

Les mesures de dispersion chromatique (DC)



*Par Laurent COLOMER, **PHOTON LINES***

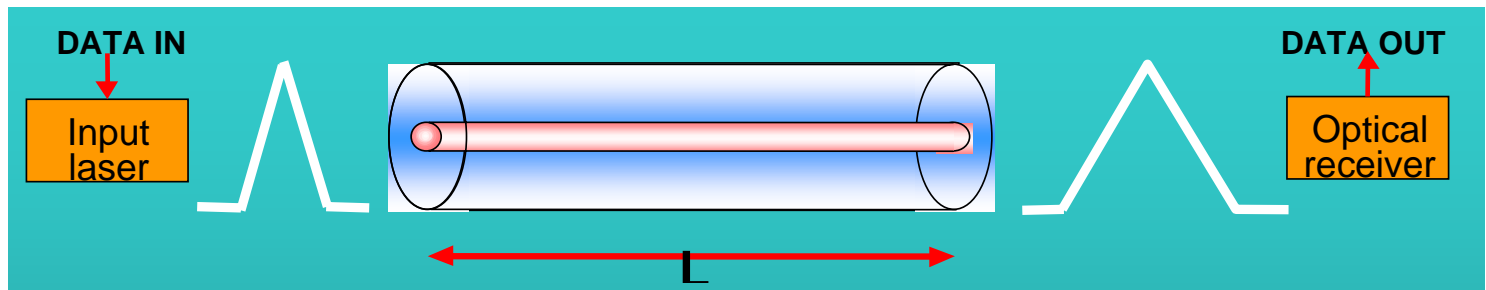
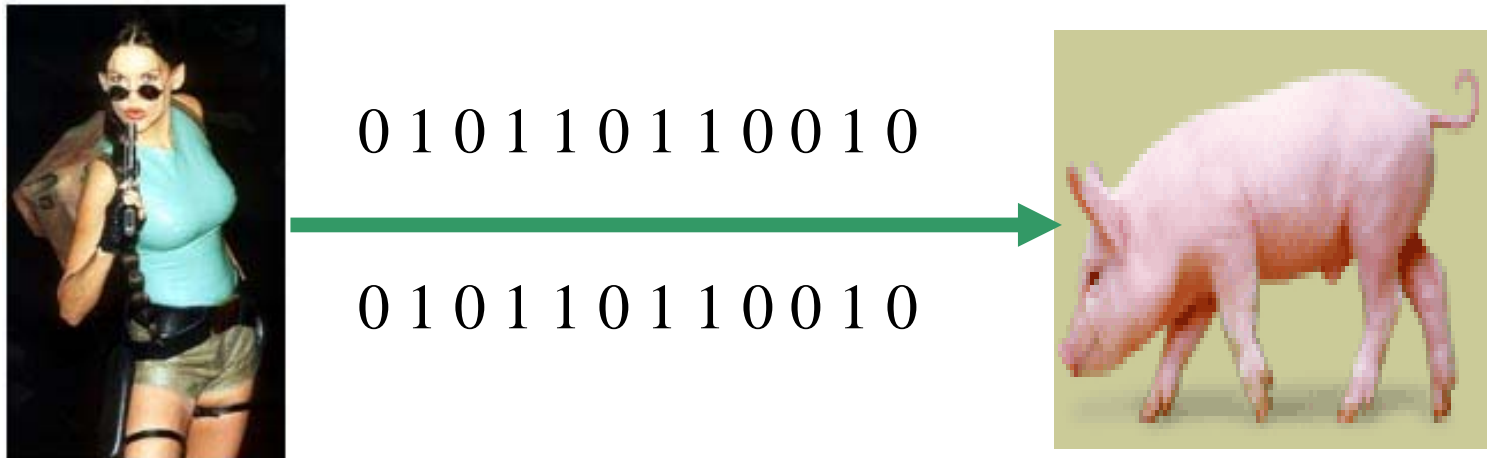
Qu'est ce que la dispersion ?

