

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.667

(12/2006)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

Caractéristiques des supports de transmission et des
systèmes optiques – Caractéristiques des composants
et sous-systèmes optiques

Caractéristiques des compensateurs adaptatifs de dispersion chromatique

Recommandation UIT-T G.667

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION ET DES SYSTÈMES OPTIQUES	G.600–G.699
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.639
Systèmes optiques en espace libre	G.640–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.679
Caractéristiques des systèmes optiques	G.680–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

Recommandation UIT-T G.667

Caractéristiques des compensateurs adaptatifs de dispersion chromatique

Résumé

La Recommandation UIT-T G.667 contient les paramètres et les définitions se rapportant aux compensateurs adaptatifs de dispersion chromatique. Ces dispositifs sont nécessaires pour la transmission et la détection des signaux optiques dans un système produisant d'importantes variations dynamiques de la dispersion chromatique, qui perturberaient autrement le fonctionnement du système. Sont décrits dans la présente Recommandation les compensateurs adaptatifs de dispersion de ligne monocanal et multicanal, ainsi que les émetteurs-compensateurs et récepteurs-compensateurs adaptatifs de dispersion monocanal et multicanal pouvant intégrer des formes de compensation électrique ou optique de la dispersion chromatique. On trouvera dans les appendices informatifs des informations sur l'implémentation de la compensation adaptative de la dispersion chromatique monocanal et multicanal, ainsi que sur les principes de la compensation adaptative de la dispersion.

Source

La Recommandation UIT-T G.667 a été approuvée le 14 décembre 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2008

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives.....	1
2.1 Références normatives.....	1
3 Termes et définitions	2
3.1 Termes définis ailleurs	2
3.2 Termes définis dans la présente Recommandation	2
4 Abréviations.....	5
5 Configurations de référence.....	6
5.1 Compensateurs ADC de ligne	7
5.2 Émetteurs-compensateurs ADC	7
5.3 Récepteurs-compensateurs ADC.....	8
6 Paramètres des compensateurs ADC	9
Appendice I – Implémentation de compensateurs ADC monocanal et multicanal	15
I.1 Implémentation d'un compensateur ADC de ligne monocanal ou multicanal	15
I.2 Implémentation d'un émetteur-compensateur ADC monocanal.....	16
I.3 Implémentation d'un émetteur-compensateur ADC multicanal	17
I.4 Implémentation d'un récepteur-compensateur ADC monocanal.....	18
I.5 Implémentation d'un récepteur-compensateur ADC multicanal	20
Appendice II – Principes de la compensation adaptative de la dispersion (ADC)	22
II.1 Introduction	22
II.2 Applications avec compensation adaptative de la dispersion.....	22
II.3 Principes de la compensation adaptative de la dispersion.....	23
II.4 Surveillance de la dispersion chromatique	28
Bibliographie.....	32

Recommandation UIT-T G.667

Caractéristiques des compensateurs adaptatifs de dispersion chromatique

1 Domaine d'application

La présente Recommandation contient les paramètres et les définitions se rapportant aux compensateurs adaptatifs de dispersion chromatique nécessaires pour la transmission et la détection des signaux optiques dans un système produisant des variations dynamiques de la dispersion chromatique. Les compensateurs adaptatifs de dispersion décrits concernent aussi bien les applications monocanal que les applications multicanal. La présente Recommandation définit les spécifications ainsi que les paramètres fondamentaux des compensateurs adaptatifs de dispersion (ADC, *adaptive dispersion compensation*). La présente Recommandation établit la distinction entre les compensateurs adaptatifs de dispersion et les émetteurs-compensateurs et récepteurs-compensateurs adaptatifs de dispersion pouvant intégrer aussi bien des formes de compensation électrique que des formes de compensation optique de la dispersion chromatique.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

2.1 Références normatives

- [UIT-T G.650.2] Recommandation UIT-T G.650.2 (2005), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs se rapportant aux caractéristiques statistiques et non linéaires des fibres et câbles optiques monomodes.*
- [UIT-T G.652] Recommandation UIT-T G.652 (2005), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes.*
- [UIT-T G.653] Recommandation UIT-T G.653 (2006), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée.*
- [UIT-T G.654] Recommandation UIT-T G.654 (2006), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée.*
- [UIT-T G.655] Recommandation UIT-T G.655 (2006), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle.*
- [UIT-T G.656] Recommandation UIT-T G.656 (2006), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques à dispersion non nulle destinés au transport à large bande.*
- [UIT-T G.661] Recommandation UIT-T G.661 (2006), *Définition et méthodes de mesure des paramètres génériques relatifs aux dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques.*
- [UIT-T G.662] Recommandation UIT-T G.662 (2005), *Caractéristiques génériques des dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques.*

- [UIT-T G.665] Recommandation UIT-T G.665 (2005), *Caractéristiques génériques des amplificateurs Raman et des sous-systèmes à amplification Raman.*
- [UIT-T G.666] Recommandation UIT-T G.666 (2005), *Caractéristiques des compensateurs et récepteurs-compensateurs de dispersion modale de polarisation.*
- [UIT-T G.671] Recommandation UIT-T G.671 (2005), *Caractéristiques de transmission des composants et sous-systèmes optiques.*
- [UIT-T G.694.1] Recommandation UIT-T G.694.1 (2002), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueurs d'onde: grille dense DWDM.*

3 Termes et définitions

3.1 Termes définis ailleurs

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans [UIT-T G.671]:

- intervalle de fréquences d'une voie;
- affaiblissement d'insertion dans une voie;
- écart par rapport à l'affaiblissement d'insertion d'une voie;
- ondulation de phase;
- affaiblissement d'insertion;
- variation de l'affaiblissement en fonction de la polarisation;
- variation de la réflectance en fonction de la polarisation;
- dispersion des modes de polarisation.

La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans la Rec. UIT-T G.692;

- écart maximal par rapport à la fréquence centrale.

La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans la Rec. UIT-T G.698.1;

- excursion spectrale maximale.

3.2 Termes définis dans la présente Recommandation

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.2.1 émetteur-compensateur adaptatif de dispersion (ADC, *adaptive dispersion compensation*): émetteur optique contenant une fonctionnalité de compensation adaptative de la dispersion chromatique.

3.2.2 récepteur-compensateur adaptatif de dispersion (ADC, *adaptive dispersion compensation*): récepteur optique contenant une fonctionnalité de compensation adaptative de la dispersion chromatique.

3.2.3 paramètre de compensation de dispersion: ce paramètre dépend du type de dispositif compensateur de dispersion et décrit le niveau de qualité de compensation de dispersion que peut atteindre un compensateur ADC.

Dans le cas d'un émetteur-compensateur ADC, la qualité de transmission relative à la dispersion de l'émetteur-compensateur ADC peut être modifiée de manière adaptative en fonction de la variation de dispersion de la liaison de transmission optique sur laquelle l'émetteur fonctionne. Le paramètre de compensation de dispersion est la valeur d'adaptation de dispersion du signal de l'émetteur optique qui peut être atteinte par l'émetteur-compensateur ADC dans l'intervalle des fréquences d'un canal.

Dans le cas d'un compensateur ADC de ligne, la valeur de compensation de dispersion entre le port d'entrée et le port de sortie du compensateur ADC de ligne peut être modifiée de manière adaptative en fonction de la variation de dispersion de la liaison de transmission optique sur laquelle le compensateur ADC de ligne fonctionne. Le paramètre de compensation de dispersion est la valeur de compensation de dispersion entre le port d'entrée et le port de sortie qui peut être atteinte par le dispositif ADC de ligne dans l'intervalle des fréquences d'un canal.

Dans le cas d'un récepteur-compensateur ADC, la tolérance de dispersion du récepteur peut varier de manière adaptative en fonction de la valeur de dispersion résiduelle de la liaison de transmission optique. Le paramètre de compensation de dispersion est la valeur de dispersion résiduelle admissible du signal optique entrant dans le récepteur-compensateur ADC dans l'intervalle des fréquences d'un canal, pour un taux d'erreur sur les bits (BER, *bit error ratio*) se maintenant au-dessous de la limite spécifiée.

3.2.4 plage de réglage de compensation de la dispersion: différence entre la valeur maximale du paramètre de compensation de dispersion et la valeur minimale du paramètre de compensation de dispersion d'un dispositif compensateur ADC (mesurée en ps/nm).

3.2.5 temps de réglage de compensation de la dispersion: dans le cas d'un émetteur-compensateur ADC ou d'un compensateur ADC de ligne, il s'agit de la durée écoulée entre le début d'une variation du paramètre de compensation de dispersion et l'instant à partir duquel ce paramètre se maintient dans les limites de tolérance supérieure et inférieure spécifiées de la nouvelle valeur cible. Le temps de réglage est illustré sur la Figure 3-1.

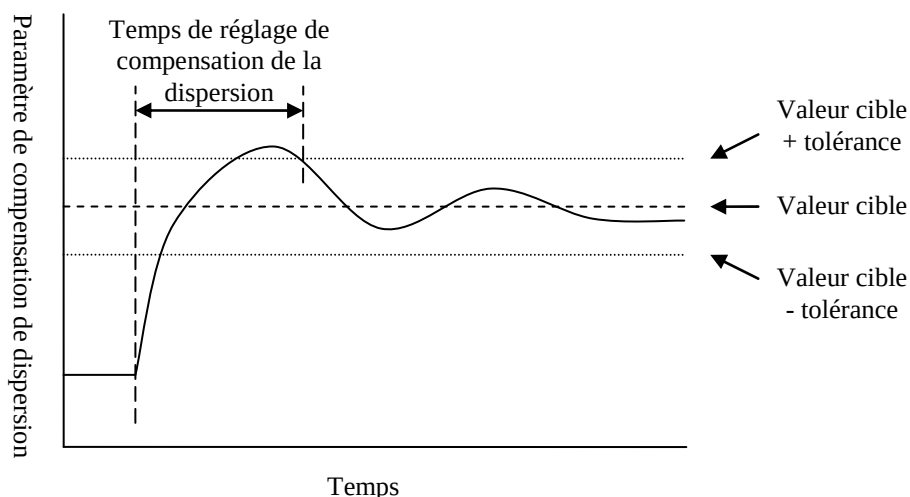


Figure 3-1 – Illustration du temps de réglage de compensation de dispersion pour un émetteur-compensateur ADC ou un compensateur ADC de ligne

Pour un émetteur-compensateur ADC, la tolérance spécifiée est l'erreur spécifiée de la valeur d'adaptation de dispersion.

Pour un compensateur ADC de ligne, la tolérance est l'erreur spécifiée de la valeur de compensation de la dispersion.

Pour un récepteur-compensateur ADC, le temps de réglage de compensation de la dispersion est la durée écoulée entre une variation brusque de la dispersion résiduelle du signal d'entrée et l'instant à partir duquel le taux d'erreur sur les bits (BER, *bit error ratio*) se maintient au-dessous de la limite spécifiée. Ce cas est illustré sur la Figure 3-2.

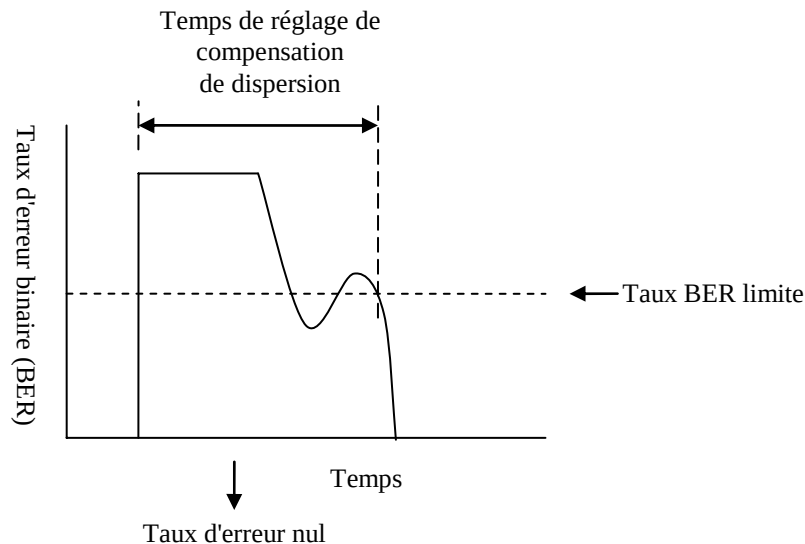


Figure 3-2 – Illustration du temps de réglage de compensation de la dispersion pour un récepteur-compensateur ADC

NOTE – Le temps de réglage dépendra de l'écart entre l'état de la valeur cible actuelle et l'état de la nouvelle valeur cible.

