessité de pointeurs pour localiser les VC dans les AU.

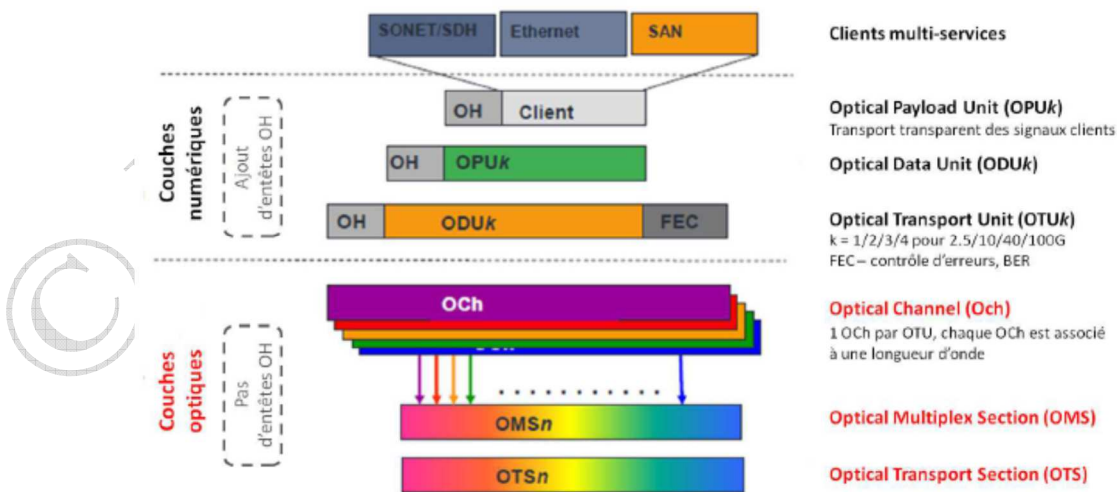
II.4.2. La trame STM-n

La trame de base SDH comporte 2430 octets émis avec une période de récurrence de 125µs soit de débit de 155.20 Mbit/s. elle est divisée en neuf éléments ou rangées de 270 octets, chaque élément est divisé en deux champs. Un champ de surdébit de 9 octets par rangée (*SOH, Section OverHead*) contient les informations de supervision, notamment les pointeurs. Les données sont déposées dans les champs utiles (261 octets) de chacune des rangées (*AU, Administrative Unit*). L'ensemble des données déposées forme un *container*.



II.5. LA TECHNOLOGIE OTN (OPTICAL TRANSPORT NETWORK)

La technologie OTN (Optical Transport Network) est une solution qui combine les avantages de SDH et WDM dans les réseaux de transport optiques de nouvelle génération. OTN, définie par la norme UIT G.709, met en place une hiérarchie d'encapsulation qui permet de supporter et transporter des signaux clients à différents débits et provenant de diverses technologies (notamment IP/MPLS, Ethernet, ATM, SDH/SONET,...).



La hiérarchie OTN définit les couches suivantes :

- L'unité de charge utile optique OPU_k qui représente l'interface entre le signal client et le réseau OTN. Elle est composée du trafic client et d'un entête nécessaire pour effectuer une adaptation entre le débit de signal client et le débit de charge utile d'unité OPU_k . Les capacités OPU_k sont définies pour $k = 1, 2, 3, 4$,
- L'unité de données optique ODU_k qui représente le conteneur numérique de données, similaire au conteneur VC-n dans le standard SDH. Elle contient la charge utile OPU_k et un entête contenant les informations de suivi de connexion tandem TCM (Tandem Connection Monitoring), nécessaires dans le cas où le signal client traverse des infrastructures de plusieurs opérateurs,
- L'unité de transport optique OTU_k qui représente la trame de transport dans les réseaux OTN, similaire à la trame STM-N dans le standard SDH. Elle est composée de la charge utile ODU_k et d'un entête contenant les informations de début de trame et les informations FEC pour la correction d'erreur sur la ligne de transmission. Les capacités nominales des trames OTU_k sont 2, 5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps et 100 Gbps respectivement pour $k = 1, 2, 3, 4$. La trame OTU est aussi appelé enveloppe numérique ("digital wrapper" en anglais), car elle encapsule toute l'information numérique avant la conversion optique,
- Le canal optique OCh est obtenu en effectuant la conversion électrique-optique de la trame OTU_k . Chaque OCh, transportant un OTU_k , est associé à une longueur d'onde de la grille ITU (International Telecommunication Union),
- La section de multiplex optique OMS assure la combinaison de multiples longueurs d'onde (canaux OCh) sur une même fibre optique avant leur transmission sur la ligne WDM. Chaque canal correspond à une longueur d'onde ITU. Les extrémités d'une section OMS sont généralement des multiplexeurs terminaux, des multiplexeurs d'insertion extraction OADM ou des brasseurs OXC,
- La section de transport optique OTS garantit le transport de multiples longueurs d'onde sur le même support physique (fibre optique). Signalons que l'entête d'OTS, ainsi que les entêtes associés aux autres couches optiques OMS et OCh, sont transportés par un canal de supervision optique OSC (Optical Supervisory Channel) occupant une longueur d'onde en dehors de la grille ITU.

En se basant sur cette architecture en couches, OTN définit une structure de multiplexage flexible utilisant la notion de conteneurs et basée sur la technique de multiplexage temporelle TDM. Le multiplexage de signaux clients à faible débit dans des signaux à haut débit permet la création de conteneurs plus grands qui profitent de la capacité maximale des canaux optiques (longueurs d'onde). Le conteneur $ODU-0$ représente l'unité de base dans la structure de multiplexage OTN. Les débits des différents conteneurs OTN sont illustrés dans le Tableau

Conteneur OTN	Débit nominal
ODU-0	1,25 Gbps
ODU-1	2,5 Gbps
ODU-2/ODU-2e	10 Gbps
ODU-3	40 Gbps
ODU-4	100 Gbps
ODU-Flex	N x 1,25 Gbps

Contrairement au multiplexage SDH qui manipule des conteneurs granulaires de l'ordre du Mbps (VC-12/3/4), le multiplexage OTN gère des conteneurs granulaires de l'ordre du Gbps. Il existe aussi des conteneurs flexibles qui peuvent s'adapter à n'importe quel débit d'un signal client. En effet, lorsqu'un signal client ne correspond pas exactement à un ODU_k standardisé (ODU-0/1/2/3/4), il peut être mappé dans un certain nombre de slots à 1,25 Gbps dans le domaine ODU, formant ainsi un Conteneur appelé ODU-Flex. Cette technique élimine la possibilité d'avoir des conteneurs ODU_k sous-utilisés et évite toute perte significative de la bande passante. Le concept d'ODU-Flex est principalement mis en place pour supporter les futurs signaux clients dont nous ne connaissons pas encore leurs débits