La Dispersion au sens large est un étalement ou un élargissement des pulses lumineux lors de leur propagation le long d'une fibre.

Une dispersion trop importante augmente le taux d'erreur au niveau du récepteur (une impossibilité de distinguer les 0 des 1).



Qu'est ce que la dispersion ?



=> Augmentation du Taux d'Erreur (BER), donc limitation de la Bande Passante

La dispersion est due à un “délai différentiel”

- **Qu'est-ce que le délai différentiel?**
 - Le signal est composé d'au moins deux composantes
 - Chaque composante se propage à une vitesse différente
 - Différentes composantes arrivent à différents instants
 - La différence entre les composantes à l'arrivée sur le récepteur est le délai différentiel
- **La dispersion est un facteur limitant le débit dans les liens de transmission**
 - Elle limite la longueur du lien pour les hauts débits
 - Une règle est établie : pour minimiser les effets de la dispersion, le délai différentiel ne doit pas dépasser 10% du débit

Les débits et leurs limitations

| <i>SONET</i> | <i>SDH</i> | <i>Transmission Rate</i> | <i>Bit Time</i> | <i>Dispersion Limit¹</i> |
|---------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------|--|
| OC-1 | | 51.84 Mb/s | 19.29 ns | 2 ns |
| OC-3 | STM-1 | 155.52 Mb/s | 6.43 ns | 640 ps |
| OC-12 | STM-4 | 622.08 Mb/s | 1.61 ns | 160 ps |
| OC-24 | | 1244.16 Mb/s (1.2 Gb/s) | 803.76 ps | 80 ps |
| OC-48 | STM-16 | 2488.32 Mb/s (2.4 Gb/s) | 401.88 ps | 40 ps |
| OC-192 | STM-64 | 9953.28 Mb/s (10 Gb/s) | 100.47 ps | 10 ps |
| OC-768 | STM-256 | 39,813.12 Mb/s (40 Gb/s) | 25.12 ps | 2 ps |

¹ Dispersion limitée à ~ 10% du “temps” de bit



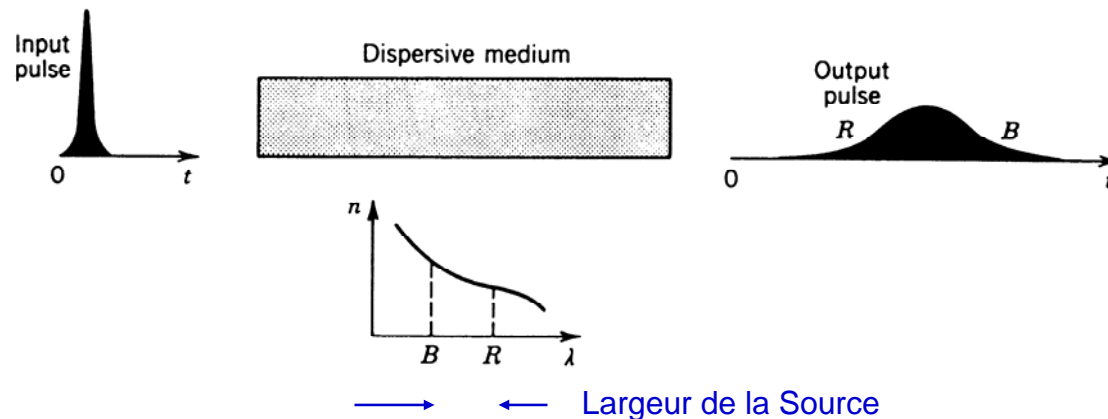
La dispersion chromatique

Due à la largeur spectrale non nulle de la source (cad composée de plusieurs longueurs d'ondes), chaque longueur d'onde se propageant à une vitesse spécifique.

$$v = c/n(\lambda)$$

=> retard de groupe (Group Delay)