3.2.6 taux maximal de variation du paramètre de compensation de la dispersion: il s'agit du taux maximal de variation de la dispersion chromatique sur la liaison dans le temps, que le compensateur ADC permet de dûment compenser.

Ce paramètre dépend du type de dispositif de compensation de la dispersion.

Pour un émetteur-compensateur ADC ou un compensateur ADC de ligne, il s'agit de la valeur maximale du taux de variation de la dispersion chromatique sur la liaison dans le temps (en ps/nm/s) qui peut être compensée, tout en maintenant la dispersion résiduelle de la liaison dans les limites de tolérance spécifiées.

Pour un récepteur-compensateur ADC, il s'agit de la valeur maximale du taux de variation de la dispersion chromatique sur la liaison dans le temps (en ps/nm/s) qui peut être tolérée sans que la limite de BER spécifiée soit dépassée.

3.2.7 rapport minimal signal optique sur bruit: valeur du rapport signal optique sur bruit (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*) au point de l'interface MPI-R permettant d'atteindre le BER spécifié pour la dispersion résiduelle optimale de la liaison. Ce paramètre dépend du type de système optique.

Pour un système monocanal, il s'agit de la valeur minimale du rapport de la puissance du signal à la densité de puissance de bruit (rapportée à 0,1 nm) à la longueur d'onde du signal.

Pour un système multicanal, il s'agit de la valeur minimale du rapport de la puissance du signal dans le canal utile à la densité de puissance de bruit la plus élevée (rapportée à 0,1 nm) dans l'intervalle de fréquences défini par la fréquence centrale $\pm$ l'écart par rapport à la fréquence centrale ou l'excursion spectrale maximale.

3.2.8 dégradation du rapport OSNR due à la dispersion chromatique: différence entre la valeur du rapport signal optique sur bruit au point MPI-R permettant d'obtenir le BER spécifié lorsque la dispersion résiduelle sur la liaison est optimale et la valeur de ce même rapport pour la plus défavorable de toutes les valeurs spécifiées de la dispersion résiduelle sur la liaison.

3.2.9 sensibilité du récepteur-compensateur ADC: valeur de la puissance moyenne reçue au point MPI-R permettant d'obtenir le BER spécifié. Cette valeur doit être atteinte pour la valeur optimale de dispersion résiduelle sur la liaison avec un émetteur correspondant au cas le plus défavorable, mais n'a pas à être atteinte pour des dégradations du trajet optique autres que la dispersion.

3.2.10 dégradation de la sensibilité du récepteur-compensateur ADC due à la dispersion chromatique: différence entre la valeur de la puissance moyenne reçue au point MPI-R permettant d'obtenir le BER spécifié lorsque la dispersion résiduelle sur la liaison est optimale et la valeur de cette même puissance pour la plus défavorable de toutes les valeurs spécifiées de la dispersion résiduelle sur la liaison. Cette dégradation n'a pas à être atteinte pour des dégradations du trajet optique autres que la dispersion.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

ADC	compensateur adaptatif de dispersion (<i>adaptive dispersion compensation</i>)
ADC-Rx	récepteur-compensateur adaptatif de dispersion (<i>adaptive dispersion compensating receiver</i>)
ADC-Tx	émetteur-compensateur adaptatif de dispersion (<i>adaptive dispersion compensating transmitter</i>)
BER	taux d'erreur sur les bits (<i>bit error ratio</i>)
DEMUX	démultiplexeur
DFE	égaliseur récursif avec décision dans la boucle (<i>decision feedback equalization</i>)
EDC	compensation électrique de la dispersion (<i>electrical dispersion compensation</i>)
FBG	dispositif à fibre optique comprenant un réseau de Bragg (<i>fibre Bragg grating</i>)
FFE	égaliseur linéaire (<i>feed forward equalization</i>)
LADC	compensateur adaptatif de dispersion de ligne (<i>line adaptive dispersion compensator</i>)
M-ADC-Rx	récepteur-compensateur adaptatif de dispersion multicanal (<i>multichannel adaptive dispersion compensating receiver</i>)
M-ADC-Tx	émetteur-compensateur adaptatif de dispersion multicanal (<i>multichannel adaptive dispersion compensating transmitter</i>)
M-LADC	compensateur adaptatif de dispersion de ligne multicanal (<i>multichannel line adaptive dispersion compensator</i>)
MLSE	estimateur de la séquence de probabilité maximale (<i>maximum likelihood sequence estimation</i>)
MPI	interface principale sur le trajet (<i>main path interface</i>)
MUX	multiplexeur
NRZ	non-retour à zéro
OA	amplificateur optique (<i>optical amplifier</i>)
O-E-O	optique-électrique-optique (conversion) (<i>optical-electrical-optical</i>)
OSNR	rapport signal optique sur bruit (<i>optical signal-to-noise ratio</i>)

PDL	variation de l'affaiblissement en fonction de la polarisation (<i>polarization-dependent loss</i>)
PMD	dispersion modale de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
RZ	retour à zéro
S-ADC-Rx	récepteur-compensateur adaptatif de dispersion monocanal (<i>single-channel adaptive dispersion compensating receiver</i>)
S-ADC-Tx	émetteur-compensateur adaptatif de dispersion monocanal (<i>single-channel adaptive dispersion compensating transmitter</i>)
S-LADC	compensateur adaptatif de dispersion de ligne monocanal (<i>single-channel line adaptive dispersion compensator</i>)
VIPA	tableau cohérent d'images virtuelles (<i>virtually-imaged phased-array</i>)
VSF	bande latérale résiduelle (<i>vestigial sideband</i>)
WDM	multiplexage par répartition en longueurs d'onde (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Configurations de référence

Les compensateurs adaptatifs de dispersion (ADC, *adaptive dispersion compensation*) sont destinés à être utilisés pour réduire les dégradations des signaux induites par la dispersion dans les systèmes de transmission optiques avec variation de la dispersion dynamique. C'est pourquoi les caractéristiques des compensateurs ADC doivent être examinées – au moins en partie – avec un système de transmission complet.

Les compensateurs ADC sont appelés à être utilisés dans au moins deux applications:

la première application consiste à utiliser le compensateur ADC pour compenser les variations lentes de la dispersion sur la liaison dues aux effets de l'environnement, tels que la température. Cette application est dite à variation lente de la dispersion sur la liaison.

La deuxième application consiste à utiliser le compensateur ADC pour compenser les variations brusques de la dispersion sur la liaison dues à une opération de commutation ou à une autre opération de reconfiguration de la liaison de transmission. Cette application est dite à variation brusque de la dispersion sur la liaison.

Une configuration générale d'un système de transmission équipé d'un ou de plusieurs compensateurs ADC est représentée sur la Figure 5-1. Elle comprend un terminal émetteur, un terminal récepteur et, entre les deux, une liaison de transmission, tous trois associés à un ou plusieurs compensateurs ADC de ligne optionnels. Un système monocanal contient un terminal émetteur et un terminal récepteur monocanal, alors qu'un système multicanal contient un terminal émetteur et un terminal récepteur multicanal.

Dans les paragraphes qui suivent, la distinction est faite entre les compensateurs ADC de ligne (LADC) optiques et les émetteurs-compensateurs et récepteurs-compensateurs ADC. Une approche "boîte noire" est appliquée aux compensateurs ADC de ligne, aux émetteurs-compensateurs et récepteurs-compensateurs ADC. La supervision et le contrôle (le cas échéant) sont inclus dans la boîte noire. De plus amples précisions concernant les options d'implémentation de l'ensemble de ces dispositifs sont données dans l'Appendice I et la technologie sous-jacente utilisée dans ces dispositifs est exposée de façon détaillée dans l'Appendice II.

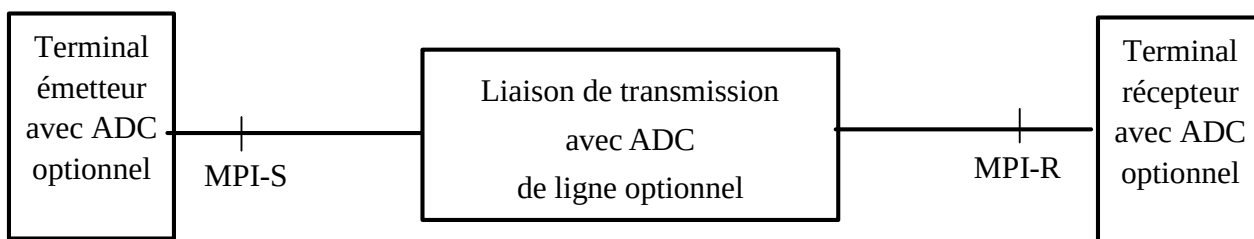


Figure 5-1 – Configuration générale d'un système de transmission équipé de compensateurs ADC

5.1 Compensateurs ADC de ligne

Les compensateurs ADC de ligne possèdent un port d'entrée et un port de sortie optiques et n'opèrent aucune conversion O-E-O du signal passant de l'un à l'autre. Un compensateur ADC de ligne monocanal (S-LADC, *single-channel line adaptive dispersion compensator*) traite un signal optique monocanal, alors qu'un compensateur ADC de ligne multicanal (M-LADC, *multichannel line adaptive dispersion compensator*) traite un signal optique multicanal. Ces deux types de compensateur sont représentés de façon schématique respectivement sur les Figures 5-2 et 5-3.



Figure 5-2 – Configuration de référence d'un compensateur ADC de ligne monocanal (S-LADC)



Figure 5-3 – Configuration de référence d'un compensateur ADC de ligne multicanal (M-LADC)

5.2 Émetteurs-compensateurs ADC

Dans le cas d'émetteurs-compensateurs ADC (ADC-Tx, *adaptive dispersion compensating transmitter*), la fonctionnalité ADC est intégrée dans la boîte noire de l'émetteur. Il existe plusieurs manières de réaliser des émetteurs-compensateurs ADC. On distingue les émetteurs-compensateurs ADC monocanal des émetteurs-compensateurs ADC multicanal.

Un émetteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Tx, *single-channel adaptive dispersion compensating transmitter*) est représenté schématiquement sur la Figure 5-4. Un signal optique monocanal sort du terminal récepteur au point de référence MPI-S.

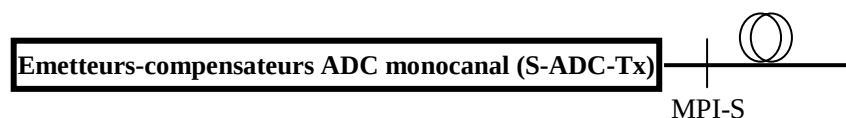


Figure 5-4 – Configuration de référence d'un émetteur-compensateur ADC monocanal

Un émetteur-compensateur ADC multicanal est représenté schématiquement sur la Figure 5-5. Un signal optique multicanal sort au point de référence MPI-S. Il y a un compensateur ADC avant le multiplexeur (MUX) et dans l'émetteur (Tx) pour les différents canaux optiques et/ou un compensateur ADC après le multiplexeur agissant sur le signal cumulé provenant de tous les émetteurs.

