

réseaux et télécommunications

Les réseaux synchrones étendus PDH et SDH

Gérard Bouyer

HERMES

Table des matières

Chapitre 1. Introduction	19
1.1. Présentation générale de l'ouvrage	19
1.2. Les évolutions des besoins en transmission de données	21
1.2.1. La croissance générale	22
1.2.2. Les entreprises	22
1.2.3. Les particuliers	23
1.3. Les impératifs du transport à longue distance	24
1.4. Le schéma général	26
1.5. Considérations générales	29
1.5.1. Le débit constant et la bande passante	29
1.5.2. Le débit variable et la bande passante	30
1.5.3. Les retards ou délais de transmissions	31
1.5.4. Adressages	32
1.5.5. Fiabilité du transport et sécurités	33
1.5.6. Définitions temporelles des signaux et débits	33
1.5.6.1. Définitions temporelles des signaux	33
1.5.6.2. Définitions temporelles des débits	34
1.5.7. Caractéristiques, critères de définitions	35
1.5.8. Les réseaux synchrones actuels	39
1.5.8.1. Hiérarchie Numérique Plésiochrone	39
1.5.8.2. Hiérarchie Numérique Synchrone	39
1.5.8.3. Pour mémoire : ATM	40
1.6. La normalisation	40
1.6.1. Équipements terminaux	40
1.6.2. Réseaux numériques	41
1.6.3. Sections numériques et systèmes de lignes numériques	41
1.6.4. Principales normes utilisées dans l'ouvrage	41
1.6.5. Remarque générale	42

Chapitre 2. Principes et mécanismes généraux	43
2.1. Organisation générale des données	43
2.2. Equilibrage des débits et délais de transmissions	44
2.3. Circuit type de transport, multiplexage-démultiplexage	45
2.3.1. Définitions	45
2.3.2. Multiplexage bit à bit	46
2.3.3. Multiplexage octet par octet	47
2.3.4. Multiplexage nominal	48
2.3.5. Multiplexage de canaux affluents synchrones à vitesses multiples	48
2.3.6. Multiplexeur à insertion-extraction	49
2.4. Répartition et brassage	50
2.4.1. Répartition	50
2.4.2. Brassage	51
2.4.3. Brassage bidirectionnel	51
2.4.4. La schématisation	51
2.4.5. Brassage numérique	53
2.4.6. Brasseur avec insertion-extraction	53
2.4.7. L'utilisation du multiplexage en longueur d'onde sur fibre optique	55
2.5. Représentation et identification des blocs et ensembles de données	55
2.5.1. Représentation linéaire	55
2.5.1.1. Module simple	55
2.5.1.2. Multiplexage de 4 modules	55
2.5.2. Représentation en plan	56
2.5.2.1. Principe	56
2.5.2.2. Multiplexage en mode plan de 3 modules	56
2.5.3. Représentation en perspective	59
2.5.3.1. Méthode	59
2.5.3.2. Représentation, en SDH, de 4 AUG en 4 profondeurs	60
2.5.3.3. Représentation, en SDH, d'un groupe d'affluents TUG-2 en 3 profondeurs	61
2.5.4. Calcul du n° d'un octet en fonction de sa position dans la représentation	61
2.6. Détection des trames en réception, verrouillages	64
2.6.1. Définitions	64
2.6.2. Dispositifs particuliers	64
2.6.2.1. Le brouillage	64
2.6.2.2. Utilisation de plusieurs marqueurs	64
2.6.2.3. Marqueur calculé à chaque trame	65
2.7. Maîtrise et adaptation des débits en transmissions numériques et en multiplexages	66
2.7.1. Différences des horloges	66

