



Laser à fibre pour les télécommunications multiplexées en longueur d'onde :

Etude de l'accordabilité en longueur d'onde et de la génération de trains d'impulsions multi-longueurs d'onde par voie électro-optique

S. CALVEZ

Travail réalisé au laboratoire GTL-CNRS Telecom / LOPMD
Doctorat commun avec le Georgia Institute of Technology (Atlanta)

20 Juin 2002

Plan



- Contexte et objectifs de l'étude
- Architecture du laser
 - ◆ Amplificateur à fibre dopée erbium (EDFA)
 - Description
 - Modélisation
 - ◆ Filtre accordable
- Fonctionnements
 - ◆ Laser accordable impulsionnel
 - ◆ Génération de trains multi-longueurs d'onde d'impulsions
- Conclusion & Perspectives

Contexte

- Multiplexage en longueur d'onde (WDM)
 - A chaque flux est associée une longueur d'onde
- Liaisons point-à-point

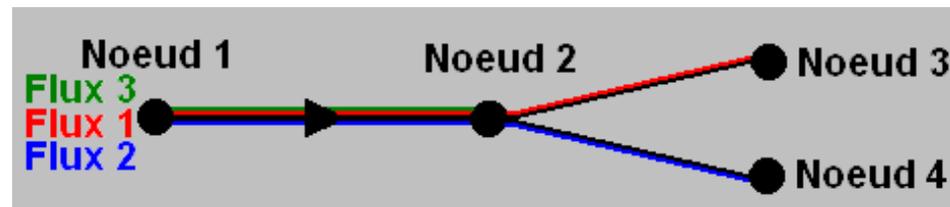


- ◆ Déploiement :

- Lasers DFB
- EDFA

Laser multi-longueurs d'onde (impulsionnel)

- Réseaux routés en longueur d'onde :

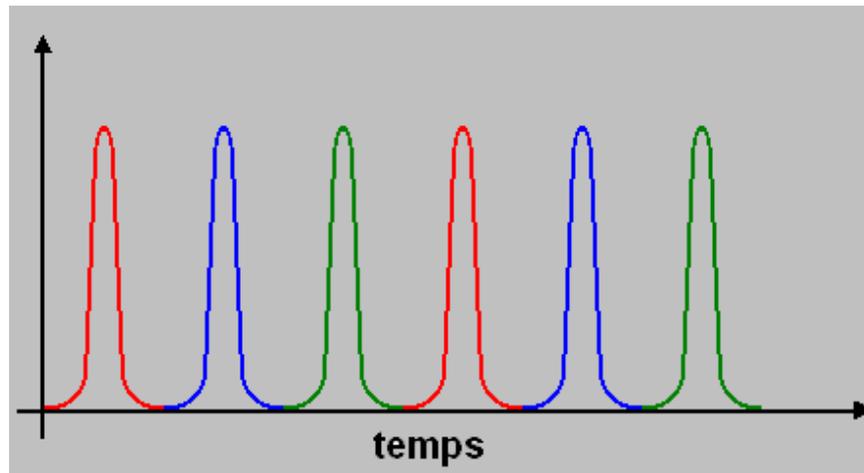


Source accordable (impulsionnelle)

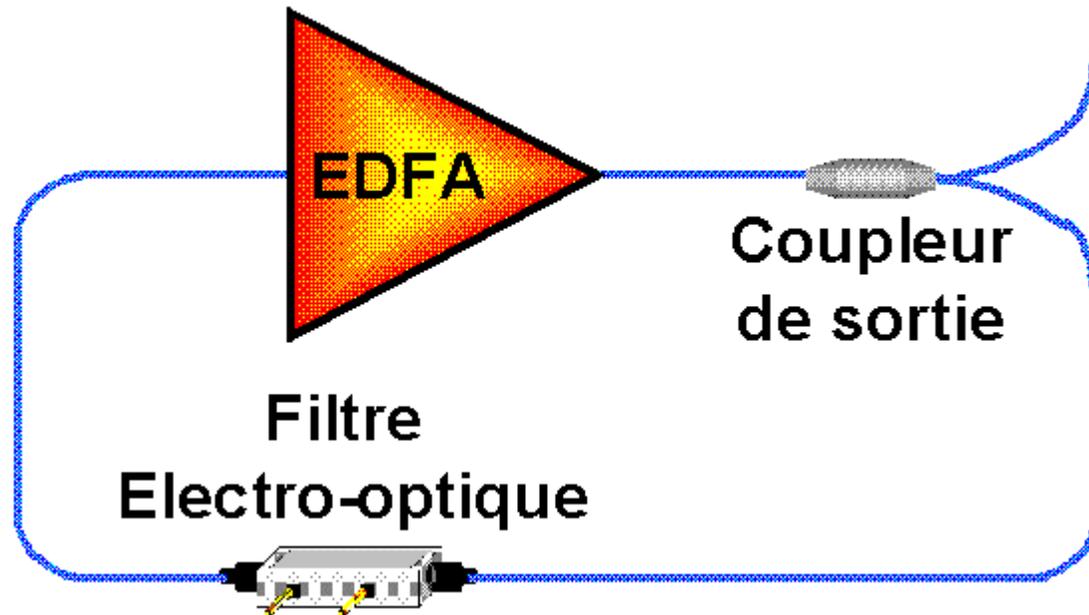
Objectifs de l'étude



- Construire un laser accordable sur une large gamme spectrale autour de $1,55\mu\text{m}$
- Utiliser cette source laser pour générer des trains d'impulsions dont chacune a sa propre longueur d'onde