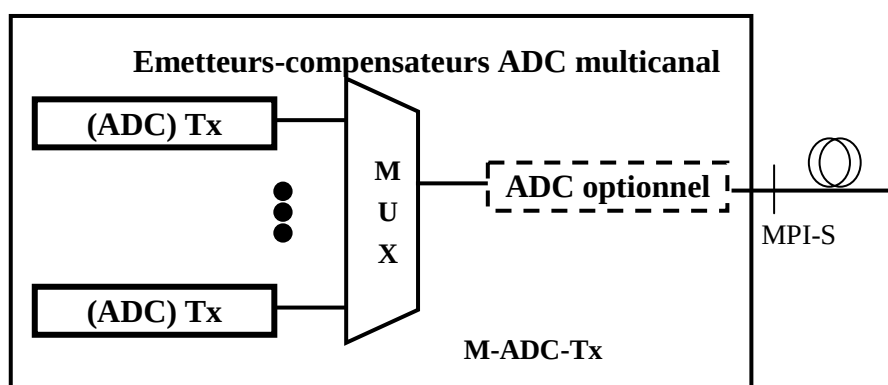


Figure 5-5 – Configuration de référence d'un émetteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Tx)

5.3 Récepteurs-compensateurs ADC

Dans le cas de récepteurs-compensateurs ADC (ADC-Rx, *adaptive dispersion compensating receiver*), la fonctionnalité ADC est intégrée dans la boîte noire du récepteur-compensateur. Il existe plusieurs manières de réaliser des récepteurs-compensateurs ADC. On distingue les récepteurs ADC monocanal des récepteurs ADC multicanal.

Un récepteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Rx, *single channel adaptive dispersion compensating receiver*) est représenté schématiquement sur la Figure 5-6. Un signal optique monocanal entre dans le récepteur-compensateur au point de référence MPI-R. Le signal est ensuite détecté avec la fonctionnalité ADC.



Figure 5-6 – Configuration de référence d'un récepteur-compensateur ADC monocanal

Un récepteur-compensateur ADC multicanal est représenté schématiquement sur la Figure 5-7. Un signal optique multicanal entre dans le terminal récepteur au point de référence MPI-R. La fonction ADC peut être exécutée après et/ou avant le démultiplexeur (DEMUX).

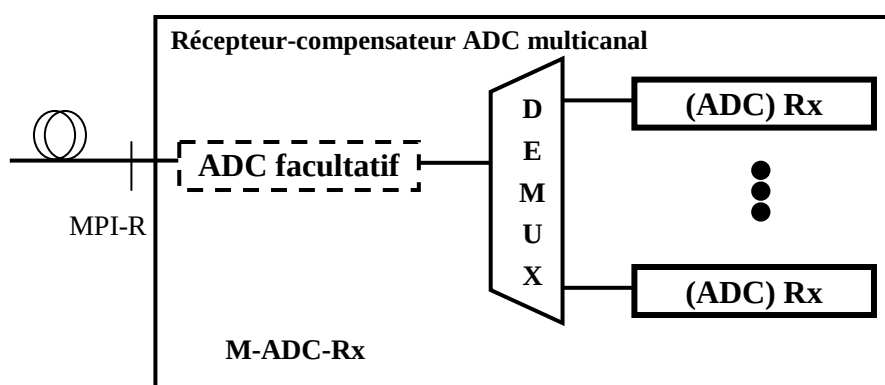


Figure 5-7 – Configuration de référence d'un récepteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Rx)

6 Paramètres des compensateurs ADC

Le présent paragraphe définit les paramètres des compensateurs ADC. Les paramètres qui sont communs à tous les types de compensateur ADC sont énumérés dans le Tableau 6-1. Des paramètres supplémentaires s'appliquant aux divers types de compensateurs ADC sont donnés dans les Tableaux 6-2 à 6-7.

Tableau 6-1 – Paramètres communs

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Type de fibre			
Type de fibre de ligne	MPI-S $\rightarrow$ R _S ou MPI-S $\rightarrow$ R _M ou S _S $\rightarrow$ MPI-R ou S _M $\rightarrow$ MPI-R ou MPI-S $\rightarrow$ MPI-R	–	G.652.A-D, G.653, G.654, G.655, G.656
Caractéristiques du signal optique			
Débit binaire minimal	R _S ou R _M ou MPI-S ou MPI-R	Gbit/s	
Débit binaire maximal	R _S ou R _M ou MPI-S ou MPI-R	Gbit/s	
Format de modulation (ou "format du signal")	R _S ou R _M ou MPI-S ou MPI-R	–	"Tout format", "seulement NRZ", "NRZ et RZ"
Paramètres indépendants de la dispersion du trajet optique précédent			
Dispersion des modes de polarisation accumulée maximale	R _S ou R _M ou MPI-R	ps	

Tableau 6-1 – Paramètres communs

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres relatifs à la dispersion			
Plage minimale de réglage de compensation de la dispersion	$R_S \rightarrow S_S$ ou $R_M \rightarrow S_M$ ou MPI-S ou MPI-R	ps/nm	
Temps maximal de réglage de compensation de la dispersion ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$ ou $R_M \rightarrow S_M$ ou MPI-S ou MPI-R	s	
Taux minimal de variation du paramètre de compensation de la dispersion ^{b)}	$R_S \rightarrow S_S$ ou $R_M \rightarrow S_M$ ou MPI-S or MPI-R	ps/nm/s	
^{a)} Ce paramètre doit être satisfait pour un compensateur ADC utilisé dans une application avec variation brusque de la dispersion sur la liaison. ^{b)} Ce paramètre doit être satisfait pour un compensateur ADC utilisé dans une application avec variation lente de la dispersion sur la liaison.			

Tableau 6-2 – Paramètres s'appliquant à un compensateur ADC de ligne monocanal (S-LADC)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres optiques monocanal généraux			
Fréquence optique centrale nominale	R_S	THz	
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ou excursion spectrale	R_S	GHz	
Paramètres relatifs à la puissance optique			
Puissance d'entrée minimale	R_S	dBm	
Puissance d'entrée maximale	R_S	dBm	
Affaiblissement minimal d'insertion (y compris un amplificateur optique optionnel) ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Affaiblissement maximal d'insertion (y compris un amplificateur optique optionnel) ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Ecart maximal de l'affaiblissement d'insertion (y compris un amplificateur optique optionnel) ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Réflectance maximale au port d'entrée	R_S	dB	
Variation maximale de la réflectance en fonction de la polarisation au port d'entrée	R_S	dB	
Variation maximale de l'affaiblissement en fonction de la polarisation (PDL)	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Dispersion modale de polarisation (PMD) maximale	$R_S \rightarrow S_S$	ps	

Tableau 6-2 – Paramètres s'appliquant à un compensateur ADC de ligne monocanal (S-LADC)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres relatifs à la dispersion			
Ondulation de phase maximale	$R_S \rightarrow S_S$	rad	
^{a)} Si le compensateur ADC de ligne inclut un amplificateur optique optionnel, des paramètres additionnels sont nécessaires. Pour plus de précisions, voir les Recommandations UIT-T G.661 et G.662.			

Tableau 6-3 – Paramètres s'appliquant à un compensateur ADC de ligne multicanal (M-LADC)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres optiques multicanal généraux			
Nombre maximal de canaux	R_M	–	
Fréquences centrales nominales des canaux	R_M	THz	191,9 + 0,2*m, m = 0 à 19
Espacement minimal des canaux	R_M	GHz	100, 200
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ou excursion spectrale	R_M	GHz	
Paramètres relatifs à la puissance optique			
Puissance d'entrée minimale par canal	R_M	dBm	
Puissance d'entrée maximale par canal	R_M	dBm	
Affaiblissement minimal d'insertion par canal (y compris un amplificateur optique optionnel) ¹⁾	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Affaiblissement maximal d'insertion par canal (y compris un amplificateur optique optionnel) ^{a)}	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Ecart maximal de l'affaiblissement d'insertion par canal (y compris un amplificateur optique optionnel) ^{a)}	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Réflectance maximale au port d'entrée	R_M	dB	
Variation maximale de la réflectance en fonction de la polarisation au port d'entrée	R_M	dB	
Dispersion modale de polarisation (PMD) maximale	$R_M \rightarrow S_M$	ps	
Variation maximale de l'affaiblissement en fonction de la polarisation (PDL)	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Paramètres relatifs à la dispersion			
Ondulation de phase maximale par canal	$R_M \rightarrow S_M$	rad	
^{a)} Si le compensateur ADC de ligne inclut un amplificateur optique optionnel, des paramètres additionnels sont nécessaires. Pour plus de précisions, voir les Recommandations UIT-T G.661 et G.662.			

Tableau 6-4 – Paramètres s'appliquant à un émetteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Tx)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres optiques monocanal généraux			
Fréquence optique centrale nominale	MPI-S	THz	
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ou excursion spectrale	MPI-S	GHz	
Paramètres relatifs à la puissance optique			
Puissance de sortie minimale	MPI-S	dB	
Puissance de sortie maximale	MPI-S	dB	
Affaiblissement d'adaptation maximal au port de sortie	MPI-S	dB	

Tableau 6-5 – Paramètres s'appliquant à un émetteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Tx)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres optiques multicanal généraux			
Nombre maximal de canaux	MPI-S	–	
Fréquences centrales nominales des canaux	MPI-S	THz	191,9 + 0,2*m, m = 0 à 19
Espacement minimal des canaux	MPI-S	GHz	100, 200
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ou excursion spectrale	MPI-S	GHz	
Paramètres relatifs à la puissance optique			
Puissance de sortie minimale par canal	MPI-S	dBm	
Puissance de sortie maximale par canal	MPI-S	dBm	
Affaiblissement d'adaptation maximal au port de sortie	MPI-S	dB	

Tableau 6-6 – Paramètres s'appliquant à un récepteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Rx)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres optiques monocanal généraux			
Fréquence optique centrale nominale	MPI-R	THz	
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ou excursion spectrale	MPI-R	GHz	
Paramètres relatifs à la puissance optique			
Puissance d'entrée minimale	MPI-R	dBm	
Puissance d'entrée maximale	MPI-R	dBm	

Tableau 6-6 – Paramètres s'appliquant à un récepteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Rx)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Réflectance maximale au port d'entrée	MPI-R	dB	
Variation maximale de la réflectance en fonction de la polarisation au port d'entrée	MPI-R	dB	
Paramètres du système de transmission monocanal			
Dégradation maximale du rapport OSNR due à la dispersion chromatique ^{a)}	MPI-R	dB	
Rapport minimal signal optique sur bruit ^{a)}	MPI-R	dB	
Dégradation maximale de la sensibilité du récepteur-compensateur ADC due à la dispersion chromatique ^{b)}	MPI-R	dB	
Sensibilité minimale du récepteur-compensateur ADC ^{b)}	MPI-R	dBm	
^{a)} Ces paramètres doivent être satisfaits pour un récepteur-compensateur ADC utilisé sur une liaison comportant des amplificateurs. ^{b)} Ces paramètres doivent être satisfaits pour un récepteur-compensateur ADC utilisé sur une liaison sans amplificateurs.			

Tableau 6-7 – Paramètres s'appliquant à un récepteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Rx)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Paramètres optiques multicanal généraux			
Nombre maximal de canaux	MPI-R	–	
Fréquences centrales nominales des canaux	MPI-R	THz	191,9 + 0,2*m, m = 0 à 19
Espacement minimal des canaux	MPI-R	GHz	100, 200
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ou excursion spectrale	MPI-R	GHz	
Paramètres relatifs à la puissance optique			
Puissance d'entrée minimale par canal	MPI-R	dBm	
Puissance d'entrée maximale par canal	MPI-R	dBm	
Réflectance maximale au port d'entrée	MPI-R	dB	
Variation maximale de la réflectance en fonction de la polarisation au port d'entrée	MPI-R	dB	
Paramètres du système de transmission multicanal s'appliquant à chaque canal			
Dégradation maximale du rapport OSNR due à la dispersion chromatique ^{a)}	MPI-R	dB	
Rapport minimal signal optique sur bruit ^{a)}	MPI-R	dB	

Tableau 6-7 – Paramètres s'appliquant à un récepteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Rx)

Paramètres	Point de référence	Unité	Exemples (uniquement pour illustrer des applications particulières)
Dégradation maximale de la sensibilité du récepteur-compensateur ADC due à la dispersion chromatique, par canal ^{b)}	MPI-R	dB	
Sensibilité minimale du récepteur-compensateur ADC, par canal ^{b)}	MPI-R	dBm	
^{a)} Ces paramètres doivent être satisfaits pour un récepteur-compensateur ADC utilisé sur une liaison comportant des amplificateurs. ^{b)} Ces paramètres doivent être satisfaits pour un récepteur-compensateur ADC utilisé sur une liaison sans amplificateurs.			