2.7.2. Altérations sur une horloge	66
2.7.3. Déphasages	67
2.7.4. Débits différents	67
2.7.5. Les solutions physiques	68
2.7.5.1. Suppression de la gigue	68
2.7.5.2. Lissage des fréquences	69
2.7.5.3. Mémoires tampons (buffers)	70
2.7.5.4. Régulation de rythme sur les signaux de sortie	70
2.7.5.5. Remarque sur l'organisation des données	71
2.7.5.6. Autres difficultés	71
2.7.5.7. Les dispositifs à fréquence propre	72
2.7.6. Les dispositifs à justification	73
2.7.6.1. Bases et principes	73
2.7.6.2. Justification au niveau bit	73
2.7.6.3. Justification dans les multiplexeurs	76
2.7.6.4. Justifications négative et positive ; sous-débits et surdébits ..	77
2.7.6.5. Considérations diverses	79
2.7.6.6. Dispositifs à vote	79
2.7.6.7. Dispositifs séquentiels de sécurité	79
2.7.7. Les adaptations par décalage des données transportées dans le multiplex (SDH)	80
2.7.7.1. Définitions	80
2.7.7.2. Alignement (glissement) des blocs avec justifications	81
2.8. Le sous-multiplexage	83
2.8.1. Calcul du débit des voies en multitrame	84
2.9. La concaténation	85
2.10. Protections contre les erreurs de transmission	87
2.10.1. Utilisation de procédures de contrôle (CRC)	87
2.10.1.1. Rappels sur contrôle CRC	87
2.10.1.2. Particularités	88
2.10.2. Bit de parité B dit : BIP-x	89
2.10.3. Dispositifs de secours (équipements et éléments de réseaux) ...	91
2.10.3.1. Protection 1 + 1	91
2.10.3.2. Commutations unilatérale et bilatérale	92
2.10.3.3. Protection 1 : 1	92
2.10.3.4. Protection m : n	93
2.11. Conclusion	93
Chapitre 3. Éléments constitutifs des réseaux	95
3.1. Introduction, rappels	95
3.1.1. Réseaux publics	95
3.1.2. Topologies de base	96
3.2. Principales définitions et terminologie	98

3.2.1. Abréviations	98
3.2.2. Définitions générales	98
3.2.3. Terminologie des réseaux en couches	101
3.3. Les réseaux en couches	102
3.3.1. Relations	102
3.3.2. Les principaux composants	103
3.3.3. Sous-réseau	104
3.3.4. La couche multiplexage en longueur d'onde	105
3.3.5. Résumé	106
3.4. Mode client-serveur	106
Chapitre 4. La hiérarchie numérique plésiochrone : PDH	109
4.1. Introduction	109
4.1.1. Généralités	109
4.1.2. Définitions de base	110
4.1.2.1. Trames et multitrames	110
4.1.2.2. Verrouillages	110
4.1.2.3. Trames de base	112
4.1.2.4. Trames multivoies	112
4.1.2.5. Trames multivoies de débits supérieurs aux débits primaires 1 544 et 2 048 kb/s	113
4.2. Présentation générale	113
4.2.1. Définitions des débits, tableaux récapitulatifs	113
4.2.2. Structures des trames de base utilisées, tableaux récapitulatifs ...	115
4.2.3. Recommandations de référence	117
4.2.3.1. Multiplexages primaires (TN1)	117
4.2.3.2. Multiplexages du 2ème ordre (TN2)	118
4.2.3.3. Multiplexages du 3ème et 4ème ordre (TN3, TN4)	118
4.3. Caractéristiques et architectures des trames	119
4.3.1. Les trames de base	119
4.3.1.1. Trame de base à 1 544 kb/s	119
4.3.1.2. Trame de base à 6 312 kb/s	123
4.3.1.3. Trame de base à 2 048 kb/s	123
4.3.1.4. Trame de base à 8 448 kb/s	125
4.3.1.5. Trame de base à 44 736 kb/s	125
4.3.2. Les trames multivoies	127
4.3.2.1. Trame multivoies à 1 544 kb/s	127
4.3.2.2. Trame multivoies à 6 312 kb/s	128
4.3.2.3. Trame multivoies à 2 048 kb/s	130
4.3.2.4. Trame multivoies à 8 448 kb/s	133
4.4. Les dispositifs de multiplexages primaires (1er ordre)	135
4.4.1. Multiplexage de canaux téléphoniques MIC	135
4.4.1.1. Équipement à 2 048 kb/s G.732.	135