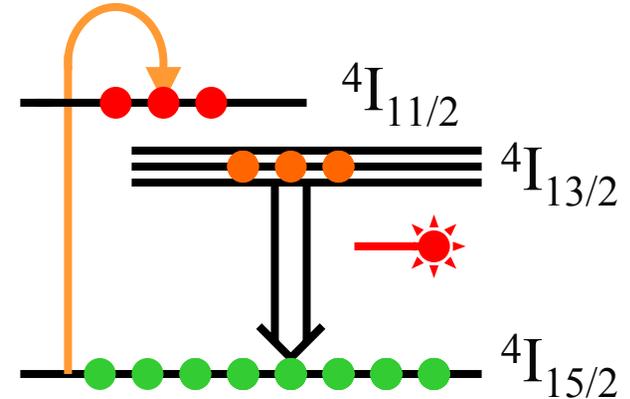
Architecture de principe du laser



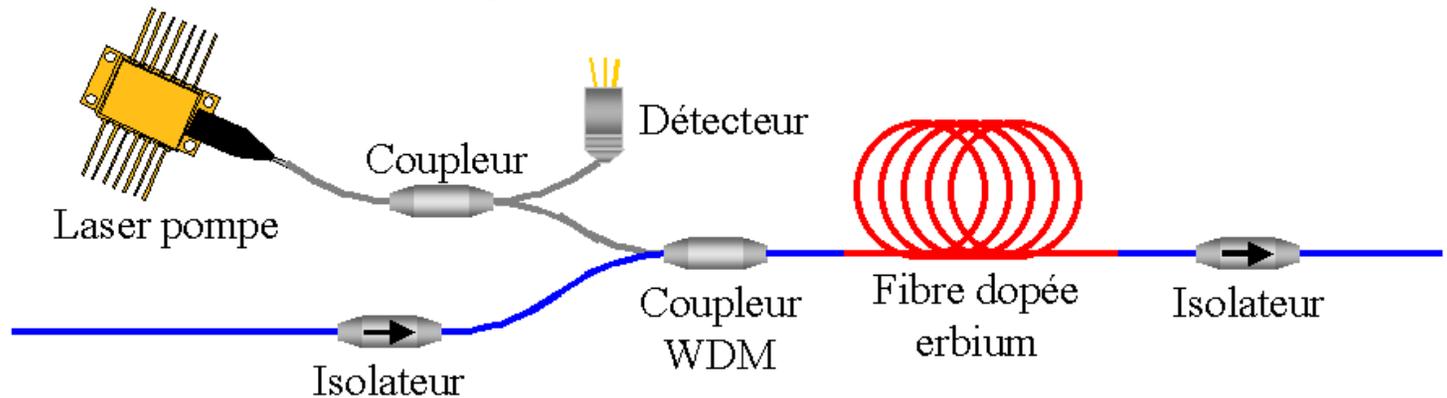
EDFA : Description



- Ion erbium
Pompe à 980nm
Emission à 1550nm



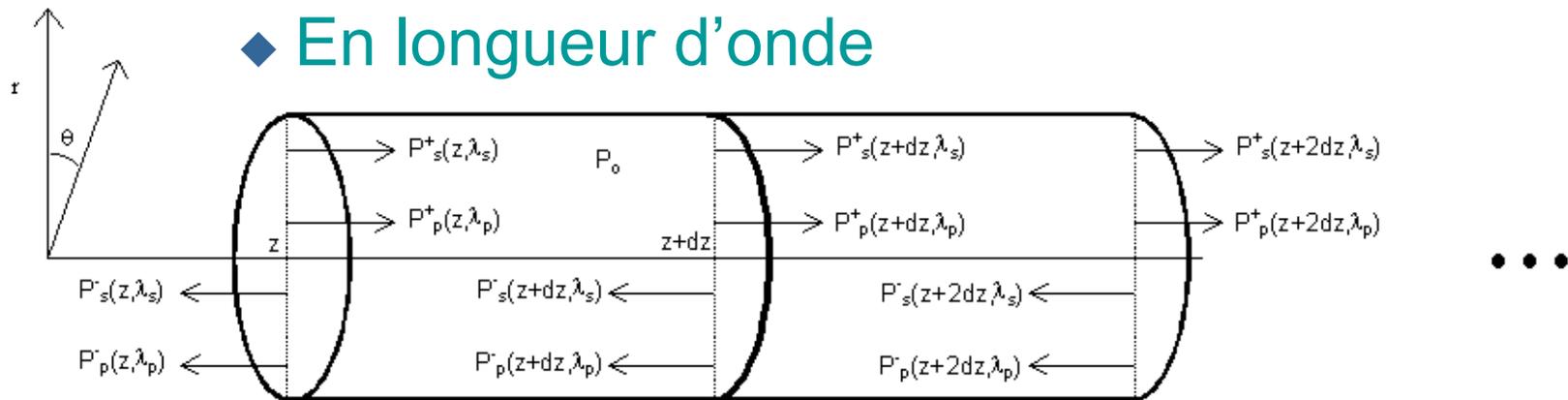
- Constitution typique d'un EDFA



EDFA : Modélisation



- Résolution combinée de
 - ◆ Equations de propagation
 - ◆ Répartition des ions entre les 3 niveaux.
- Deux discrétisations
 - ◆ Le long de la fibre
 - ◆ En longueur d'onde



EDFA : Modélisation



- Principe de Résolution
 - ◆ Initialisation avec le spectre d'entrée du signal et la puissance pompe incidente
 - ◆ Evaluation du coefficient de gain à partir des paramètres de simulation sur un tronçon
 - ◆ Calcul de la puissance en sortie du tronçon par **formule analytique et non pas par méthode numérique**
 - ◆ Nouvelle itération sur la totalité de la fibre en tenant compte du signal contra-propagatif
 - ◆ Poursuite du processus jusqu'à stabilisation / Arrêt 2%

EDFA: Modélisation - Méthodologie



- Méthodologie
 - ◆ Détermination des paramètres de simulation
 - Sections efficaces
 - La densité d'ions erbium
 - Le coefficient d'absorption de la fibre
 - ◆ Modélisation de l'amplificateur
 - ◆ Autre application : Modèle du laser

Détermination des paramètres

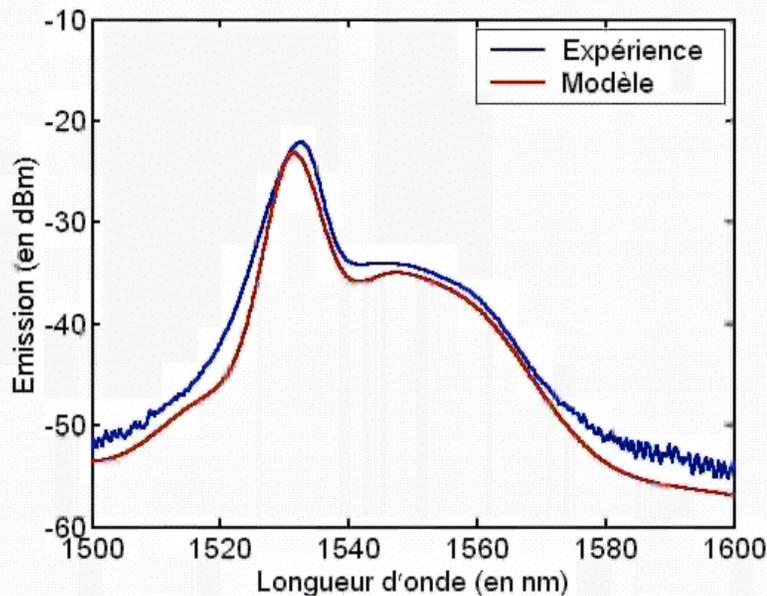


- Nécessité de déterminer les paramètres de simulation (par méthode non destructive)
 - ◆ Prédétermination des paramètres par mesure du gain, de l'absorption, de l'ASE
=> Paramètres d'initialisation
 - ◆ Optimisation de la valeur des paramètres pour reproduire numériquement les spectres expérimentaux d'ASE et d'absorption large bande