Appendice I

Implémentation de compensateurs ADC monocanal et multicanal

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

I.1 Implémentation d'un compensateur ADC de ligne monocanal ou multicanal

Il est possible de réaliser un compensateur ADC de ligne monocanal (représenté de façon générique sur la Figure 5-2) ou un compensateur ADC de ligne multicanal (représenté de façon générique sur la Figure 5-3) selon différents modes d'implémentation. Une option de compensateur ADC de ligne, utilisant un compensateur réglable de la dispersion ainsi qu'un dispositif de surveillance de la dispersion chromatique, est présentée sur la Figure I.1. Le signal optique traverse le compensateur ADC de ligne depuis le point de référence d'entrée R_S (ou R_M) jusqu'au point de référence de sortie S_S (ou S_M). Dans cette implémentation, le signal de contrôle du compensateur réglable de la dispersion provient d'un dispositif de surveillance de la dispersion situé dans la boîte noire du compensateur S-LADC ou M-LADC.

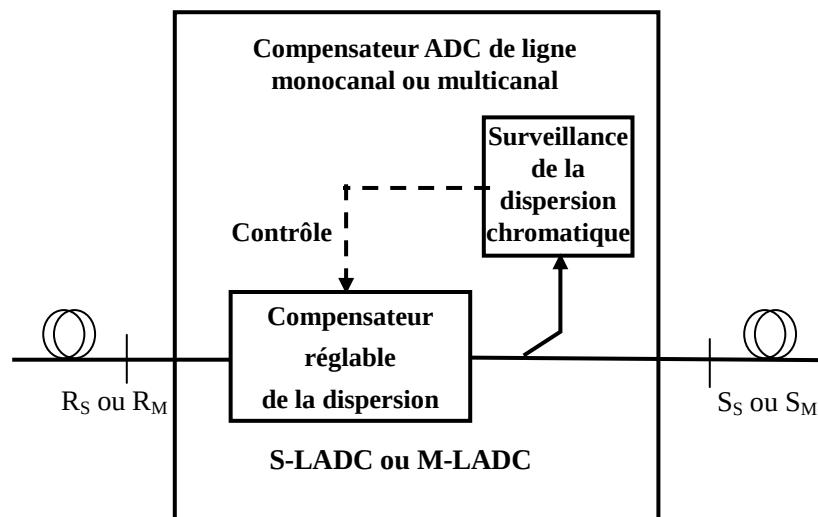


Figure I.1 – Option A d'implémentation d'un compensateur ADC de ligne monocanal (S-LADC) ou d'un compensateur ADC de ligne multicanal (M-LADC)

Un autre mode d'implémentation consiste à utiliser un signal de retour de l'information en provenance d'un ou de plusieurs autres nœuds optiques, comme indiqué sur la Figure I.2. Les informations relatives à la dispersion, par exemple la valeur de dispersion de la ligne optique complète que corrige le compensateur ADC de ligne, ou les informations de qualité des signaux relatives à la dispersion en provenance du récepteur optique, qui sont réunies par un système d'échange d'informations relatives à la dispersion intégré dans la ligne optique complète que corrige le compensateur ADC de ligne, sont utilisées pour mettre au point le compensateur réglable de la dispersion afin d'obtenir une qualité optimale de compensation de la dispersion chromatique.

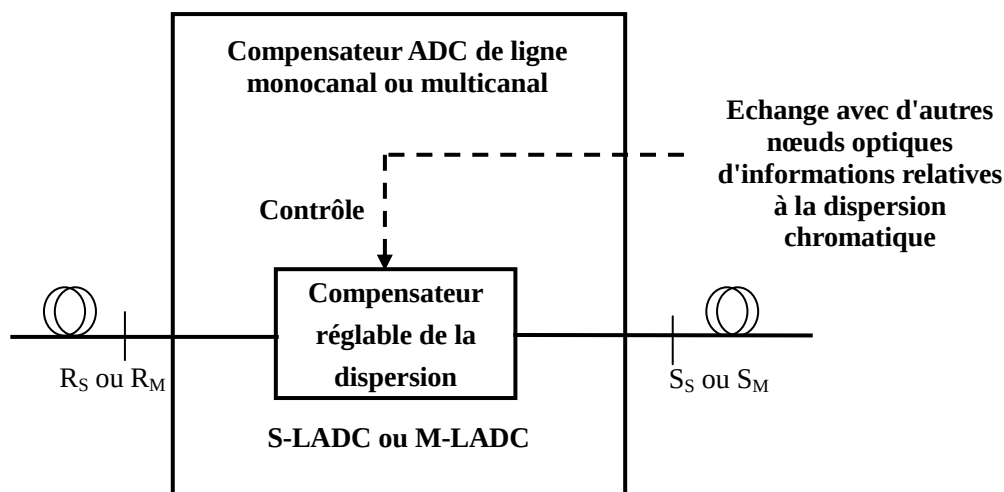


Figure I.2 – Option B d'implémentation d'un compensateur ADC de ligne monocanal (S-LADC) ou d'un compensateur ADC de ligne multicanal (M-LADC)

I.2 Implémentation d'un émetteur-compensateur ADC monocanal

Il est également possible de réaliser un émetteur-compensateur ADC monocanal (représenté de façon générique sur la Figure 5-4) selon différents modes d'implémentation. Une option est présentée sur la Figure I.3. Le signal optique en provenance de l'émetteur-compensateur ADC est présent au point de référence MPI-S. Le signal de retour de l'information en provenance/à destination d'un ou de plusieurs autres nœuds optiques représenté sur la Figure I.3 permet à l'émetteur-compensateur ADC de fonctionner de façon optimale. Les informations relatives à la dispersion, par exemple la valeur de dispersion de la ligne optique complète que corrige l'émetteur-compensateur ADC, ou les informations de qualité des signaux relatives à la dispersion en provenance du récepteur optique, qui sont réunies par un système d'échange d'informations relatives à la dispersion intégré dans la ligne optique complète que corrige le compensateur ADC de ligne, sont utilisées pour contrôler la compensation de la dispersion de l'émetteur-compensateur réglable de la dispersion afin d'obtenir une qualité optimale de compensation de la dispersion chromatique.

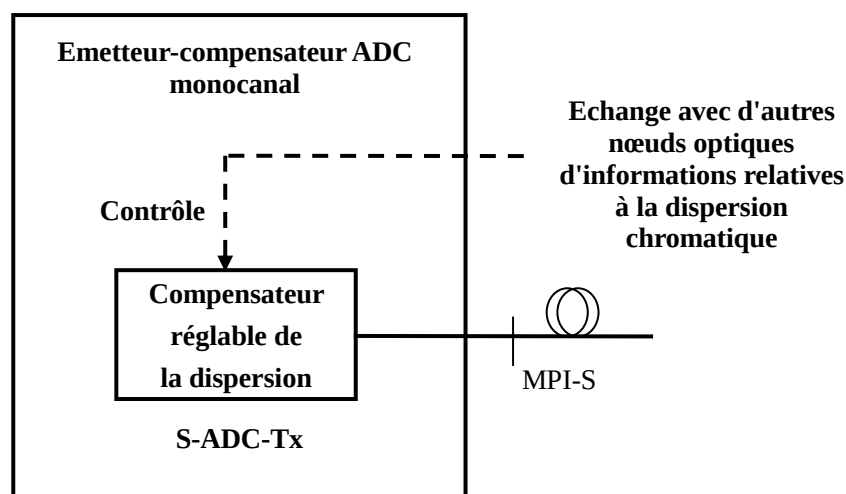


Figure I.3 – Option d'implémentation d'un émetteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Tx)

I.3 Implémentation d'un émetteur-compensateur ADC multicanal

Trois options d'implémentation pour un émetteur-compensateur ADC multicanal (représenté de façon générique sur la Figure 5-5) sont illustrées sur les Figures I.4 à I.6. L'option A inclut un compensateur ADC optique après le multiplexeur avec des émetteurs conventionnels. L'option B utilise uniquement des émetteurs-compensateurs ADC monocanal et un multiplexeur. L'option C utilise deux émetteurs-compensateurs ADC monocanal et un compensateur ADC optique multicanal après le multiplexeur.

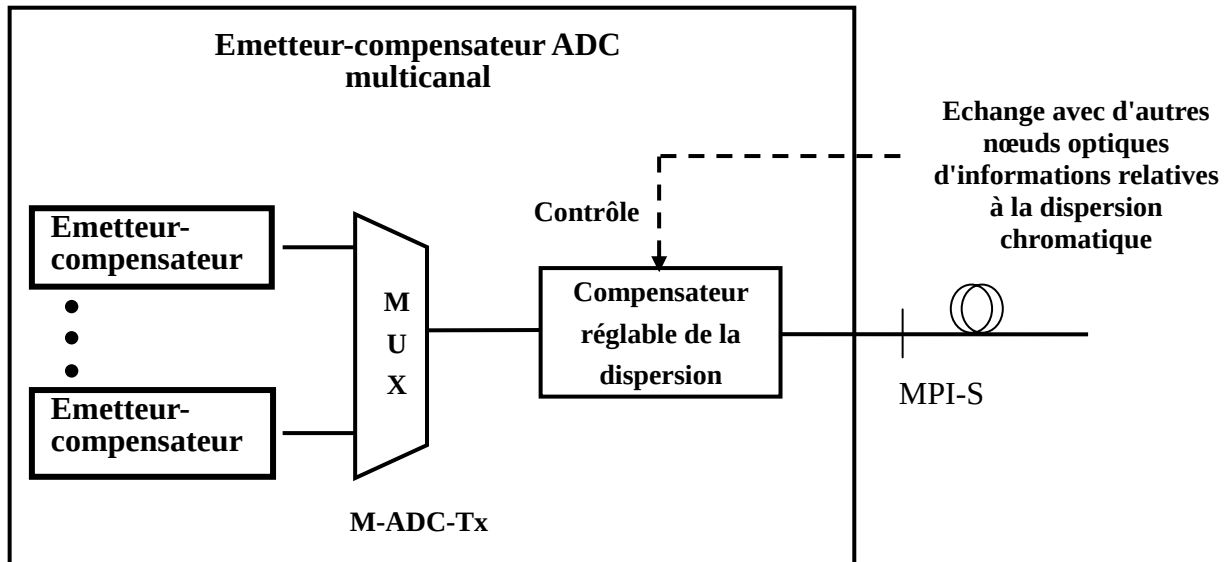


Figure I.4 – Option A d'implémentation d'un émetteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Tx)

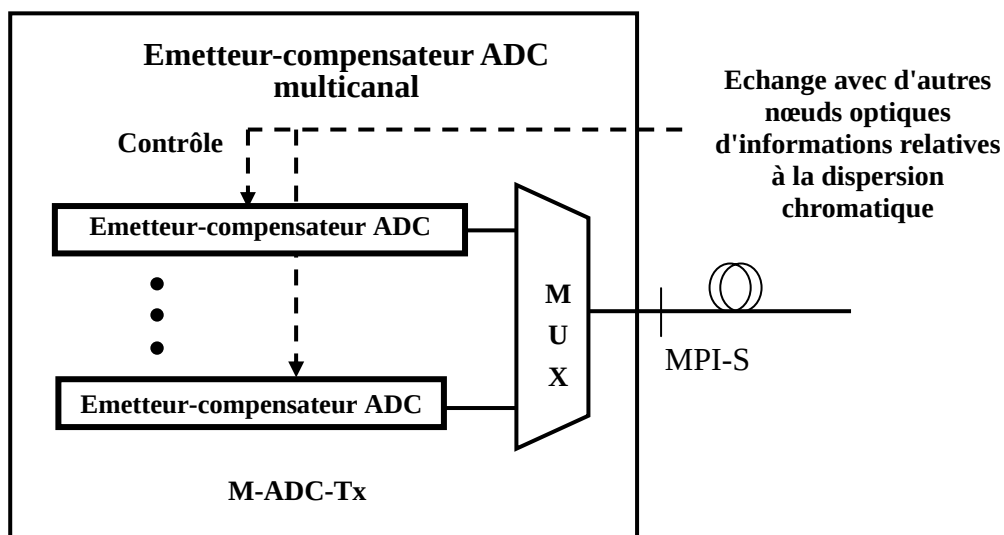


Figure I.5 – Option B d'implémentation d'un émetteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Tx)