4.4.1.2. Équipement à 1 544 kb/s G.733.....	135
4.4.1.3. Équipement pour l'accès numérique synchrone à 384 kb/s et/ou 64 kb/s	135
4.4.2. Multiplexage de canaux numériques	136
4.4.2.1. Équipement à 1 544 kb/s. G.734.....	136
4.4.2.2. Équipement à 2 048 kb/s. G.736.....	136
4.5. Les multiplexages du 2 ^{ème} ordre (TN2)	137
4.5.1. Rappels, les réseaux du type plésiochrone	137
4.5.2. Multiplexage de canaux téléphoniques MIC	138
4.5.2.1. 8 448 kb/s par 4 x 2 048 kb/s	138
4.5.2.2. 6 312 kb/s par 4 x 1 544 kb/s	140
4.5.3. Multiplexage de canaux numériques	140
4.5.3.1. 8 448 kb/s par 4 x 2 048 kb/s, justification positive	140
4.5.3.2. 6 312 kb/s par 4 x 1 544 kb/s, justification positive	143
4.5.3.3. 6 312 kb/s par 3 x 2 048 kb/s, justification positive	146
4.5.3.4. 8 448 kb/s par 4 x 2 048 kb/s, justification positive et négative	147
4.6. Les multiplexages du 3 ^e et du 4 ^e ordre (TN3, TN4)	149
4.6.1. Éléments issus du débit primaire 2 048 kb/s	149
4.6.1.1. Niveau 3 : 34 368 kb/s	149
4.6.1.2. Niveau 4 : 139 264 kb/s	151
4.6.2. Éléments issus du débit primaire 1 544 kb/s	154
4.6.2.1. Niveau 3 : 32 064 kb/s avec 5 affluents à 6 312 kb/s	154
4.6.2.2. Niveau 3 : 44 736 kb/s avec 7 affluents à 6 312 kb/s	155
4.6.2.3. Niveau 4 : 97 728 kb/s avec 3 affluents à 32 064 kb/s	157
4.7. Considérations finales	157
4.7.1. Données de service	157
4.7.2. Rendement	159
4.7.3. Augmentation du nombre de multiplexages	159
4.7.4. Remarque générale	160
Chapitre 5. La hiérarchie numérique synchrone : SDH	161
5.1. Introduction	161
5.1.1. Généralités et avantages	161
5.1.2. Définitions et terminologies	163
5.1.2.1. Principales abréviations	163
5.1.2.2. Principales définitions	164
5.1.2.3. Interfaces de nœuds de réseau	166
5.1.2.4. Remarques générales sur la terminologie et certains termes employés	168
5.1.3. Description générale, panorama, tableaux récapitulatifs	169
5.1.4. Analyse de l'organisation générale	171
5.2. Principes et mécanismes généraux	173

5.2.1. La trame de transport	173
5.2.2. Le schéma de base	174
5.2.3. Échanges d'informations de service (surdébit)	174
5.2.4. Le dispositif d'identification des chemins et des liaisons	175
5.2.4.1. Contrôle d'erreurs et verrouillage ; adresses	175
5.2.4.2. Les octets d'adresses en SDH : J0, J1 et J2	176
5.3. Mise en correspondance ou projection (mapping) ; incorporation des affluents	176
5.3.1. Mise en correspondance asynchrone	177
5.3.2. Mise en correspondance synchrone de bits ou d'octets	178
5.3.3. Incorporation des conteneurs virtuels dans des unités d'affluents TU	178
5.4. Les flux transmis par les conteneurs VC-1 et VC-2	179
5.4.1. Les conteneurs d'accès	179
5.4.2. Fonctions des octets de surdébit (service) des VC-LO (VC-1 et VC-2)	180
5.4.2.1. Indication d'alarme	180
5.4.2.2. Définition de V5	180
5.4.2.3. Définition de J2	182
5.4.2.4. Définition de N2	182
5.4.2.5. Définition de K4	182
5.4.3. Les conteneurs virtuels VC-1	183
5.4.3.1. Le conteneur virtuel VC-11	183
5.4.3.2. Le conteneur virtuel VC-12	186
5.4.4. Le conteneur virtuel VC-2	188
5.4.5. Autres représentations des conteneurs et éléments de contenance	191
5.4.6. Les unités d'affluents TU d'ordre bas	191
5.4.6.1. TU de base ; Présentation	191
5.4.6.2. Définition générale	192
5.4.6.3. Description	192
5.4.6.4. Multitrames, fonctionnement	194
5.4.6.5. Définitions de V1 à V4, le pointeur de décalage de l'élément flottant	196
5.4.6.6. Un exemple détaillé : l'unité d'affluent TU-11	198
5.4.6.7. Unités d'affluents TU-12 et TU-2	200
5.4.6.8. Les concaténations	200
5.4.7. Le groupe d'affluents TUG-2	201
5.4.7.1. Composition et définition	201
5.4.7.2. Exemple avec des TU-11	202
5.5. Les flux transmis par les conteneurs VC-3 et VC-4	204
5.5.1. Indications d'alarme	204
5.5.2. Les conteneurs d'accès	205