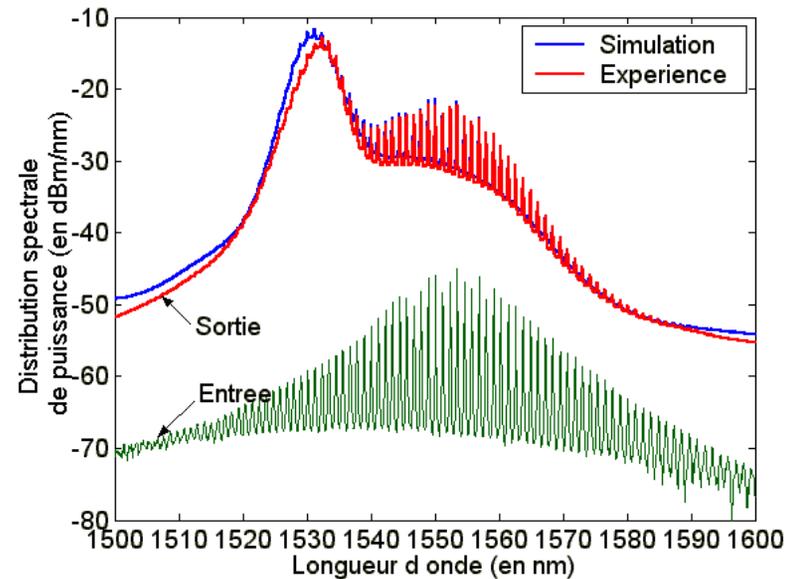
EDFA : Résultats



- Emission spontanée amplifiée (ASE)



- Amplification multi-canal

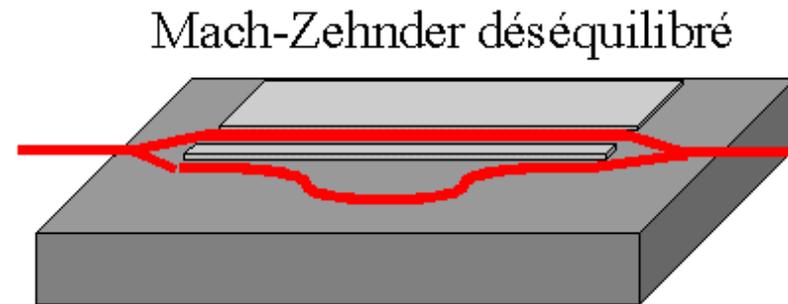
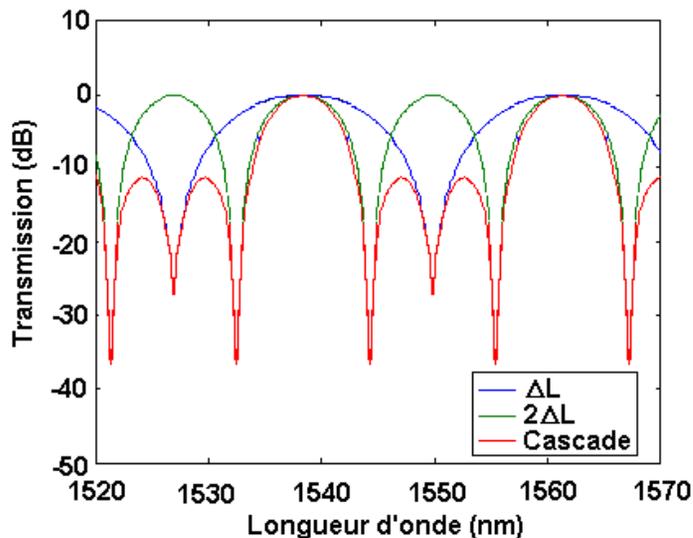


Filtre accordable : Conception



■ Filtre de Lyot

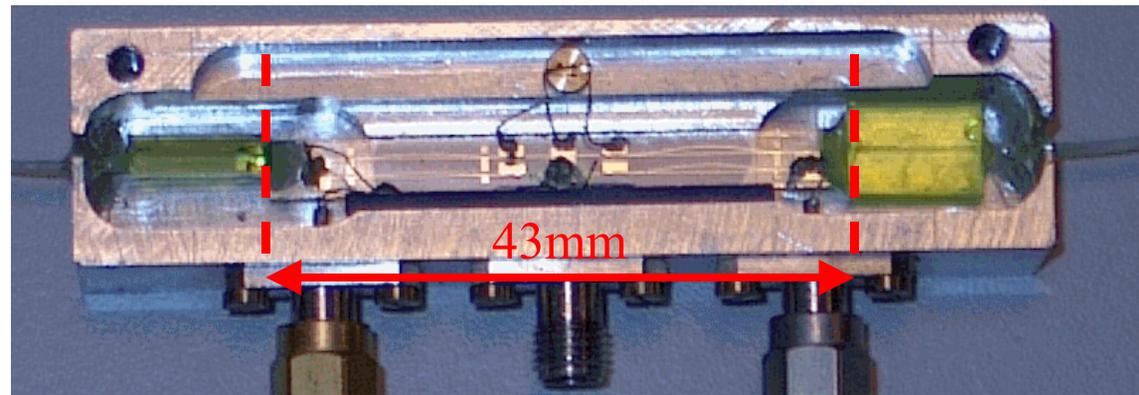
- ◆ Cascade de lames à retard $\Delta L_n = 2^{n-1} \Delta L_1$
- ◆ En optique intégrée,
 - Lame => Mach-Zehnder déséquilibré
 - Accordabilité par effet électro-optique (V_n)
 - Décalage sans déformation : $V_n = 2^{n-1} V_1$



Filtre accordable : Réalisation



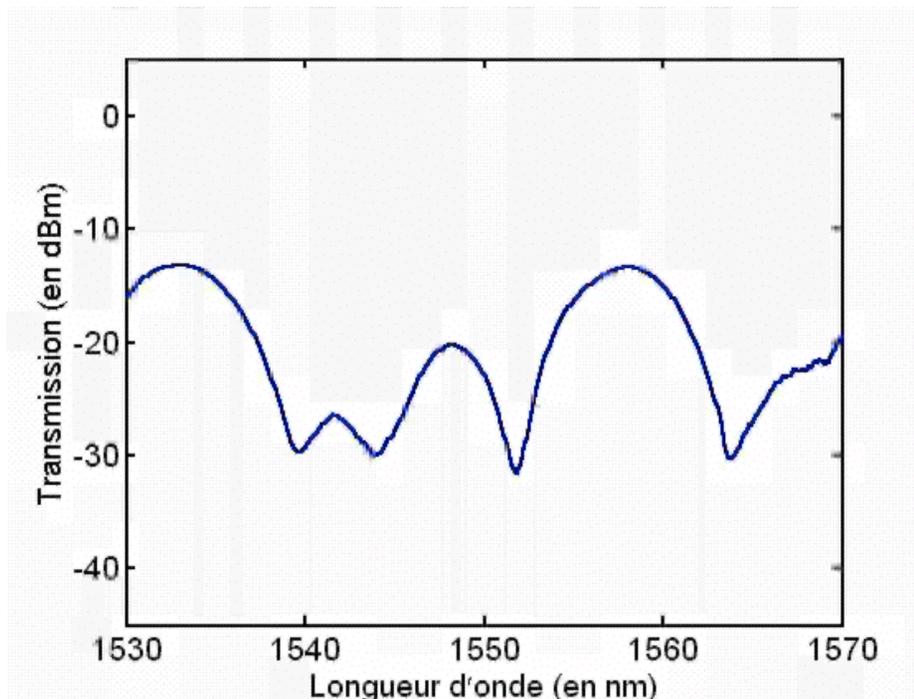
- Deux éléments en cascade
- Intégré sur niobate de lithium
- Coupe Z, propagation Y
 - ◆ Faibles tensions de commande
 - ◆ Fonctionnement selon le mode TM
- Réalisé au LOPMD par X. Rejeaunier