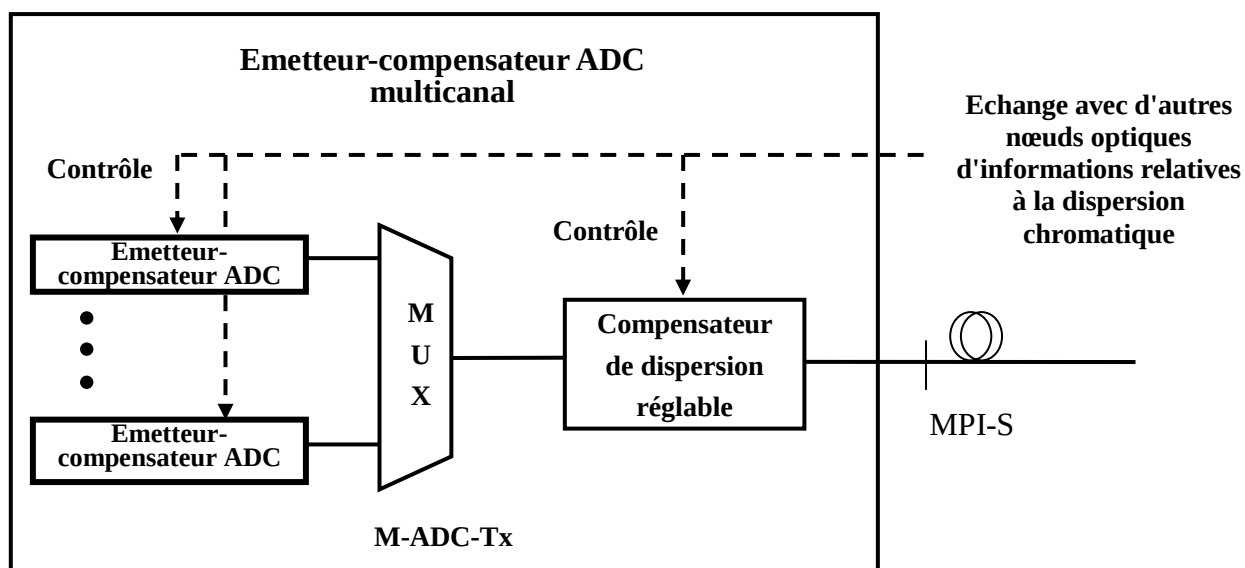


Figure I.6 – Option C d'implémentation d'un émetteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Tx)

I.4 Implémentation d'un récepteur-compensateur ADC monocanal

Il est possible de réaliser des récepteurs-compensateurs ADC monocanal (représentés de façon générique sur la Figure 5-6) selon différents modes d'implémentation. Une option consiste à utiliser un compensateur réglable de dispersion de ligne monocanal, représenté sur la Figure I.2, avec un récepteur conventionnel. Le signal optique au point de référence MPI-R traverse un compensateur réglable de dispersion optique avant d'entrer dans le récepteur. La dispersion du compensateur réglable de dispersion optique peut être contrôlée au moyen des informations de qualité des signaux relatives à la dispersion en provenance du récepteur optique, ce qui permet au compensateur réglable de la dispersion de fonctionner de façon optimale. Une autre option, qui n'est pas représentée sur la Figure I.7, consiste à utiliser la valeur de dispersion de la ligne optique complète que compense le récepteur-compensateur S-ADC-Rx.

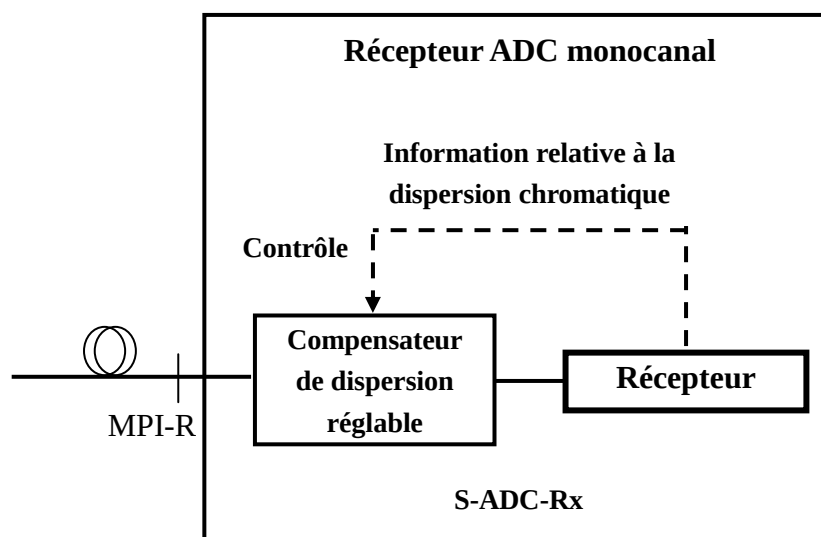


Figure I.7 – Option A d'implémentation d'un récepteur-compensateur ADC monocanal (S-ADC-Rx)

Un autre mode d'implémentation consiste à utiliser un récepteur associé à un dispositif de compensation électrique de la dispersion (EDC, *electrical dispersion compensation*) comme indiqué sur la Figure I.8. Aucun dispositif optique supplémentaire n'est utilisé pour les besoins de la compensation de la dispersion chromatique. Au lieu de cela, la fonction du compensateur ADC est réalisée à l'intérieur du récepteur par des moyens électriques.



Figure I.8 – Option B d'implémentation d'un récepteur-compensateur ADC monocal (S-ADC-Rx)

NOTE – Bien que les deux modes d'implémentation examinés ci-dessus (optique ou EDC) ne soient pas spécifiés de manière différente dans la présente Recommandation, dans [b-UIT-T G.959.1] les applications adaptées à l'utilisation de compensateurs de dispersion optiques sont désignées par le suffixe "D" et les applications adaptées à l'utilisation de compensateurs EDC sont désignées par le suffixe "E".

Une combinaison des deux modes d'implémentation susmentionnés est également possible comme l'indique la Figure I.9.

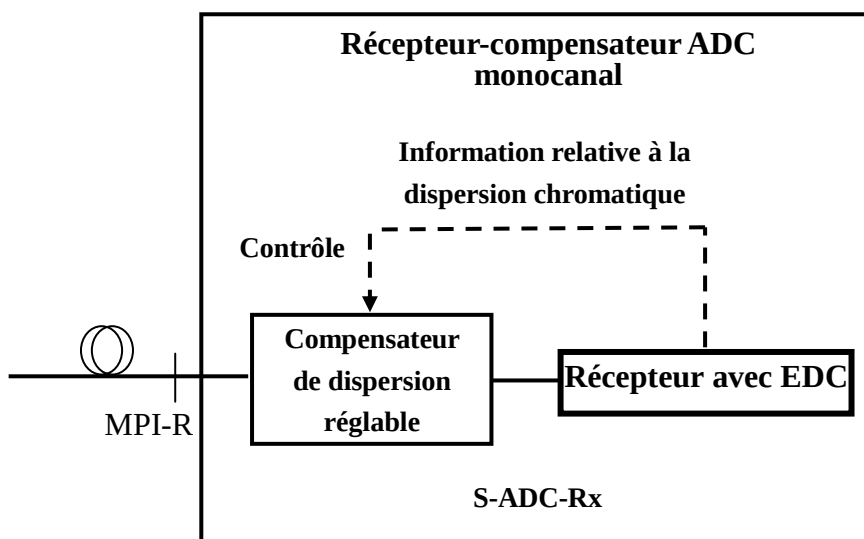


Figure I.9 – Option C d'implémentation d'un récepteur-compensateur ADC monocal (S-ADC-Rx)

I.5 Implémentation d'un récepteur-compensateur ADC multicanal

De la même façon qu'au § I.4, trois options d'implémentation pour les récepteurs ADC multicanal sont représentées sur les Figures I.10 à I.12. L'option A consiste à utiliser un compensateur ADC optique avant le démultiplexeur ainsi que des récepteurs conventionnels. L'option B ne fait intervenir que des récepteurs-compensateurs ADC. L'option C consiste à utiliser un compensateur ADC optique avant le démultiplexeur ainsi que des récepteurs-compensateurs ADC. Dans l'option B ou C, les récepteurs-compensateurs ADC peuvent être implémentés par des moyens optiques ou électriques. Comme dans le cas du mode monocanal, la dispersion de la fonction de compensation ADC peut être contrôlée au moyen des informations de qualité des signaux relatives à la dispersion en provenance du récepteur optique, ce qui permet au compensateur ADC de fonctionner de façon optimale. Une autre option, qui n'est pas représentée sur les Figures I.10 à I.12, consiste à utiliser la valeur de dispersion de la ligne optique complète dont le récepteur M-ADC-Rx assure la compensation.

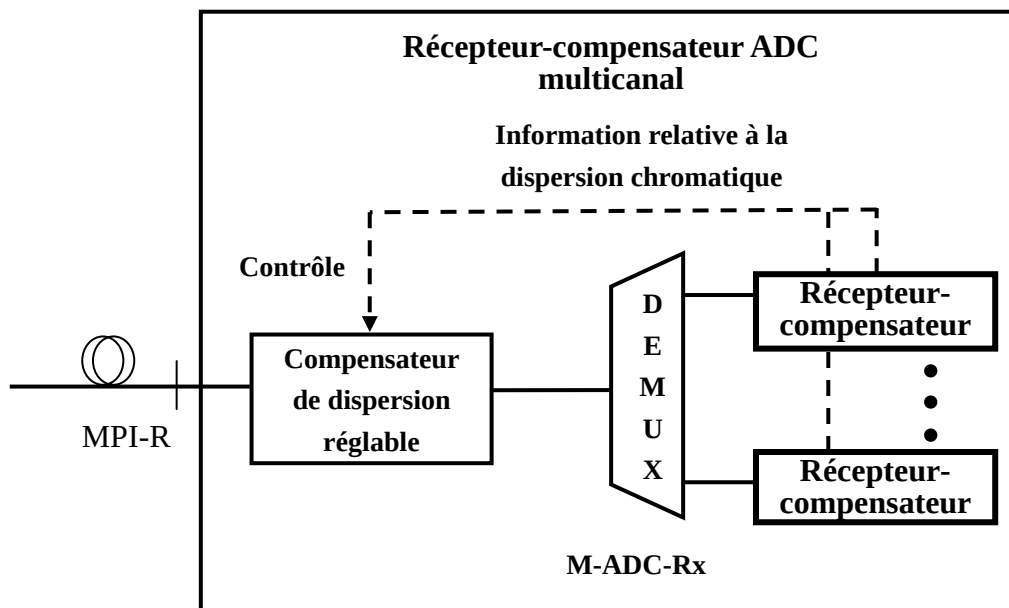


Figure I.10 – Option A d'implémentation d'un récepteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Rx)

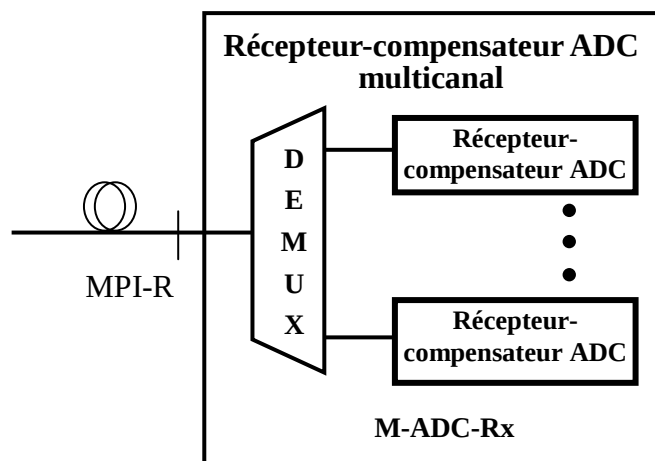


Figure I.11 – Option B d'implémentation d'un récepteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Rx)