Fibre **monomode**



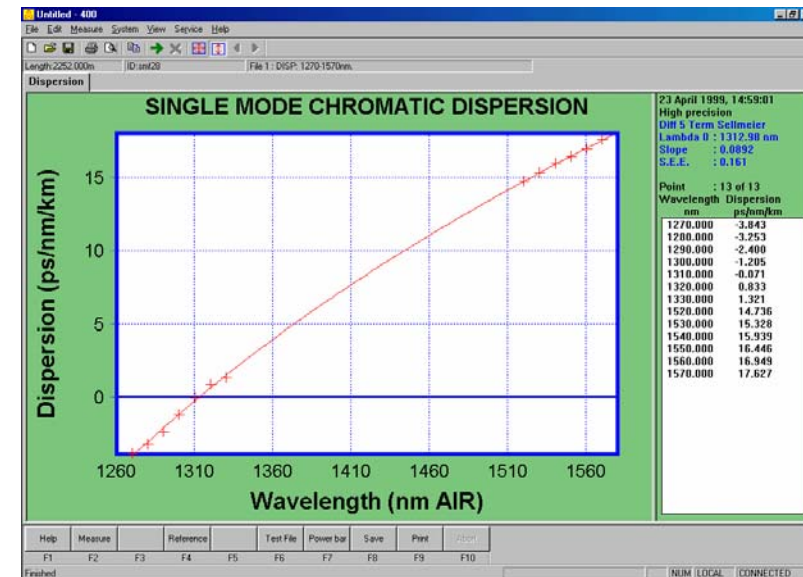
La dispersion chromatique

- La Dispersion Chromatique (D) par unité de longueur est exprimée en **ps/nm*km** (dérivée du retard de groupe en fonction de la λ):

- Délai différentiel (en ps)
- Largeur de la source (en nm)
- Distance (en km)

- $D > 0$: indique que les λ plus courtes se propagent plus vite
- $D = 0$: indique qu'une légère variation de λ n'affecte pas le temps de propagation
- Les spécifications courantes donnent :

- *Le point de dispersion 0 (λ_0)*
- *La pente de dispersion*



Origine de la Dispersion Chromatique

- **Deux effets contribuent à la Dispersion Chromatique totale :**
 - La dispersion due au matériau (le verre)
 - La dispersion due au guide d'onde (la fibre)
- **La dispersion due au matériau dépend du type de verre (impuretés, etc)**
- **La dispersion dépend du profil d'indice de la fibre**
 - Il est possible de paramétrer la fabrication pour obtenir un zéro de dispersion ou une pente particulière
 - On peut donc fabriquer des fibres présentant un profil d'indice particulier
- **La dispersion limite la capacité d'un réseau à transmettre des hauts débits ou la distance à laquelle des débits peuvent être transmis**