Filtre accordable : Caractérisation



- Déplacement quasi sans déformation



Pertes $\approx 12,4\text{dB}$

$ISL_T \approx 24,4\text{nm}$

$\Delta\lambda \approx 6,1\text{nm} \approx ISL_T/4$

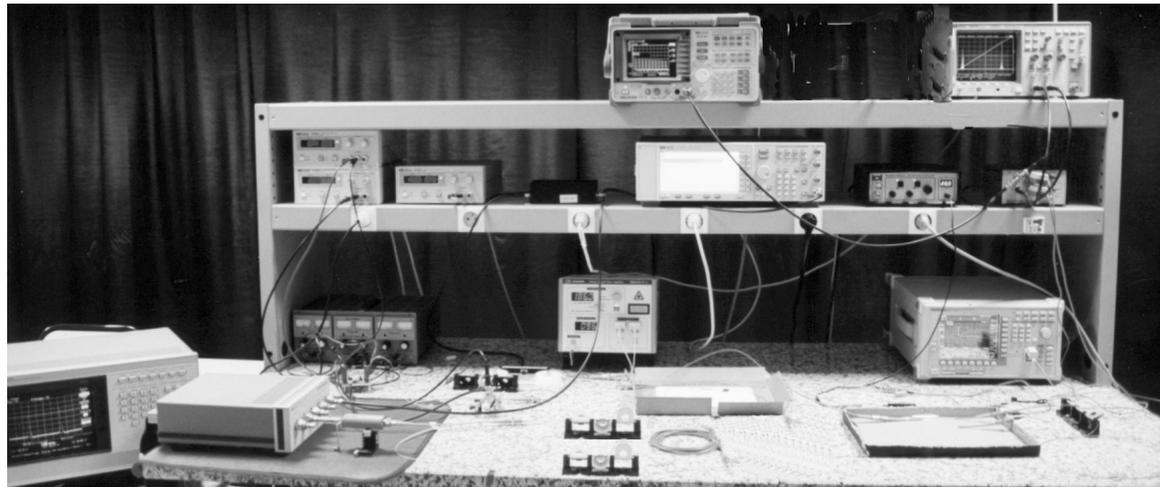
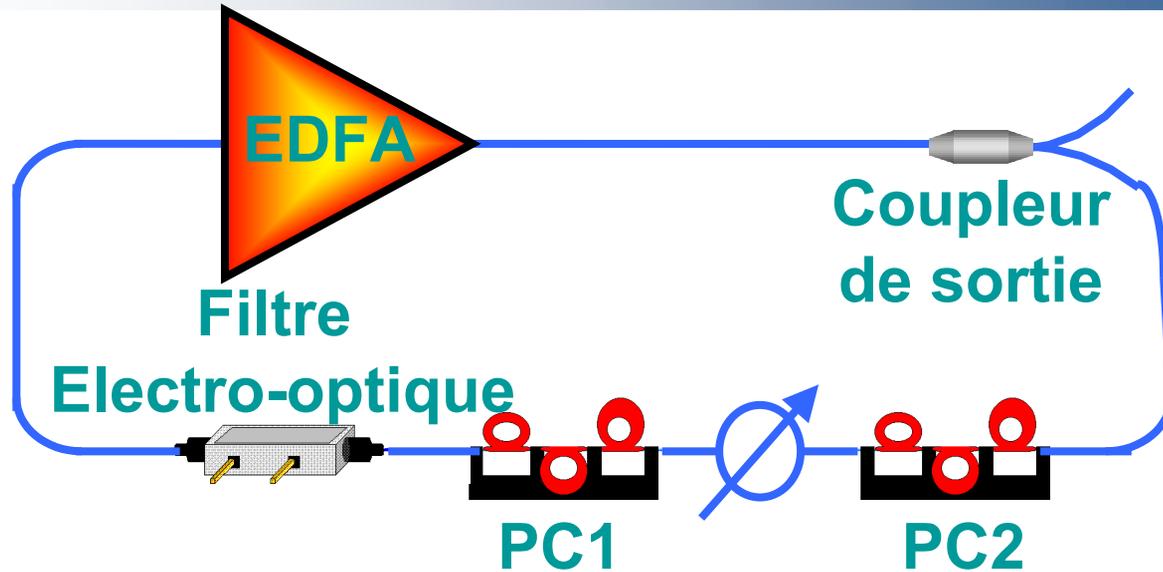
$SMSR > 10\text{dB}$