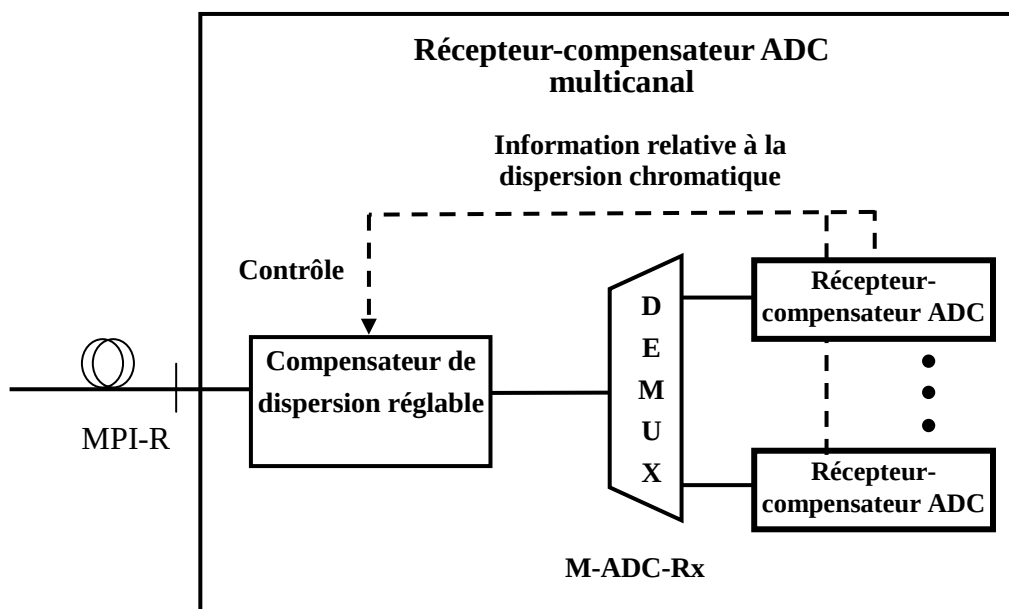


Figure I.12 – Option C d'implémentation d'un récepteur-compensateur ADC multicanal (M-ADC-Rx)

Appendice II

Principes de la compensation adaptative de la dispersion (ADC)

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

II.1 Introduction

La dispersion chromatique, dans une fibre monomode, associe la dispersion par le matériau et la dispersion du guide d'ondes et contribue à l'élargissement de l'impulsion et à la distorsion dans un signal numérique, en induisant un déphasage, en fonction de la fréquence, du signal voyageant dans la fibre, ce qui a pour effet d'élargir l'impulsion du signal optique dans le récepteur.

Pour les liaisons sur lesquelles la dispersion chromatique serait autrement trop importante, un dispositif de compensation de la dispersion est utilisé pour compenser la dispersion chromatique du trajet optique. A l'heure actuelle, diverses technologies d'adaptation de la dispersion (DA, *dispersion accommodation*) sont utilisées, comme par exemple celles qui sont définies dans la Rec. UIT-T G.691: compensation passive de dispersion (PDC, *passive dispersion compensation*), modulation autophase (SPM, *self-phase modulation*), prémodulation (PCH, *prechirp*) et transmission à dispersion (DST, *dispersion-supported transmission*).

Dans certaines applications, la dispersion chromatique du trajet optique varie dans le temps ou avec la reconfiguration du réseau optique dans des proportions telles que, pour éviter toute dégradation des signaux dans le récepteur, on utilise un compensateur adaptatif de dispersion pour compenser dynamiquement la variation de la dispersion chromatique de la liaison optique.

II.2 Applications avec compensation adaptative de la dispersion

Les compensateurs ADC sont appelés à être utilisés dans au moins deux applications: la compensation des variations lentes de la dispersion sur la liaison et la compensation des variations brusques de la dispersion sur la liaison.

II.2.1 Application avec variations lentes de la dispersion sur la liaison

Dans cette application, les compensateurs ADC sont utilisés pour compenser les variations lentes de la dispersion sur la liaison dans le temps dues aux effets de l'environnement.

Un exemple de cette application nous est donné par un système de transmission optique à 10 Gbit/s à ultra longue distance. Comme la dispersion chromatique dans une fibre varie dans le temps et avec la température, la dispersion résiduelle de chaque canal varie en conséquence. Si la variation de la dispersion résiduelle par canal dépasse la tolérance de dispersion de la paire émetteur-récepteur, un compensateur adaptatif de dispersion monocanal ou multicanal est nécessaire pour compenser dynamiquement la variation de la dispersion chromatique de la liaison optique.

De même, pour un système de transmission optique à 40 Gbit/s à longue distance, comme la tolérance de dispersion d'une paire émetteur-récepteur est généralement bien moindre que celle de systèmes à 10 Gbit/s, une compensation de la dispersion à réglage dynamique peut aussi être nécessaire pour compenser les variations dans le temps et avec la température de la dispersion dans les fibres de la liaison optique.

Comme la variation de la dispersion chromatique dans les fibres dans le temps et avec la température est lente, le taux minimal de variation du paramètre de compensation de la dispersion est utilisé pour spécifier la qualité de réglage des compensateurs ADC.

II.2.2 Application avec variations brusques de la dispersion sur la liaison

Dans cette application, les compensateurs ADC sont utilisés pour compenser les variations brusques de la dispersion sur la liaison dues à une opération de commutation ou à une autre opération de reconfiguration de la liaison de transmission.

Un exemple d'application est représenté sur la Figure II.1. Un signal optique DWDM est initialement routé via le segment A de la ligne DWDM. Après reconfiguration, la route est déviée du segment A vers le segment B. Comme la dispersion sur la liaison pour le segment A de la ligne DWDM diffère de ce qu'elle est pour le segment B de la ligne DWDM, une variation brusque de la dispersion résiduelle par canal se produit. Si la variation brusque de la dispersion résiduelle par canal dépasse la tolérance de dispersion de la paire émetteur-récepteur, un compensateur adaptatif de dispersion monocanal ou multicanal est nécessaire pour compenser dynamiquement la variation de la dispersion chromatique de la liaison optique.

Comme la variation de la dispersion dans ce cas se produit brusquement, le paramètre temps maximal de réglage de compensation de la dispersion est utilisé pour spécifier la qualité de réglage du ou des compensateurs ADC.

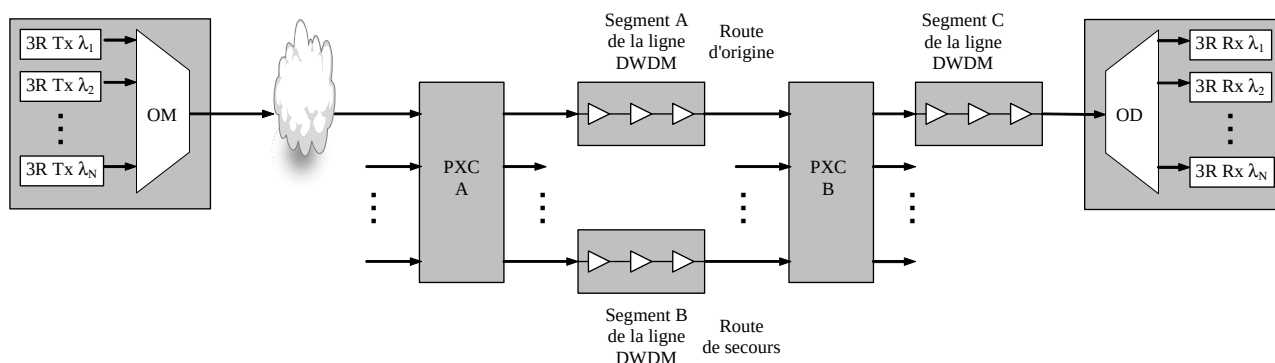


Figure II.1 – Exemple d'application avec variation brusque de la dispersion sur la liaison

II.3 Principes de la compensation adaptative de la dispersion

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 5, trois types de compensateur adaptatif de la dispersion sont définis dans la présente Recommandation: précompensation, compensation de ligne et postcompensation, comme indiqué sur la Figure II.2.

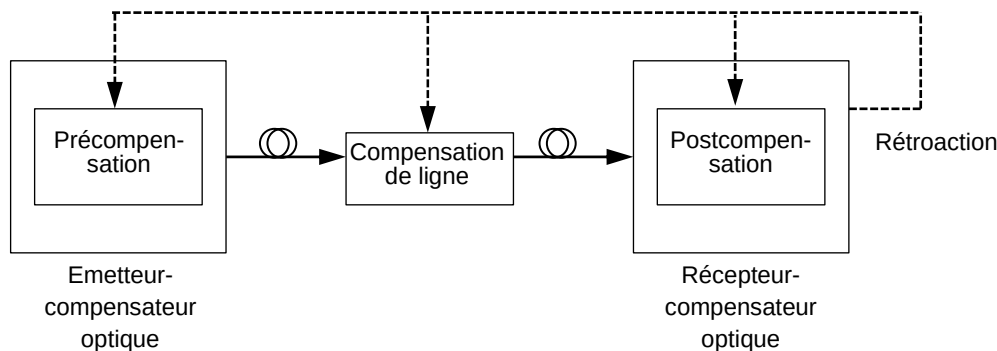


Figure II.2 – Principes de la compensation adaptative de la dispersion

Toutefois, comme il ressort des considérations présentées dans l'Appendice I, la technologie sous-jacente utilisée dans ces dispositifs de compensation de la dispersion entre dans les trois catégories principales suivantes:

- compensateurs optiques de la dispersion (pouvant se trouver dans n'importe lequel des trois emplacements);
- compensateurs électroniques de la dispersion situés dans le récepteur;
- compensateurs électroniques de la dispersion situés dans l'émetteur.

II.3.1 Compensateurs optiques de dispersion

Diverses techniques de réglage de compensation de la dispersion peuvent être utilisées, telles qu'un dispositif à fibre optique comprenant un réseau de Bragg (FBG, *fibre Bragg gratings*), les tableaux cohérents d'images virtuelles (VIPA, *virtually-imaged phased-arrays*), les étalons de Gires-Tournois, etc.

Les dispositifs FBG sont des dispositifs à réflexion créés par modulation de l'indice de réfraction du coeur d'une fibre. Le réglage de la dispersion est effectué en appliquant une contrainte (généralement au moyen d'un gradient thermique) à un réseau à dérive de fréquence linéaire. Un dispositif FBG peut contenir un compensateur de dispersion canalisée à large bande, à faibles pertes et à sommet plat avec une haute résolution de réglage et une faible vitesse de réglage. Une configuration type de réglage de compensation de la dispersion avec dispositif FBG est représentée sur la Figure II.3 [b-PAINCHAUD].

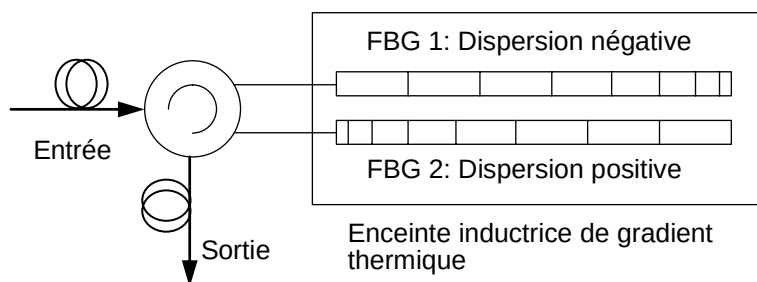


Figure II.3 – Structure de base d'un compensateur utilisant un dispositif FBG

Les tableaux cohérents d'images virtuelles (VIPA, *virtually imaged phased arrays*) utilisent un ensemble de miroirs et de lentilles pour régler la longueur de propagation optique [b-SHIRASAKI]. Les VIPA ont une réponse canalisée à large bande, une haute résolution de réglage, une vitesse de réglage modérée et un affaiblissement d'insertion élevé. Une configuration type de réglage de compensation de la dispersion utilisant un VIPA est représentée sur la Figure II.4.