Les grands types de fibres

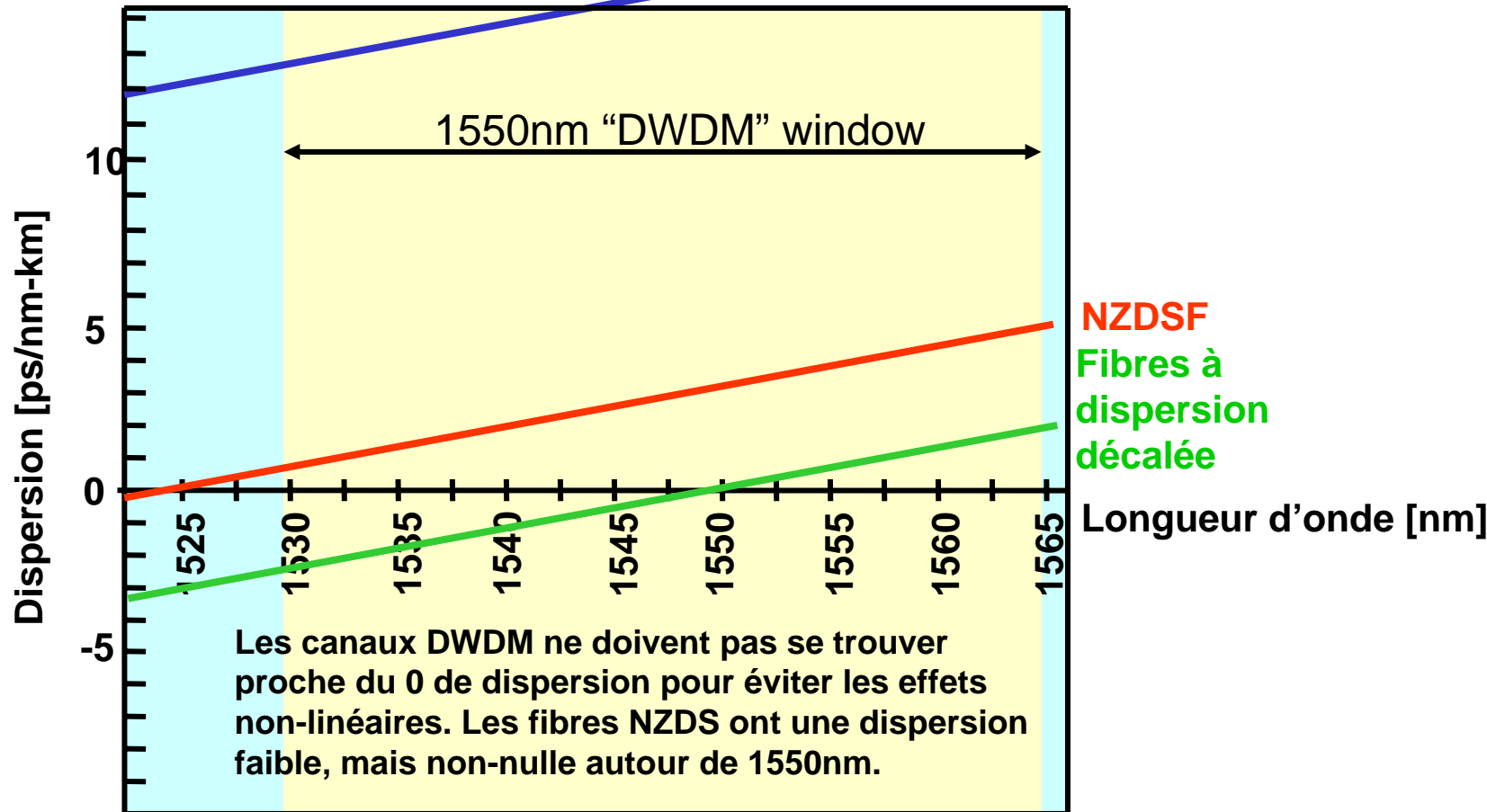
| <i>Fiber Type</i> | <u><i>Attenuation</i></u> <i>(dB/ km)</i> | | <u><i>Chromatic Dispersion</i></u> <i>(ps/ nm* km)</i> | |
|------------------------------|--|----------------|---|----------------|
| | <i>1310 nm</i> | <i>1550 nm</i> | <i>1310 nm</i> | <i>1550 nm</i> |
| 9/ 125 Conventional (SMF-28) | 0.35 | 0.25 | 0 | 17 |
| 9/ 125 Dispersion Shifted | 0.35 | 0.25 | -15 | 0 |
| 9/ 125 WDM Optimized | 0.35 | 0.25 | -12 | 3 |