5.5.3. Définitions des surdébits (POH) dans les VC-HO	205
5.5.4. Fonctions des octets de service des VC-3 et 4	205
5.5.4.1. Octet J1	205
5.5.4.2. Octet B3	206
5.5.4.3. Rôles de B3 et de G3, procédure de gestion des erreurs	207
5.5.4.4. Octet C2	210
5.5.4.5. Octet G1	211
5.5.4.6. Octets F2 et F3	211
5.5.4.7. Octet H4	212
5.5.4.8. Octet K3	214
5.5.4.9. Octet N1	214
5.5.5. Le conteneur VC-3	215
5.5.5.1. VC-3 incorporant C-3 sur affluents à 44,736 Mb/s (T3/DS-3)	215
5.5.5.2. VC-3 incorporant C-3 sur affluents à 34,368 Mb/s (TN3)	216
5.5.5.3. VC-3 incorporant 7 x TUG-2	218
5.5.5.4. Identification des TU constituant un VC supérieur	219
5.5.6. Les pointeurs de TU-3, AU-3 et d'AUG (trame STM)	220
5.5.7. L'unité d'affluent TU-3	221
5.5.7.1. Définition	221
5.5.7.2. Incorporation de VC-3 d'ordre inférieur	221
5.5.8. Le groupe d'unités d'affluents TUG-3	222
5.5.8.1. TUG-3 recevant un TU-3	222
5.5.8.2. TUG-3 incorporant 7 x TUG-2	222
5.5.9. Le conteneur VC-4	223
5.5.9.1. Généralités	223
5.5.9.2. VC-4 recevant C-4	223
5.5.9.3. VC-4 incorporant C-4 sur affluent à 139,264 Mb/s	224
5.5.9.4. VC-4 recevant des TUG-3 issus de TU-3	225
5.5.9.5. VC-4 recevant des TUG-3 contenant chacun 7 x TUG-2 multiplexés	226
5.5.10. Le groupe d'unités administratives AUG	227
5.5.11. L'unité administrative AU-3 et son incorporation dans AUG	227
5.5.12. L'unité administrative AU-4 et son incorporation dans AUG	228
5.5.13. Les dispositifs de concaténations	229
5.5.14. Récapitulatif général	230
5.6. Les trames de transport STM	230
5.6.1. Présentation et débits standards	230
5.6.2. Incorporation des éléments constituants	232
5.6.3. Description générale	234
5.6.3.1. Présentation du module de base STM-1	234
5.6.3.2. Circuits concernés par la STM	234
5.6.3.3. Présentation, surdébit STM-1	235

5.6.4. Fonctions et octets de surdébit	235
5.6.4.1. Signaux d'alarme	236
5.6.4.2. Section de régénération, RSOH	236
5.6.4.3. Ensemble pointeur d'AUG	239
5.6.4.4. Section de multiplexage, MSOH	239
5.6.4.5. Fonctionnalités réduites	243
5.6.5. Trames à débits supérieurs au module de base	244
5.6.5.1. Surdébit STM-4	246
5.6.5.2. Calcul du n° d'un octet en fonction de sa position	247
5.6.6. Récapitulatif général de tous les octets de service	250
5.6.7. Les circuits concernés	250
5.6.8. Repérages et identifications des éléments constitutants	253
5.7. Concaténations, débits multiples	259
5.7.1. Principe	259
5.7.2. Méthode	259
5.7.3. Indication de concaténation dans les TU-1 et 2 (VC-1 et 2)	260
5.7.3.1. Concaténation de VC-2	260
5.7.4. Indication de concaténation dans les TU 3 et AU-n (VC-3 et 4) ..	262
5.7.5. Représentation de concaténations en VC-4-mc	263
5.8. Possibilités de transport, affluents et débits admissibles	263
5.8.1. Panorama général	263
5.8.2. Calculs des possibilités de transport	264
5.8.3. Compléments	264
5.8.4. Accueil de charge utile Sonet	265
5.8.5. Panorama des débits disponibles par concaténations	265
5.9. Le mode tandem	267
5.9.1. Introduction, surveillance d'un segment	267
5.9.2. Base	268
5.9.3. Les éléments de réseaux concernés	269
5.9.4. Les options	270
5.9.4.1. Points communs	270
5.9.4.2. Annexe C de la G.707	272
5.9.4.3. Annexe D de la G.707	275
5.10. Le transport de l'ATM	276
5.10.1. Mappage de cellules ATM	276
5.10.2. Mappage dans un VC-4-mc	277
5.10.3. Autres mappages	278
5.11. Transport de cellules de réseaux DQDB	278
5.12. Organisation principale des flux de données en SDH	278
5.13. Conclusions	279

Chapitre 6. Sonet, le réseau optique synchrone	281
6.1. Introduction	281
6.2. Définition des débits	282
6.3. Montage de base	282
6.4. La trame STS-1	283
6.5. Trames de niveau STS-3 et supérieurs	284
6.5.1. Identification des octets	284
6.5.2. Trames de niveaux supérieurs	286
6.5.3. Fonctions des Octets de service TOH	286
6.5.3.1. Section de régénération	287
6.5.3.2. Pointeur de SPE (AUG)	288
6.5.3.3. Section de multiplexage	288
6.6. Les composants de la STS	289
6.7. Concaténations	290
6.8. Remarque générale	290
Chapitre 7. Architectures des réseaux et dispositifs de protection	291
7.1. Considérations générales	291
7.2. Terminologies et définitions	293
7.2.1. Abréviations	293
7.2.2. Définitions	295
7.3. Introduction	300
7.4. La structure en anneau	302
7.4.1. Éléments constitutifs	302
7.4.1.1. Composition	302
7.4.1.2. Anneau monofibre	303
7.4.1.3. Anneaux à plusieurs fibres	303
7.4.2. Trafic sur anneau	304
7.5. La structure en maille	306
7.6. Éléments généraux	307
7.6.1. Récapitulatif des octets de service	307
7.6.2. Points de contrôle pour la protection	307
7.6.3. Protections générales envisagées	309
7.6.4. La structure en anneau en protection	310
7.6.5. Les différents routages	311
7.7. Types de protection	313
7.7.1. Protection 1 + 1	313
7.7.2. Protection 1 : 1	315
7.7.3. Protection m : n	317
7.7.4. Commutation unilatérale	318
7.7.5. Commutation bilatérale	320
7.7.6. Commutation d'anneau, (anneau à 2 fibres)	320
7.7.7. Commutation d'arc, (anneau à 4 fibres)	321

7.7.8. Les secours au niveau des nœuds	322
7.7.9. Les modes réversibles et irréversibles	323
7.8. Considérations relatives aux applications	324
7.8.1. Anneaux à protection partagée de section de multiplexage (MS-SPRING)	324
7.8.2. Anneaux à protection partagée de section de multiplexage en application transocéanique	325
7.8.3. Anneaux à protection dédiée de section de multiplexage (MS-DPRING)	326
7.8.4. Protection d'arc d'un chemin de conteneurs virtuels	326
7.8.5. Protection d'une connexion de sous-réseau (SNC)	326
7.8.6. Protection d'un arc de section de multiplexage	327
7.9. Protection d'un chemin SDH	327
7.9.1. Anneau à protection partagée de section de multiplexage	327
7.9.1.1. Anneau à 4 fibres	327
7.9.1.2. Anneau à 2 fibres	328
7.9.2. Caractéristiques principales de ce type de protection	332
7.9.3. Les principales commandes	334
7.9.4. Fonctions des octets K1 et K2 en commutation d'anneau	335
7.9.5. Description générale	336
7.9.6. Les états des nœuds en secours	339
7.10. Protection d'arc d'un chemin de conteneur virtuel	340
7.11. Protection de section de multiplexage	342
7.11.1. Fonctions des octets K1 et K2	342
7.11.1.1. Octet K1	343
7.11.1.2. Octet K2	343
7.12. Protection de connexion de sous-réseau	347
7.12.1. Points d'accès	347
7.12.2. Protection de sous-réseaux en cascade	348
7.12.2.1. Interconnexion uninodale (en nœud unique)	348
7.12.2.2. Interconnexion binodale à anneau virtuel	349
7.12.2.3. Interconnexion binodale à extraction-diffusion	350
7.12.2.4. La surveillance de la qualité de transmission dans un sous-réseau	351
7.12.2.5. Résumé	351
7.13. La restauration	352
7.13.1. Réseau maillé	352
7.13.2. Caractéristiques générales	353
7.14. Indicateur d'évolution de charge	354
7.15. Conclusion	354
Chapitre 8. Horloges et synchronisations	355
8.1. Introduction	355

8.2. Principes	356
8.3. Organisation et classement des horloges	356
8.4. Organisation des rythmes dans les circuits en anneaux	358
8.5. Particularités	359
8.6. Récapitulatif	360
Chapitre 9. La gestion de la SDH	363
9.1. Introduction	364
9.1.1. Principes et normalisation.	364
9.1.2. Liaisons et principaux travaux	367
9.1.3. Modélisation des présentations	368
9.2. Terminologie	368
9.2.1. Abréviations	369
9.2.2. Définitions	371
9.3. Organisation générale	372
9.3.1. Structure de base	372
9.3.2. Configuration générale et modélisation	373
9.3.3. Introduction aux principales transmissions utilisées	376
9.3.3.1. Le protocole Q	376
9.3.3.2. Les canaux de commande ECC	379
9.4. Supervision technique	382
9.4.1. Alarmes	382
9.4.2. Indications de défaillances	382
9.4.3. Qualités de fonctionnement	383
9.5. Remarque générale	384
Chapitre 10. Les éléments techniques remarquables et leurs évolutions ...	387
10.1. Les câbles longue distance	387
10.1.1. Le milieu d'accueil	387
10.1.2. Les câbles sous-marins	388
10.2. L'optique de référence et les circuits associés	389
10.2.1. Rappels	389
10.2.1.1. Principaux types de fibres	390
10.2.1.2. Modulations	390
10.2.1.3. Régénérateur	391
10.2.1.4. L'amplification optique	391
10.2.1.5. La sécurité	392
10.3. Les nouvelles techniques	392
10.3.1. Le multiplexage en longueur d'onde	392
10.3.1.1. Principe	393
10.3.1.2. Nouvelle couche réseau	394
10.3.1.3. Mécanismes optiques	394
10.3.1.4. Chemins virtuels	395

11.5.2. Principales caractéristiques	429
11.6. L'opérateur British Telecom	431
11.6.1. Généralités	431
11.6.2. Coup d'œil sur la vision BT	432
11.6.3. Interfaces SDH	433
11.7. L'opérateur France Telecom	433
11.7.1. Généralités	433
11.7.2. Terminologie utilisée	434
11.7.3. Organisation générale	434
11.7.3.1. Compositions des architectures	434
11.7.3.2. Schéma général, analyse	435
11.7.3.3. Réseaux de transmission intra-ZAA	437
11.7.3.4. Sous-réseaux de desserte	438
11.8. Conclusion	438
 Glossaire	 441
Bibliographie	451
Index	455