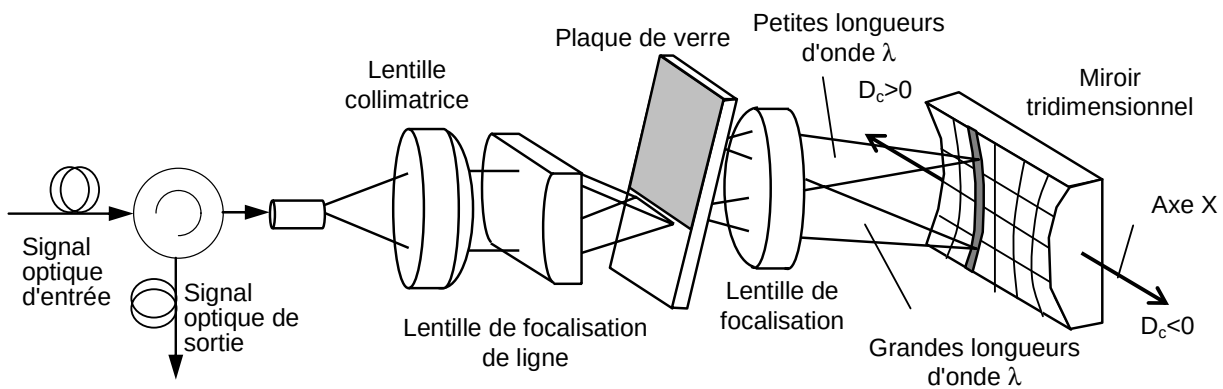


Figure II.4 – Structure de base d'un VIPA

L'étalon de Gires-Tournois a un temps de propagation périodique intrinsèque qui peut être exploité pour assurer le réglage de la compensation de la dispersion en faisant varier l'espacement entre les miroirs étalon. Un compensateur de dispersion à sommet plat multicanal peut être réalisé à l'aide de plusieurs étalons, bien que cette méthode pêche par un affaiblissement d'insertion élevé. On règle la dispersion en faisant varier l'angle de la lumière entrante par rapport à l'étalon. Les étalons offrent une vitesse de réglage élevée avec une mauvaise résolution de réglage. Une configuration pour ce type de compensateur de dispersion est représentée sur la Figure II.5.

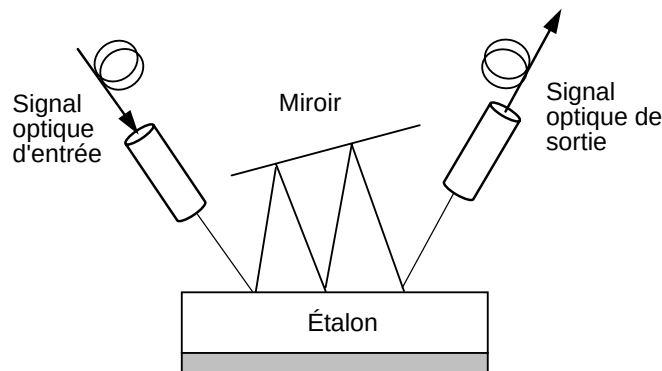


Figure II.5 – Structure de base d'un étalon de Gires-Tournois

II.3.2 Compensateurs électroniques de la dispersion situés dans un récepteur

Il existe plusieurs types différents de techniques de compensation électronique de la dispersion (EDC). Dans tous les cas, cependant, un processeur adaptatif de données est utilisé pour réduire le brouillage entre symboles (ISI, *inter-symbol interference*) du signal optique converti en signal électrique qui a été introduit par la dispersion chromatique et d'autres effets non linéaires. Ceci est représenté sur la Figure II.6.

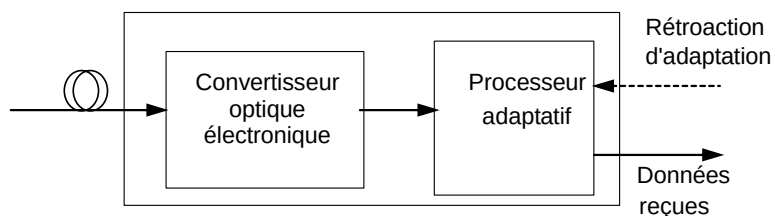


Figure II.6 – Structure de base d'un compensateur électronique de la dispersion situé dans un récepteur

Les différentes technologies qu'utilisent actuellement les processeurs adaptatifs de données sont les suivantes: égalisation linéaire (FFE, *feed forward equalization*), égalisation récursive avec décision dans la boucle (DFE, *decision feedback equalization*) et estimation de la séquence de probabilité maximale (MLSE, *maximum likelihood sequence estimation*).

L'égalisation FFE assure l'égalisation ISI linéaire. Les coefficients du filtre sont réglés de manière à optimiser un critère de performance tel que l'erreur quadratique moyenne minimale. Ceci est illustré sur la Figure II.7 [b-WATTS]. Les cases étiquetées t_s sont les temps de propagation dont la durée est généralement de 0,5 ou de 1 bit.

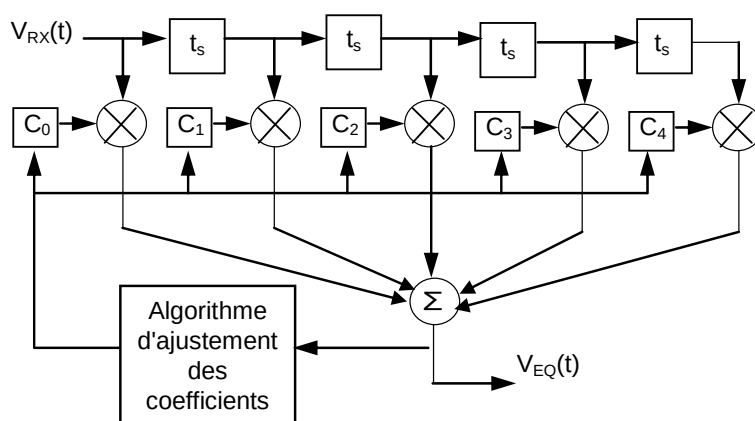


Figure II.7 – Structure d'égalisation FFE de base

A la différence de l'égalisation FFE, l'égalisation DFE prend le signal de sortie du circuit de décision et, au moyen d'une ligne de retard à prises, ajoute ou retranche une fraction des bits détectés préalablement. Ceci est illustré sur la Figure II.8 [b-WATTS].

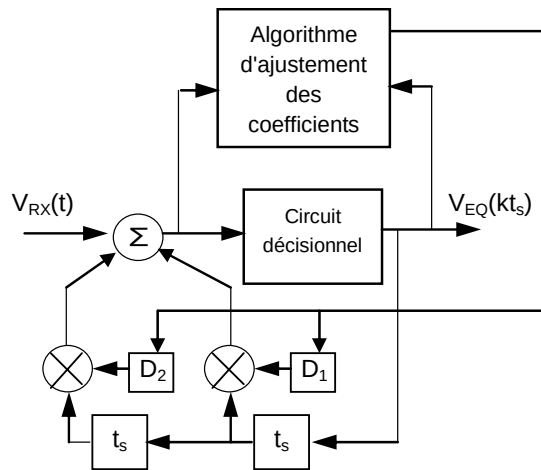


Figure II.8 – Structure d'égalisation DFE de base

Les deux opérations décrites ci-dessus (égalisation FFE et égalisation DFE) peuvent également être utilisées ensemble, comme l'indique la Figure II.9 qui associe un égaliseur linéaire (FFE) et un égaliseur récursif avec décision dans la boucle (DFE) [b-WATTS].

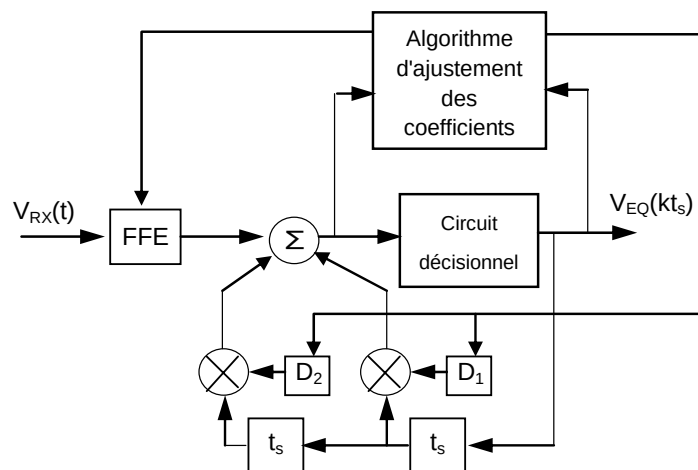


Figure II.9 – Structure associant un égaliseur FFE et un égaliseur DFE

L'estimateur MLSE compare la forme d'onde reçue avec un ensemble de formes d'onde attendues sur plusieurs bits pour déterminer la séquence binaire transmise la plus probable. Ceci est représenté sur la Figure II.10 [b-WATTS]. Le signal reçu est numérisé sous la forme d'une fréquence d'échantillonnage au moins deux fois supérieure au débit binaire. Pour une séquence de données de N-bit, un décodeur de Viterbi à 2^{N-1} états détermine la séquence de données la plus probable d'après le modèle de canaux à états enregistré dans l'estimateur de canaux.

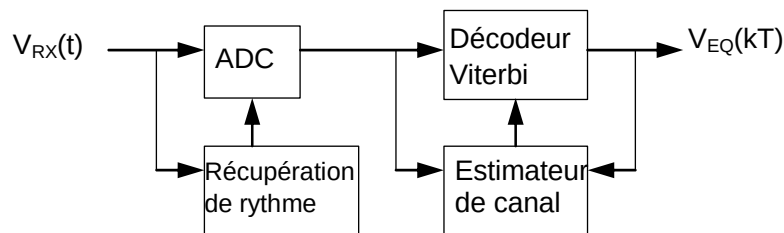


Figure II.10 – Structure de base d'un estimateur MLSE

II.3.3 Compensateurs électroniques de la dispersion situés dans un émetteur

La précompensation dans l'émetteur fait appel à des techniques électroniques qui manipulent à la fois l'amplitude et la phase de l'émetteur réglable dans un compensateur adaptatif de dispersion afin de transmettre un signal optique distordu dans l'émetteur, mais non distordu après propagation par dispersion dans le trajet de transmission. Ceci est illustré sur la Figure II.11 [b-McNICOL].

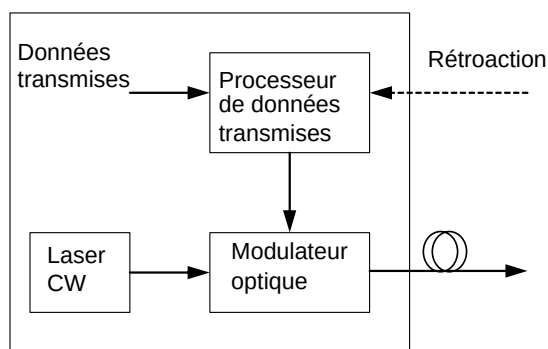


Figure II.11 – Structure de base d'un compensateur électronique de dispersion situé dans un émetteur

II.4 Surveillance de la dispersion chromatique

Comme il ressort des Figures I.2 à I.12, la dispersion des compensateurs adaptatifs de dispersion peut être contrôlée au moyen des informations relatives à la dispersion, qui peuvent être des informations relatives à la dispersion résiduelle sur la liaison ou d'autres informations générales de surveillance de la qualité de fonctionnement relatives à la dispersion utilisant la qualité de fonctionnement relative aux signaux, telles que le taux d'erreur sur les bits (BER), l'ouverture du diagramme en œil ou le facteur Q, etc.

Comme il ressort de la Figure I.1, certaines configurations qui emploient des compensateurs adaptatifs de dispersion incorporent une fonction de surveillance de la dispersion faisant appel à trois catégories de méthodes:

- surveillance du spectre électrique;
- surveillance de l'amplitude d'une tonalité pilote;
- surveillance du temps de propagation entre les bandes latérales supérieure et inférieure.