$\Delta V_{\text{max}} < 20,4\text{V}$

$f < 143\text{ MHz}$

Déplacement linéaire avec la tension

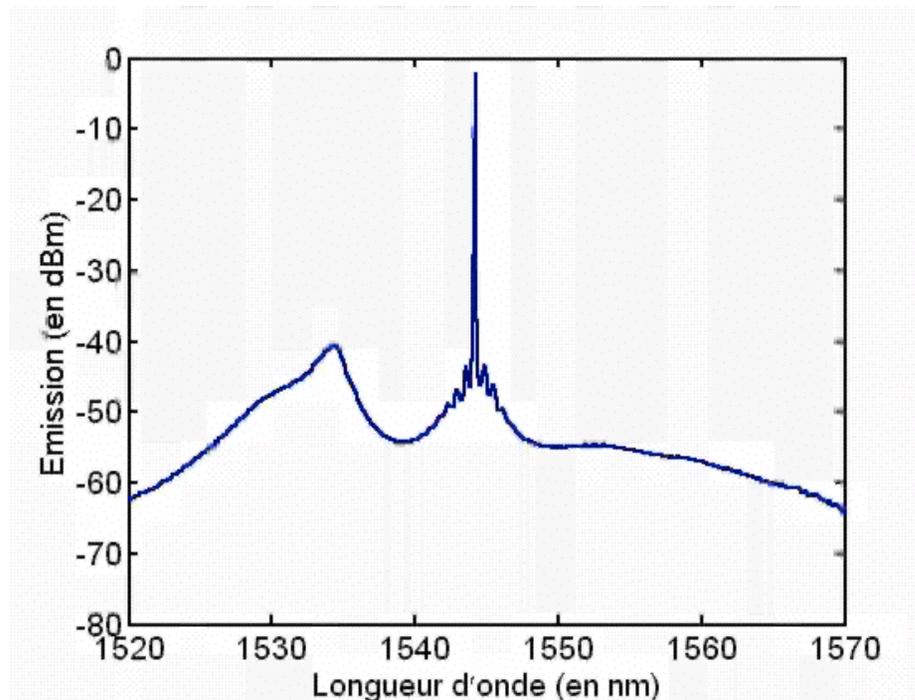
Laser accordable : Schéma



Laser accordable : Accordabilité



■ Accordabilité



$$\Delta\lambda = 18,8\text{nm}$$

$$P_{\text{max}} = -4.3\text{dBm}$$

$$\Delta P < 5,7\text{dB}$$

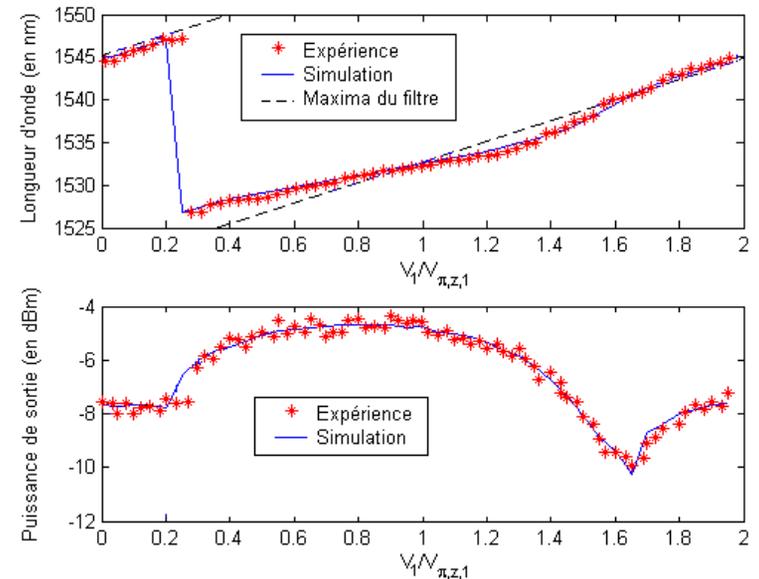
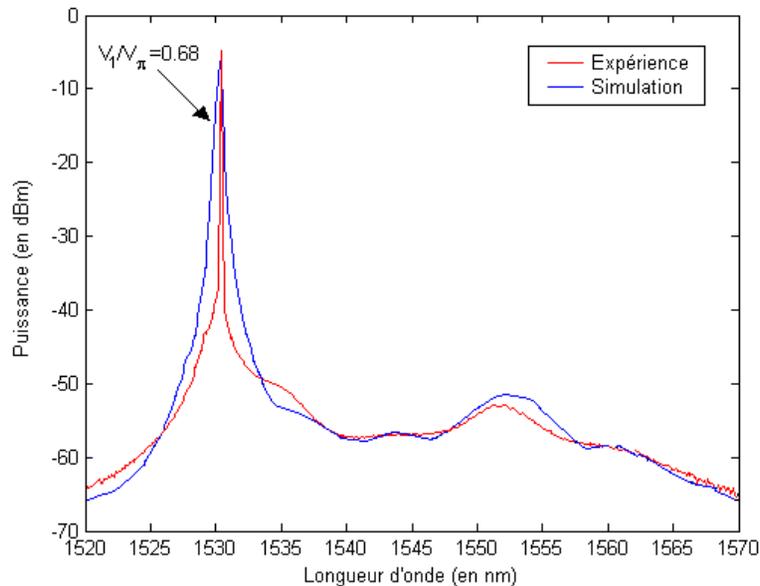
$$\text{SMSR} > \approx 30\text{dB}$$

$$\lambda \sim aV + \lambda_0$$

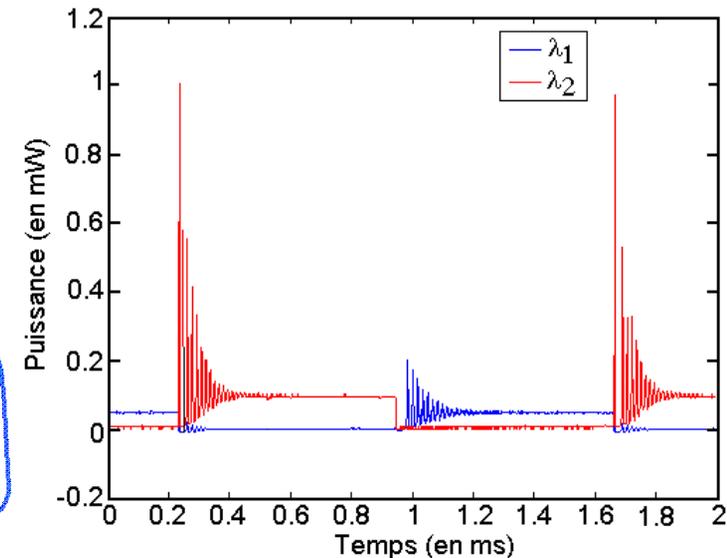
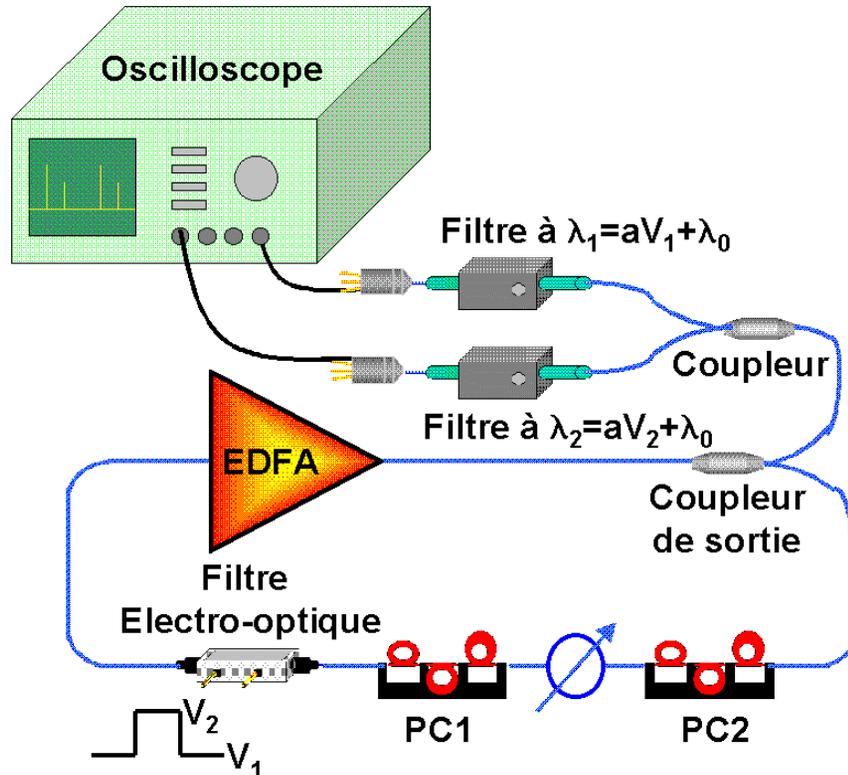
Laser accordable : Accordabilité



- Modélisation du laser
 - ◆ Basée sur le modèle l'EDFA
 - ◆ Inclut la recirculation et le filtre

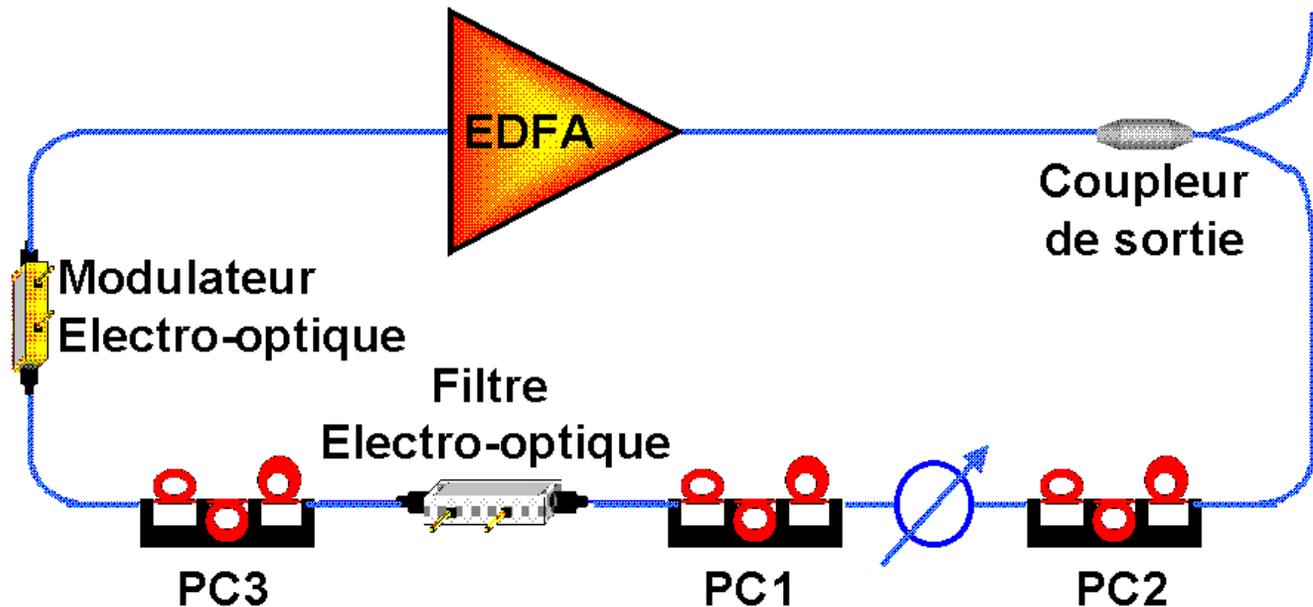


Laser accordable : Commutation



Limite de commutation = Réponse de l'EDFA

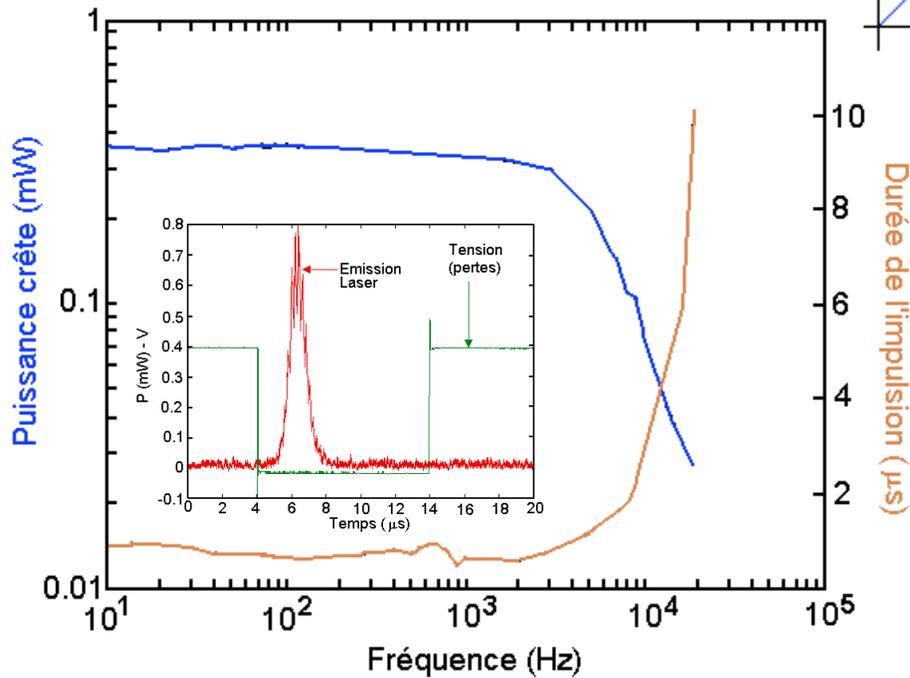
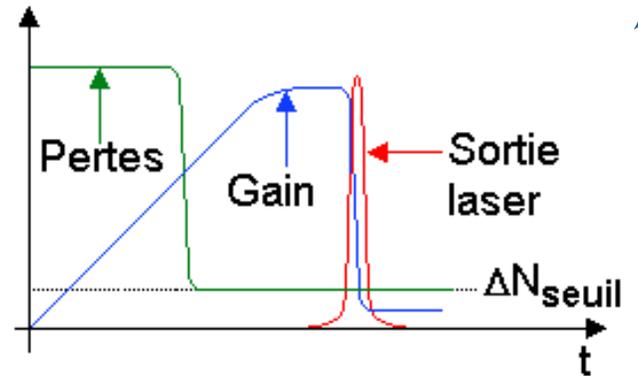
Laser accordable impulsif : Schéma



Laser accordable impulsionnel (1)



Mode déclenché



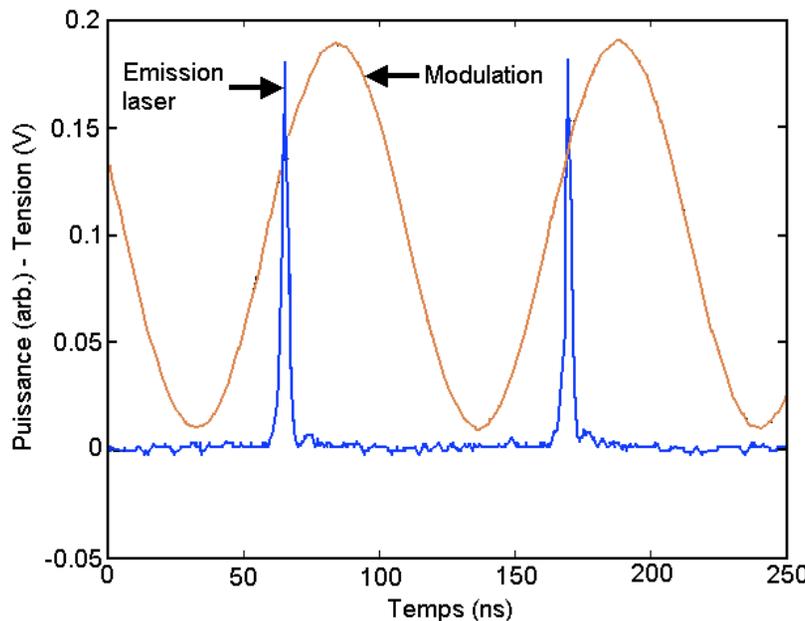
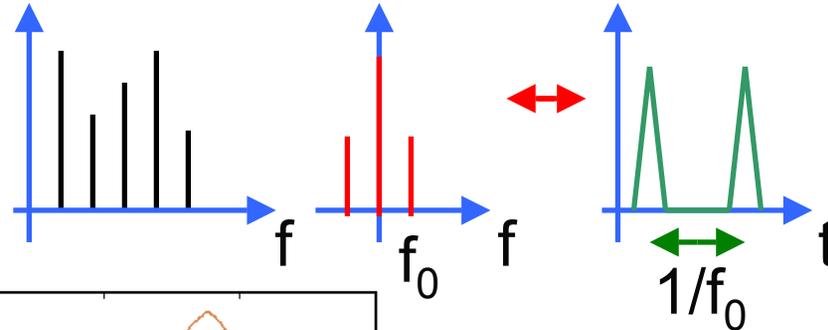
$\Delta t \approx 1,2 \mu s$
 $f < 30 \text{ kHz}$

Générer des impulsions = fonctionnalité du filtre

Laser accordable impulsif (2)



Synchronisation active de modes



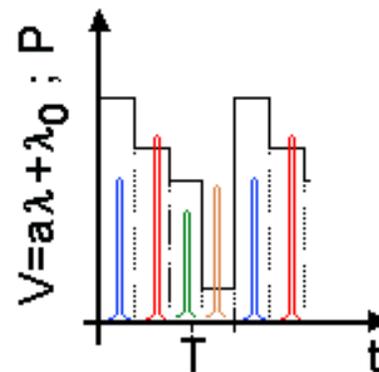
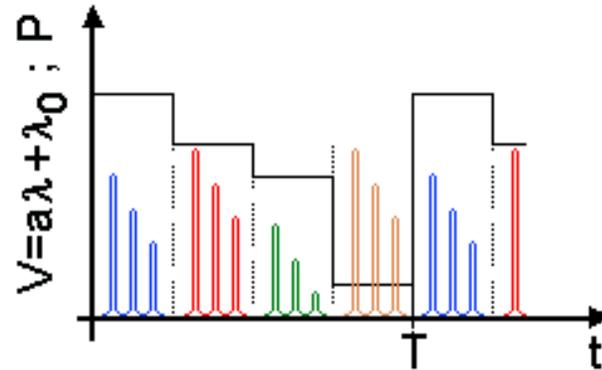
$$\Delta t \propto f^{-0.5}$$

$$\Delta t \approx 17,3 \text{ ps à } f=400 f_0$$

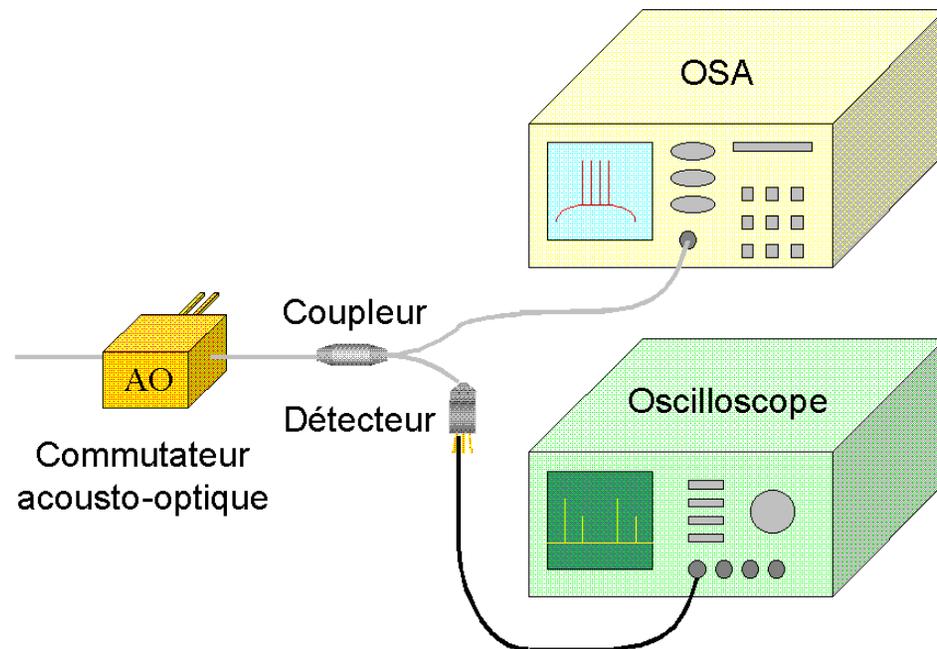
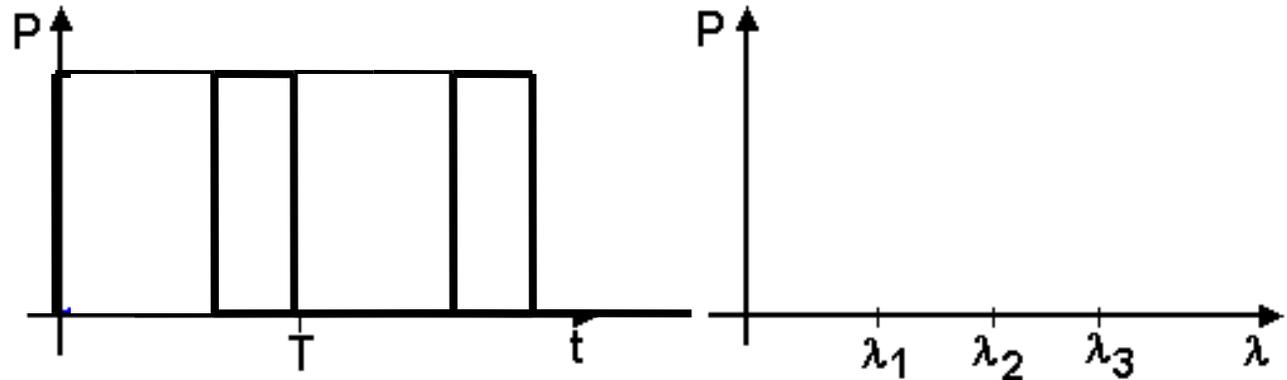
$$\Delta t \Delta \nu \approx 0.448$$

Générer des impulsions = fonctionnalité du filtre

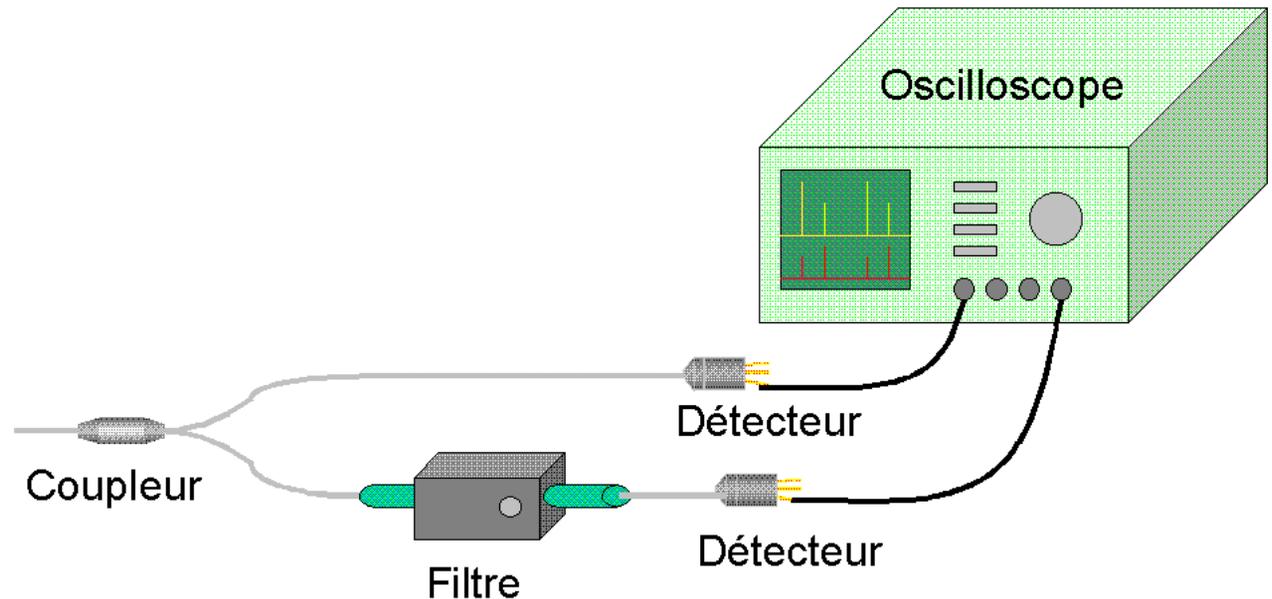
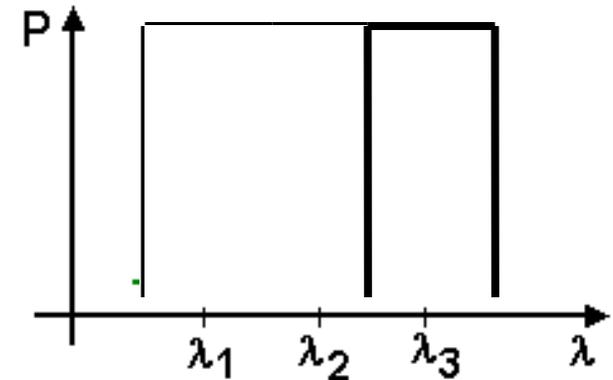
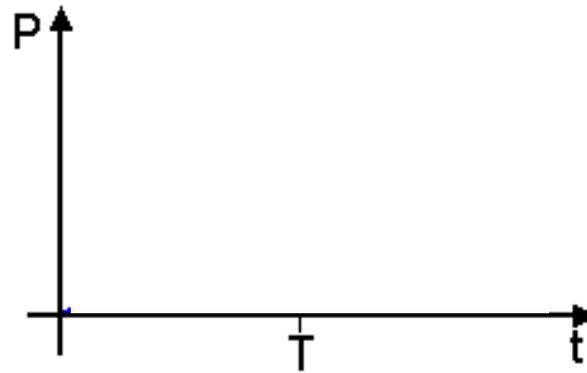
Génération de trains multi-longueurs d'onde d'impulsions



Caractérisation : Fenêtrage temporel



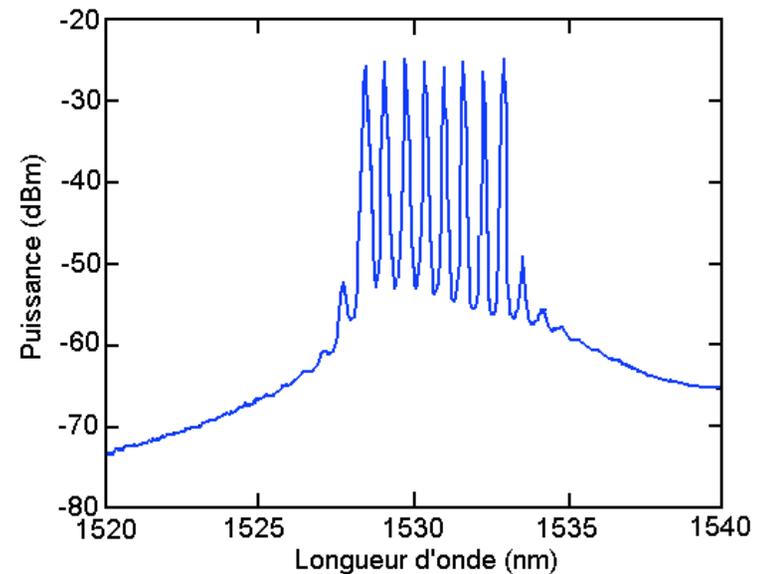
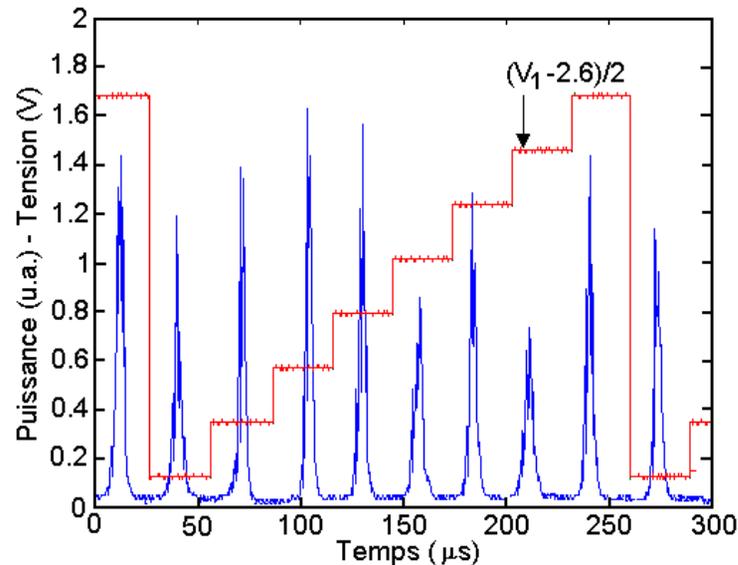
Caractérisation : Fenêtrage spectral



Génération de trains multi-longueurs d'onde d'impulsions



- Signaux en escaliers



- ◆ Oscillations entretenues
- Validation des méthodes d'analyse
- Etendu à d'autres formes de signaux

Conclusion et Perspectives



- Accordabilité
 - ◆ 18,8nm soit 24 canaux ITU (100GHz)
 - ◆ $\Delta P < 5,7\text{dB}$
- Améliorations des performances

Paramètres	Solutions
Puissance	Pertes du filtre
SMSR	Sélectivité du filtre

Conclusion et Perspectives (2)



- Génération de trains multi-longueurs d'onde d'impulsions
 - ◆ Développement et validation de l'analyse
 - ◆ Démonstration à faible fréquence
 - Signaux en escalier : 8 impulsions / 8λ
 - Extension à d'autres formes
 - ◆ Haute fréquence
 - Génération d'impulsions par balayage
 - ◆ Perspectives
 - Multi-longueurs d'onde à haute fréquence
 - Analyse théorique à développer

Questions