Les fibres conventionnelles ("SMF") dites à "dispersion non décalée": G652

Les fibres à "dispersion décalée" ont leurs zéros de dispersion à 1550nm: G653

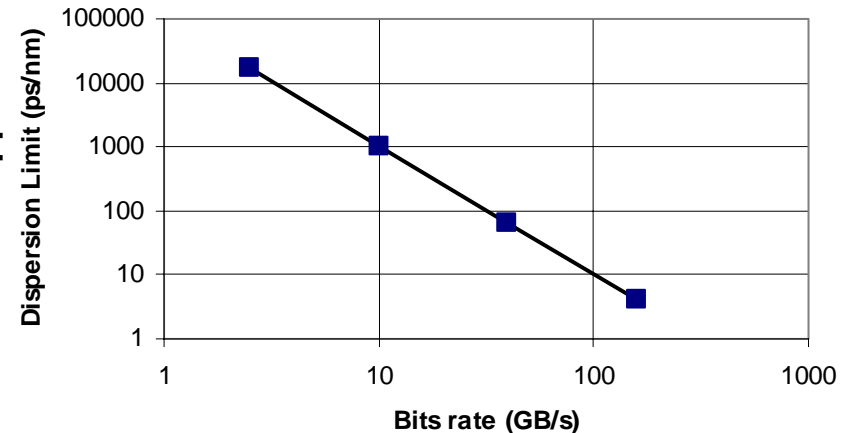
Les fibres optimisées pour les transmissions DWDM sont appelées fibres à dispersions décalées non nulle (NZDSF): G655 (pour réduire les effets non-linéaires)

Profils de dispersion



Pourquoi mesurer la DC sur le terrain ?

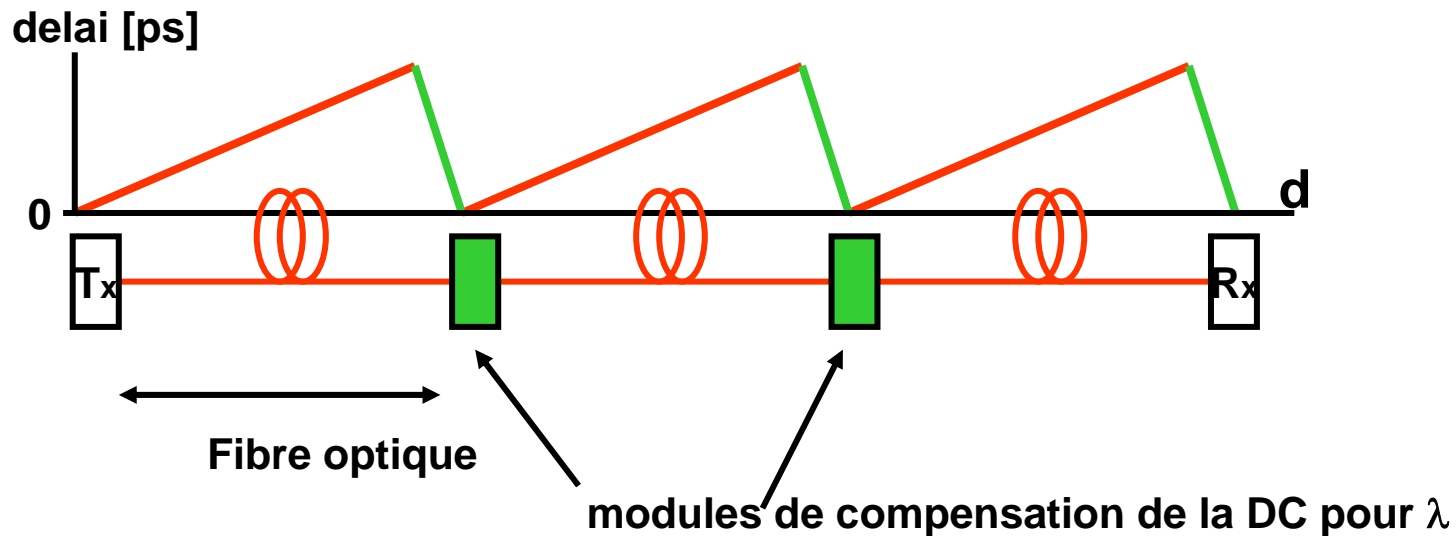
- Pour obtenir des informations sur le support fibre:
 - ◆ Fibre installée compatible avec une bande passante plus élevée => évolution du réseau vers le haut débit, plutôt que nouvelle installation
 - ◆ Vérifier que la fibre puisse supporter l'installation d'un système DWDM
- Pour mettre en place un plan de compensation de dispersion:
 - ◆ À l'installation
 - ◆ Pendant la maintenance



Compensation de la DC

Bonne nouvelle : La DC est stable, prévisible, et contrôlable

- Le zéro de dispersion et la pente sont donnés par le fabricant
- La fibre à compensation de dispersion a une dispersion négative
- Les modules de compensation permettent donc une correction



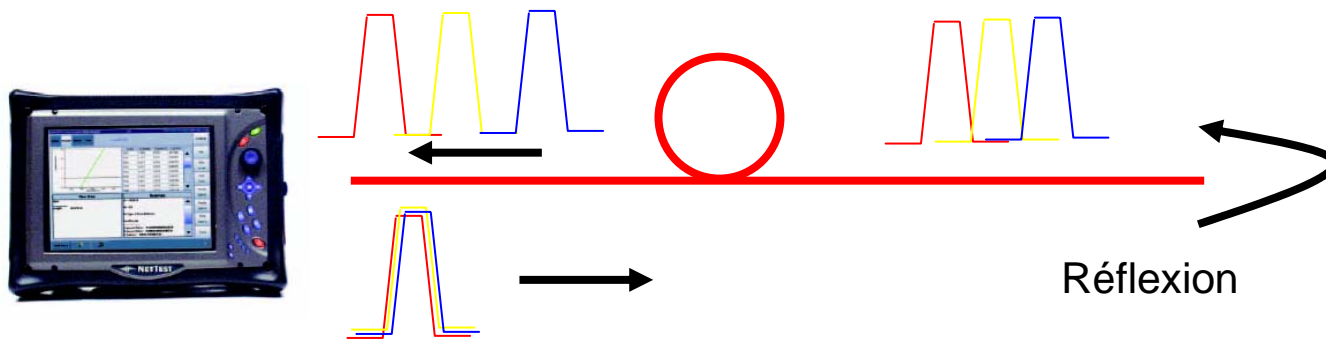
Les concepteurs de systèmes DWDM doivent connaître la DC en fonction de la longueur d'onde sur l'ensemble du lien ... surtout pour les longues distances

Quelques méthodes de mesure

- Temps de vol (OTDR)
- Décalage de phase
=> Phase Shift & Differential Phase Shift

Temps de vol (Time of Flight)

Exemple: 6 traces de réflectomètre avec 6λ différentes, puis *interpolation* de la DC après mesure du retard à chaque λ



TIA Standard FOTP-168

Temps de vol (Time of Flight): AVANTAGES

.Coût réduit:

~ +50% par rapport à un OTDR 1310/1550/1625nm => module à ~28k€

Permet de se servir aussi d'un ODTR !

Accès à une extrémité du réseau => un seul technicien

.Précision suffisante: ~ 0,7ps/nm.km (4%), λ_o à 0,5nm

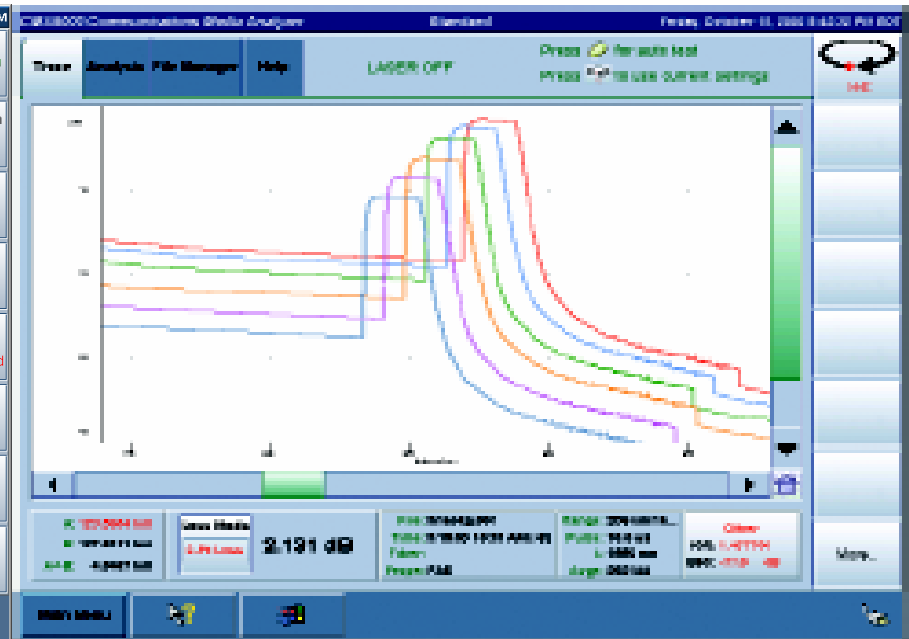
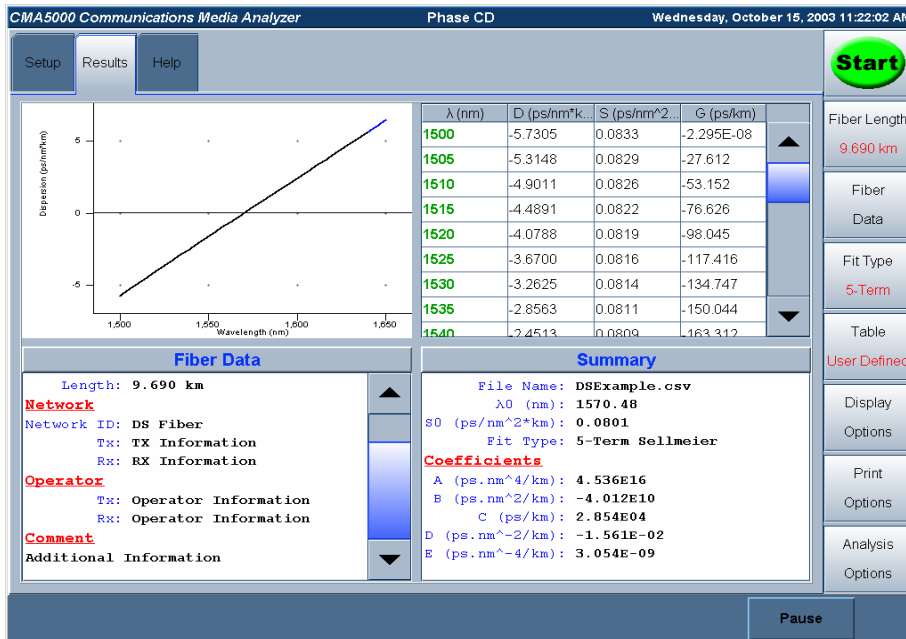
Exemple: 100kms de fibre standard ~ 1800ps/nm => précision de 72ps/nm

Après compensation, cette DC résiduelle est acceptable même à 10Gb/s !



Temps de vol (Time of Flight): AVANTAGES

Facile d'emploi: menu dédié DC



Temps de vol (Time of Flight): LIMITES

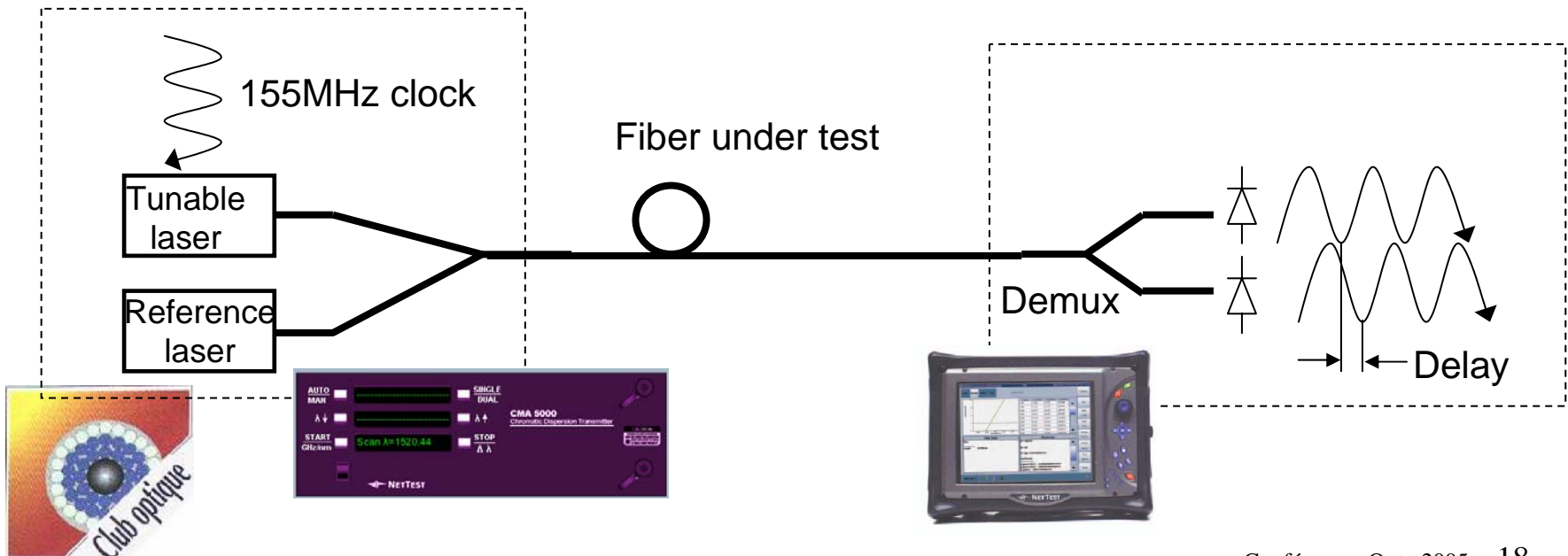
- Dynamique limitée avec un OTDR à 1310/1550/1625nm (38dB) pour la mesure de DC à ~ 30dB (=> 80km)
=> pas pour les grandes distances (mais HD en projet: 120km)
Le temps de mesure dépend de la longueur de fibre (< 4mn pour 50km)
- L'interpolation de la DC nécessite au moins 5 points (λ)
- Il faut une réflexion à la fin de la fibre (pas de connecteur APC)
- Pas d'utilisation à travers les amplificateurs EDFA (isolateurs => blocage du signal rétrodiffusé)

Décalage de phase (Phase Shift)

TIA standard FOTP-175

Δ phase entre signal reçu et signal de référence
modulé en amplitude \Leftrightarrow retard temporel

Utilisation d'une source accordable pour balayer les λ



Décalage de phase (Phase Shift)

- La méthode « Differential Phase Shift » utilise une source DEL à spectre large d'un côté et un monochromateur de l'autre pour sélectionner les λ . La longueur d'onde de la source est aussi modulée => mesure directe de la dispersion
- Mais la méthode avec une source accordable ne nécessite qu'une seule fibre au lieu de 2
- Largeur spectrale plus fine => moins de bruit sur le détecteur => plus de précision sur la mesure de retard de groupe
- Source accordable: puissance cste (λ) => dynamique cste (λ)
 - $\Delta\lambda = 10\text{pm}$: bcp de points en « zone » DWDM, & test possible sur fibre active



Décalage de phase: AVANTAGES

- Flexible: mesures de DC sur toutes liaisons avec ou sans EDFA, ADM (Add/Drop Mux), trafic ...
- Dynamique: très faibles à très fortes DC mesurables
dynamique en longueur: > 40dB
- Précis: $\sim 0,05\text{ps/nm.km}$, λ_o à 0,5nm (=> bonnes valeurs de compensation) et rapide (<1s par point de mesure => $\sim 30\text{s}$)

Décalage de phase: LIMITES

- Accès nécessaire aux 2 extrémités du réseau
- Prix > / OTDR (~ 90k€) ...

Pour conclure sur la DC

- Base OTDR: suffit pour les applications métré
- Phase: réseaux longues distances ou à travers les EDFA
- Complémentaire de la mesure de PMD
- LOCATION POSSIBLE !

Pour plus d'infos ...

- Mesures sur les fibres optiques
- Raccordement
- Vidéo ...

Retrouvez toutes les solutions optiques
sur notre stand J35 du salon OPTO !

MERCI DE VOTRE ATTENTION