II.4.1 Surveillance du spectre électrique

Lorsqu'un signal optique est détecté par une photodiode, le processus de détection quadratique contribue utilement à identifier les composantes de fréquence du signal optique dont l'ampleur a été diminuée ou réduite à néant par la dispersion chromatique. La variation d'amplitude (de puissance) dans une bande de fréquences donnée est directement liée à l'ampleur de la dispersion chromatique à laquelle le signal a été soumis dans cette bande de fréquences [b-DEVAUX]. Les spectres

électriques de signaux optiques avec différentes dispersions chromatiques $|D_n|$ sont représentés sur la Figure II.12, où $|D_1| < |D_2| < |D_3|$. Comme la puissance dans la bande de fréquences considérée Δf correspond spécifiquement à la dispersion chromatique considérée $|D_n|$, cela permet d'obtenir le signal de surveillance requis.

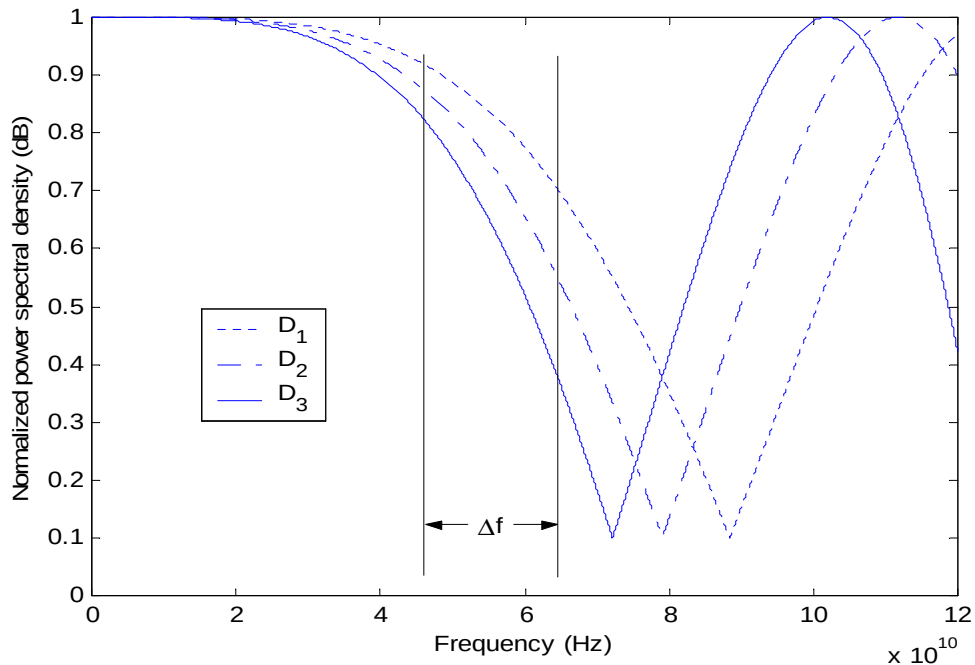


Figure II.12 – Spectre électrique du signal détecté

II.4.2 Surveillance de l'amplitude d'une tonalité pilote

L'adjonction d'une tonalité pilote au signal optique à une fréquence appropriée permet de surveiller le phénomène que nous avons examiné au § II.4.1 en mesurant simplement le niveau de la tonalité pilote à la sortie du détecteur au moyen d'un filtre électrique étroit [b-PETERSEN].

La Figure II.13 représente le spectre de puissance électrique observé pour différentes dispersions accumulées où la puissance de la tonalité n diminue à mesure que la dispersion chromatique augmente de (a) à (c).

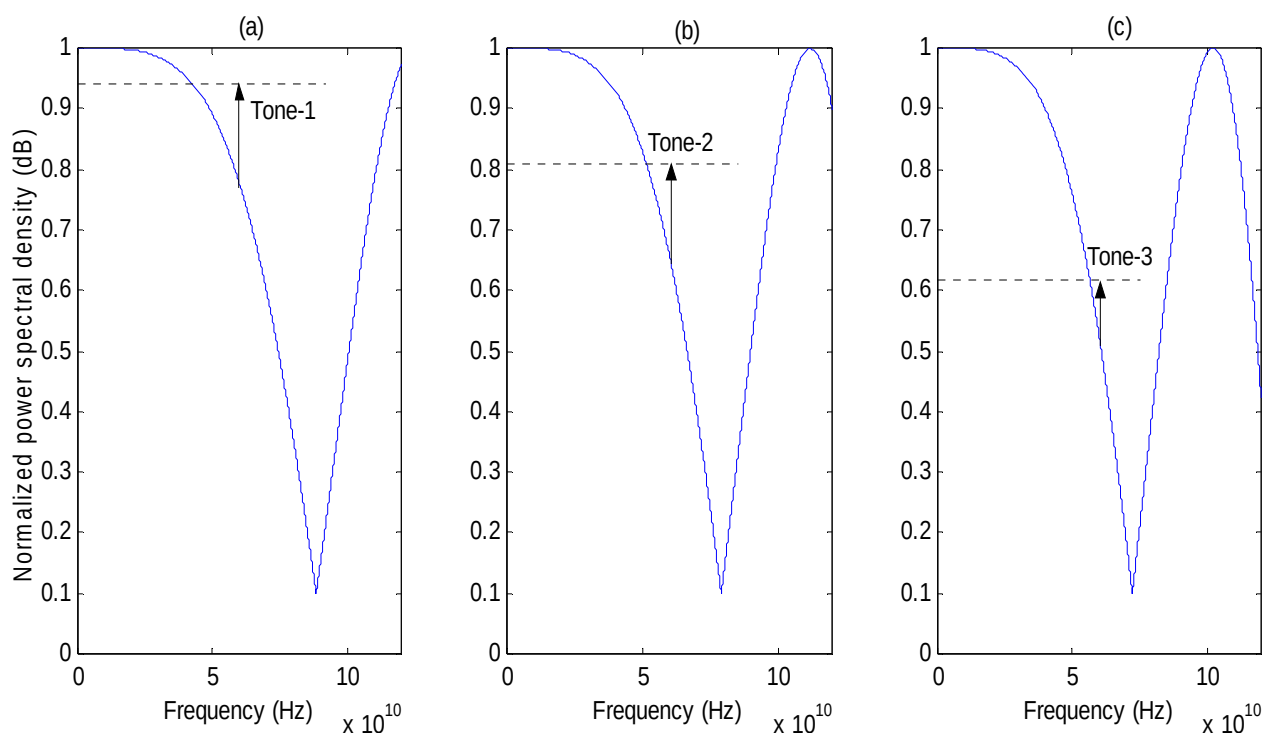


Figure II.13 – Spectre électrique du signal détecté avec tonalité pilote

II.4.3 Surveillance du temps de propagation entre les bandes latérales supérieure et inférieure

Ce mécanisme utilise un filtre pour sélectionner le signal de données dans les bandes latérales résiduelles (VSB, *vestigial sideband*) supérieure et inférieure et surveille le déphasage d'horloge relatif $\Delta\phi$ causé par la dispersion [b-QIAN]. Le filtrage VSB est implémenté en réglant le filtre avec un écart par rapport à la fréquence centrale du signal, comme indiqué sur la Figure II.14 pour un signal RZ. Comme les deux bandes latérales occupent des gammes de longueur d'onde différentes, la dispersion chromatique dans les fibres induit un temps de propagation de groupe relatif et, par voie de conséquence, un léger déphasage d'horloge entre les signaux des bandes VSB inférieure et supérieure.

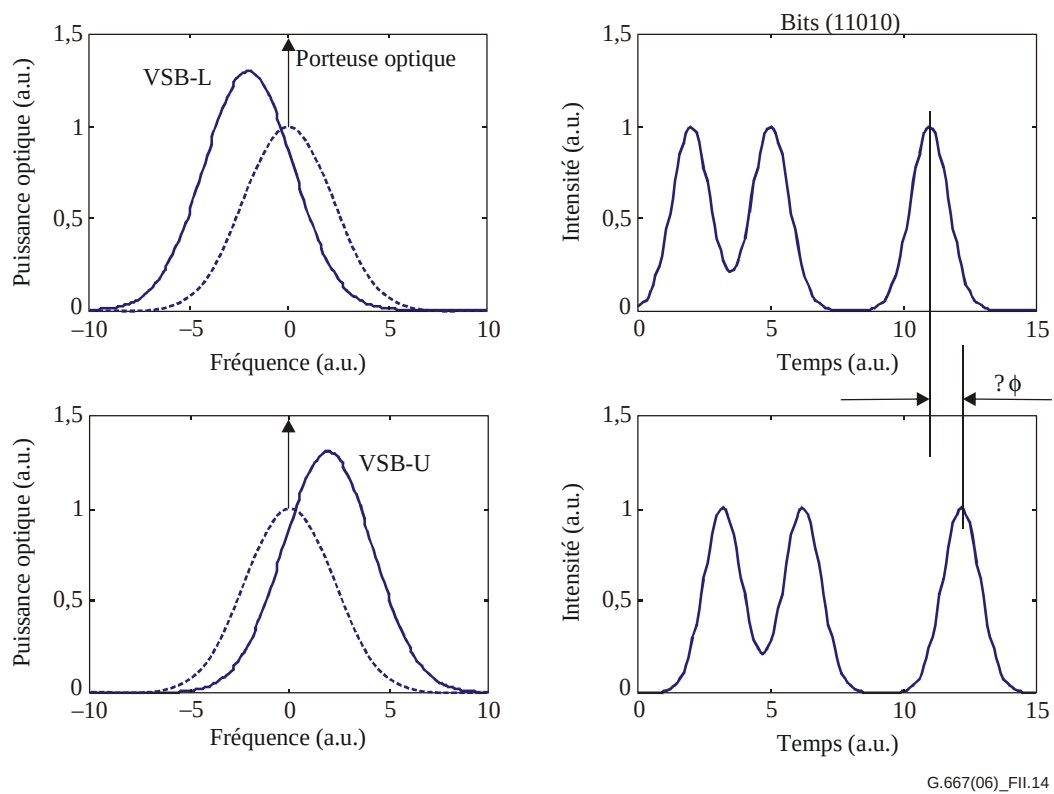


Figure II.14 – Surveillance de la dispersion au moyen de filtres VSB

Bibliographie

- [b-UIT-T G.959.1] Recommandation UIT-T G.959.1 (2006), *Interface de couche Physique du réseau optique de transport*.
- [b-UIT-T G.Sup39] Séries G de l'UIT-T Supplément 39 (2006), *Considérations sur la conception et l'ingénierie des systèmes optiques*.
- [b-DEVAUX] DEVAUX (F.), SOREL (Y.), KERDILES (J.F.), Simple measurement of fiber dispersion and of chirp parameter of intensity modulated light emitter. *Journal of Lightwave Technology*, 1993. 11(12): pp. 1937-1940.
- [b-McNICOL] McNICOL (J.), O'SULLIVAN (M.), ROBERTS (K.), COMEAU (A.), McGHAN (D.), STRAWCZYNSKI (L.), Electrical Domain Compensation of Optical Dispersion, *OThJ3, OFC 2005*.
- [b-PAINCHAUD] PAINCHAUD (Y.), LAPOINTE (M.), GUY (M.), Slope-matched tunable dispersion compensation over the full C-band based on fiber Bragg gratings, *ECOC 2004*.
- [b-PETERSEN] PETERSEN (M.N.) *et al*, Dispersion monitoring and compensation using a single inband subcarrier tone. *OFC 2001*, Volume 3, 2001 Page(s): WH4-1 to WH4-3 Vol. 3.
- [b-QIAN] QIAN (Y.) *et al*, Chromatic dispersion monitoring technique using sideband optical filtering and clock phase-shift detection. *Journal of Lightwave Technology*, 2002. 20(12): pp. 2267-2271.
- [b-SHIRASAKI] SHIRASAKI (M.), Chromatic-dispersion compensator using virtually imaged phased array, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 9, pp. 1598-1600, 1997.
- [b-WATTS] WATTS (P.M.), MIKHAILOV (V.), SAVORY (S.), GLICK (M.), BAYVEL (P.), KILLEY (R.I.), Electronic signal processing techniques for compensation of chromatic dispersion, *NOC 2005*.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication