

# Fonctions et systèmes à base de SOA pour la conversion de fréquences et la transmission IR-UWB sur fibre

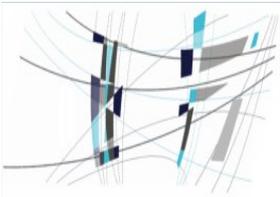
Ammar Sharaiha, Thierry Rampone, Stéphane Azou

*UMR CNRS 6285 Lab-STICC, École Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB)*



JCOM 2017 LIMOGES, 3 Juillet 2017

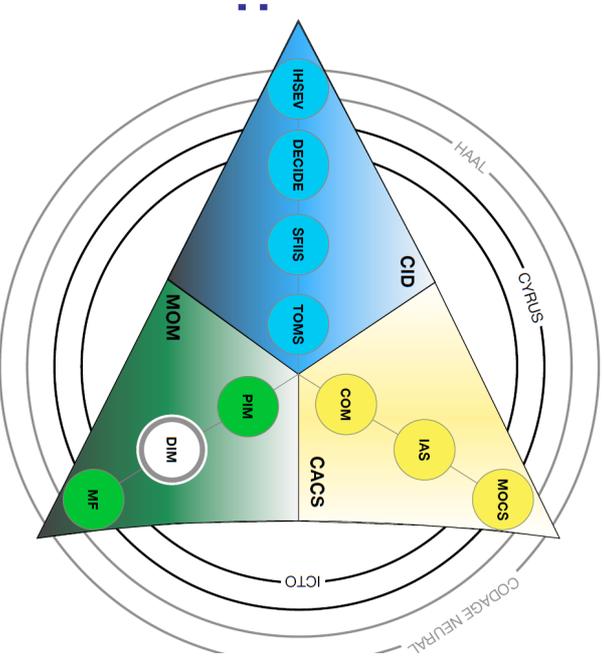




# Activités de l'équipe DIM

- ❖ Lab-STICC UMR CNRS :
  - ❖ Regroupe 600 membres de 5 établissements
  - ❖ 3 pôles de recherche : du capteur jusqu'à la connaissance
- ❖ Equipe Dispositifs et Interfaces Multiphysiques (DIM) :
  - ❖ Equipe dans le pôle Micro-ondes, Optoélectronique et Matériaux (MOM)
  - ❖ Regroupe 35 permanents de 4 établissements sur Brest,
  - ❖ Recherche menée : hyperfréquences, photonique, **interaction optique - micro ondes**, systèmes et capteurs

(\*) : IMT Atlantique, UBO, UBS, ENSTA Bretagne, ENIB





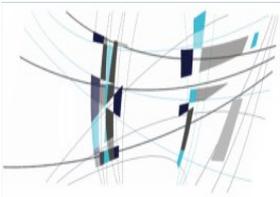
# Plan

- ❖ Fonctions de mélange à base de SOA
- ❖ Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA
- ❖ Perspectives



# Plan

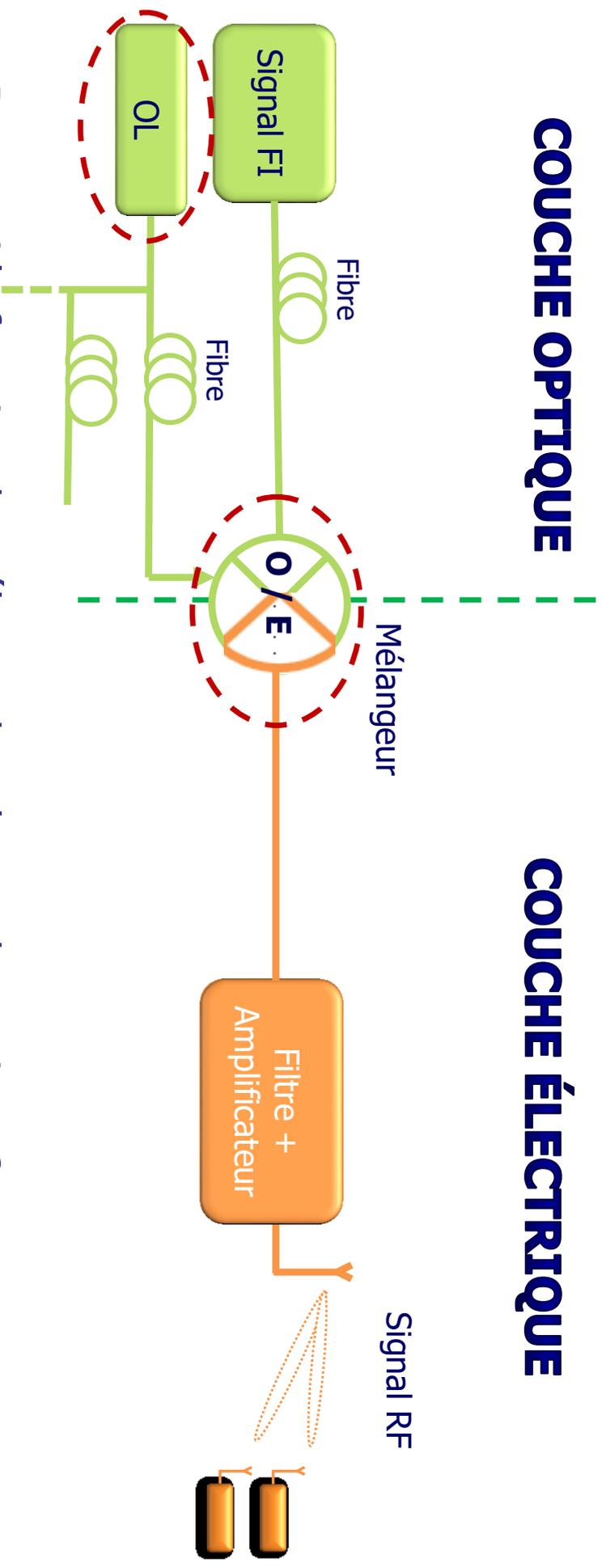
- ❖ Fonctions de mélange à base de SOA
  - ❖ Architectures de mélange
  - ❖ Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI
- ❖ Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA
- ❖ Perspectives



# Architectures de mélange tout optique : mélangeur dans la couche optique (1/4)

## COUCHE OPTIQUE

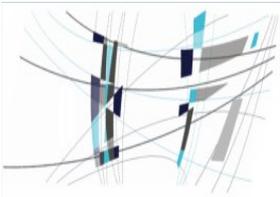
## COUCHE ÉLECTRIQUE



❖ Pourquoi la fonction de mélange dans la couche optique ?

- ❖ OL électrique : Implémentation délicate pour des fréquences élevées
- ❖ Avantages : OL optique peut être délocalisé et mutualisé, Montée en débit par le multiplexage en longueur d'onde, Immunité aux interférences électromagnétiques...

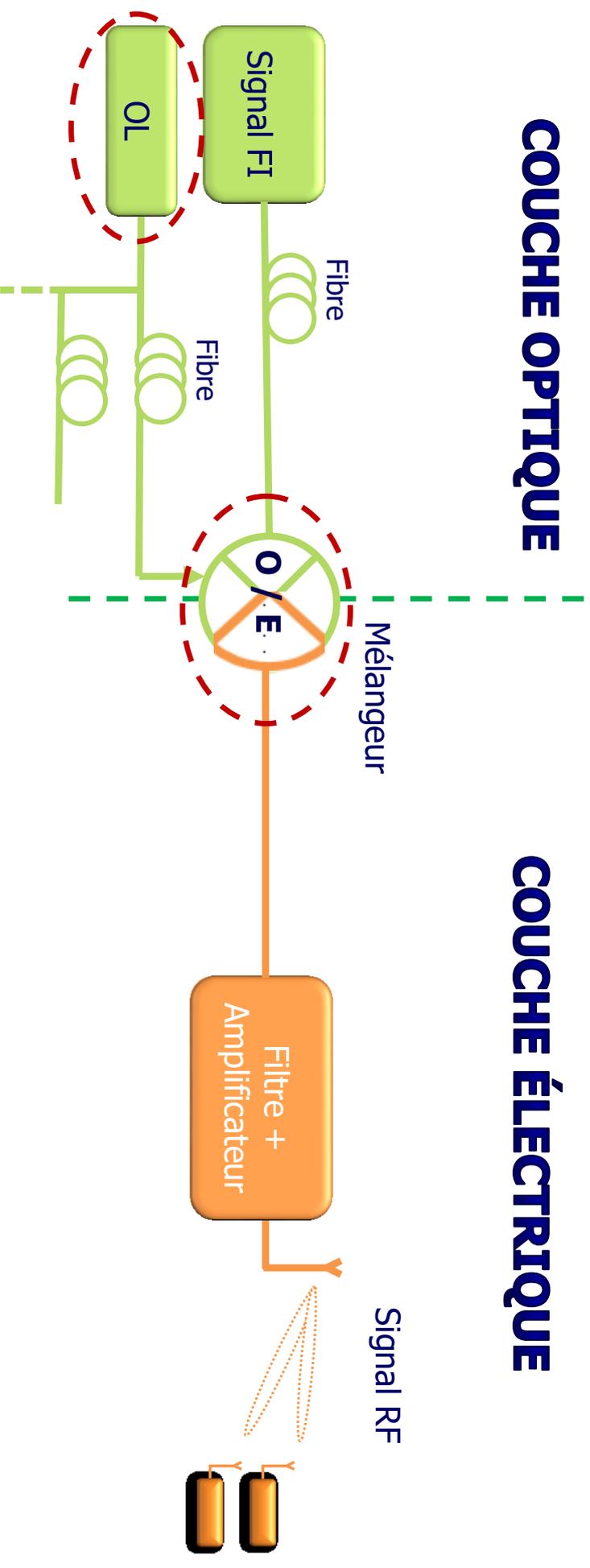
FI: Fréquence Intermédiaire, OL: Oscillateur Local, O/E: Optique/Electrique



# Architectures de mélange tout optique : mélangeur dans la couche optique (1/4)

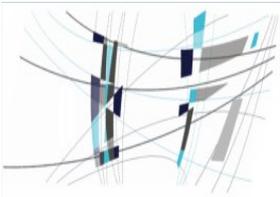
## COUCHE OPTIQUE

## COUCHE ÉLECTRIQUE

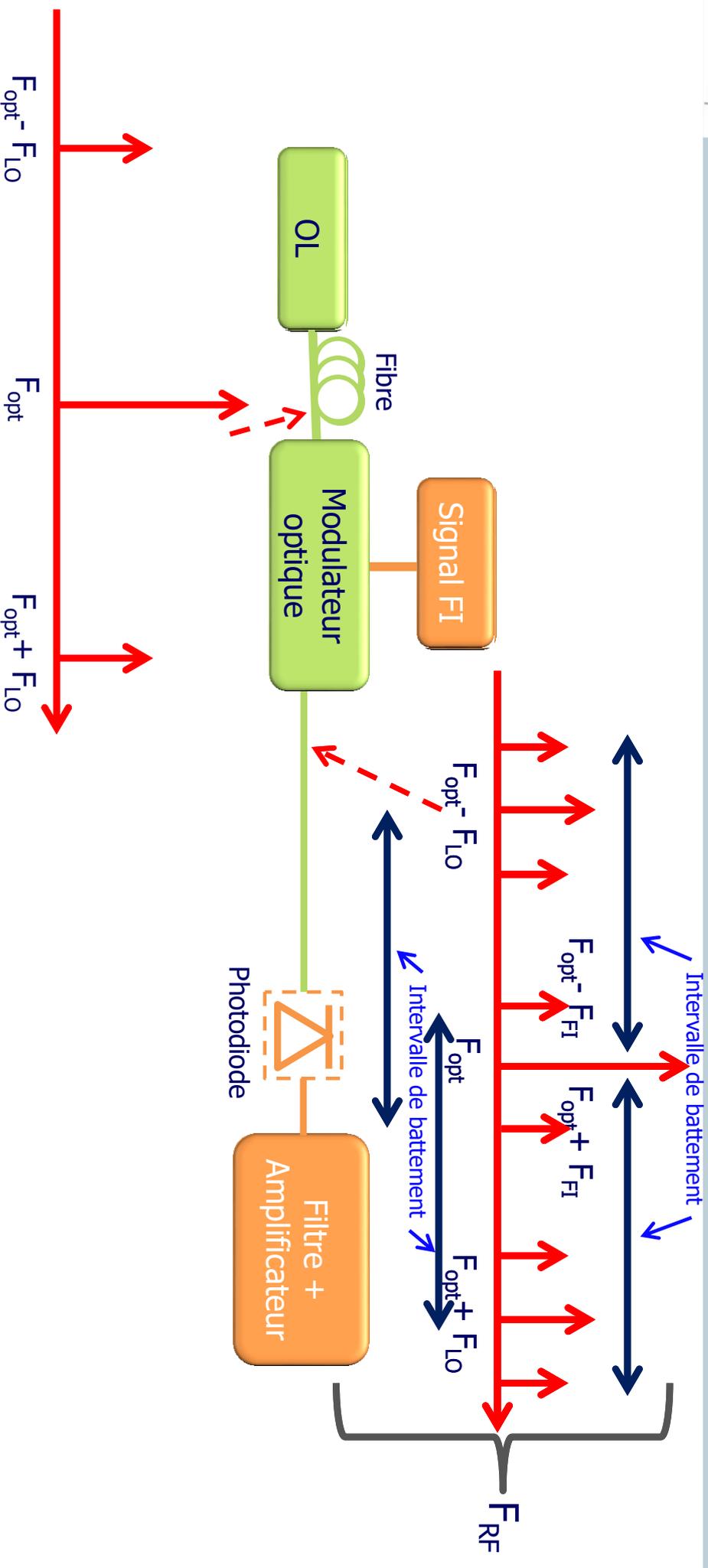


Les architectures peuvent être :

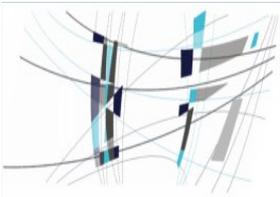
- ❖ Électro-optique,
- ❖ Tout-optique



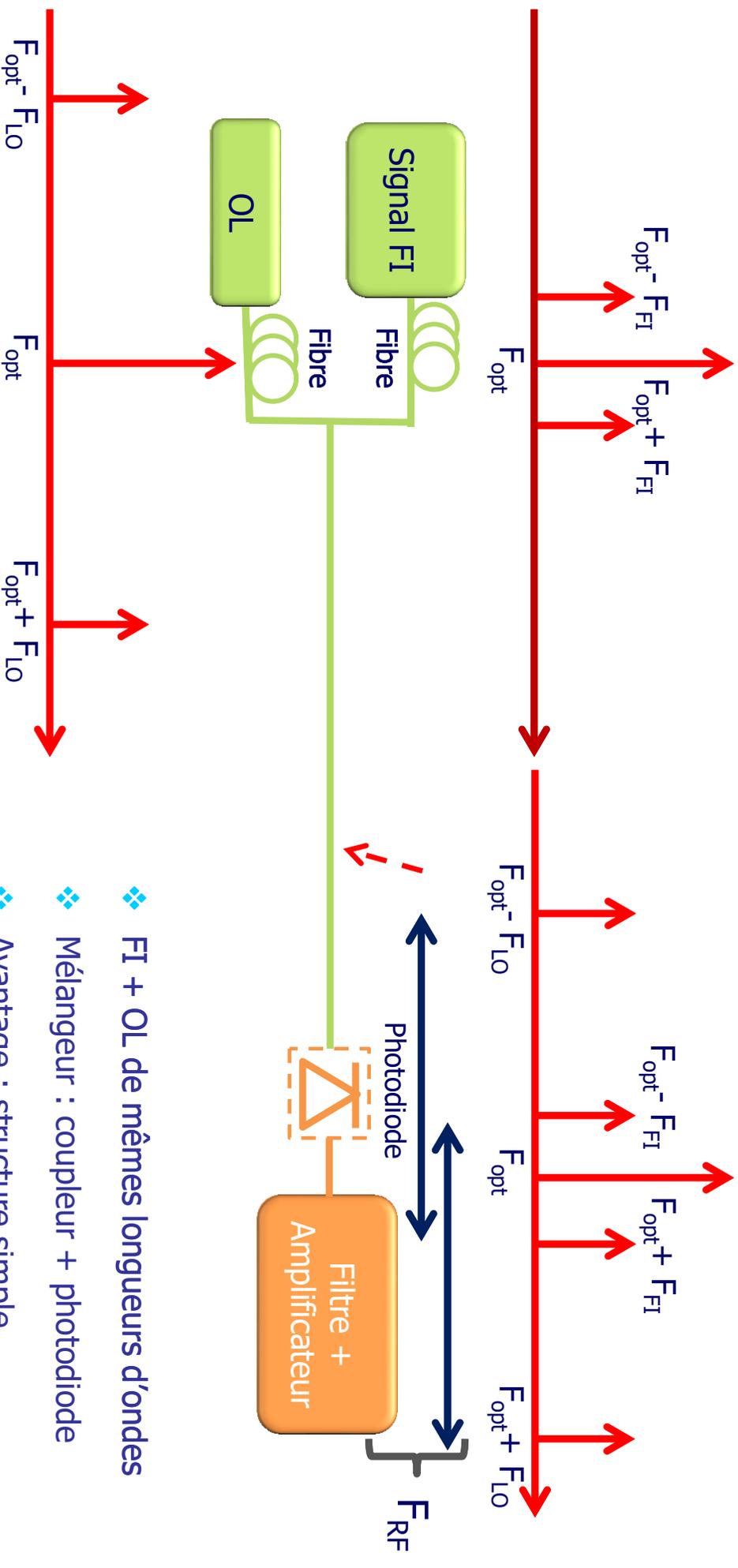
# Architectures de mélange tout optique : Mélangeur électro-optique (2/4)



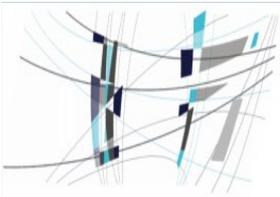
- ❖ FI électrique + OL optique
- ❖ Mélangeur : modulateur + photodiode (détection quadratique)
- ❖ Architectures à base de MZM, EAM, SOA



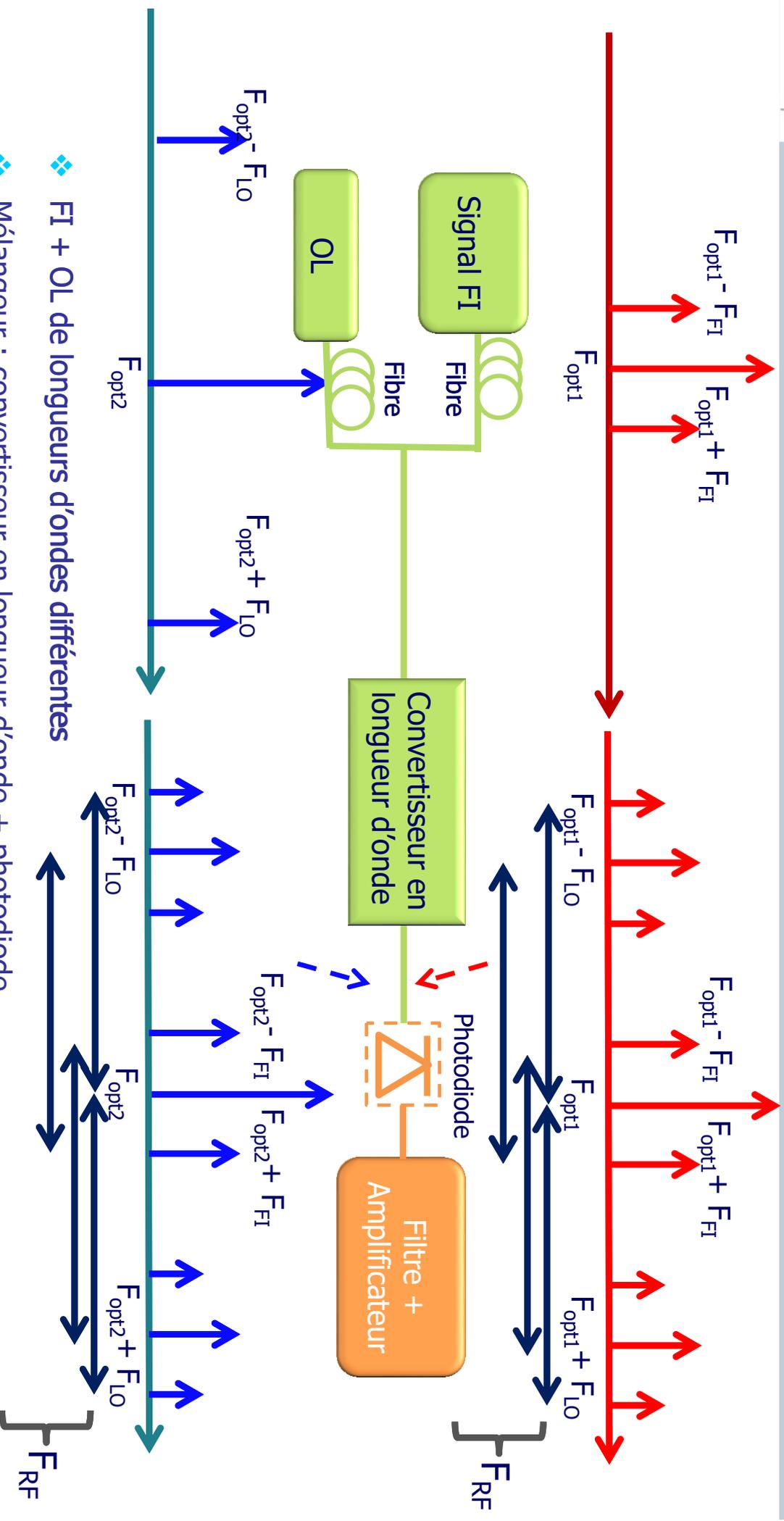
# Architectures de mélange tout optique : mélangeur tout-optique (3/4)



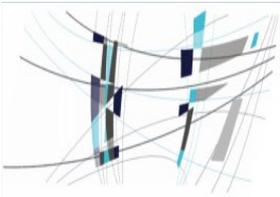
- ❖ FI + OL de mêmes longueurs d'ondes
- ❖ Mélangeur : coupleur + photodiode
- ❖ Avantage : structure simple
- ❖ Inconvénient : structure interférométrique



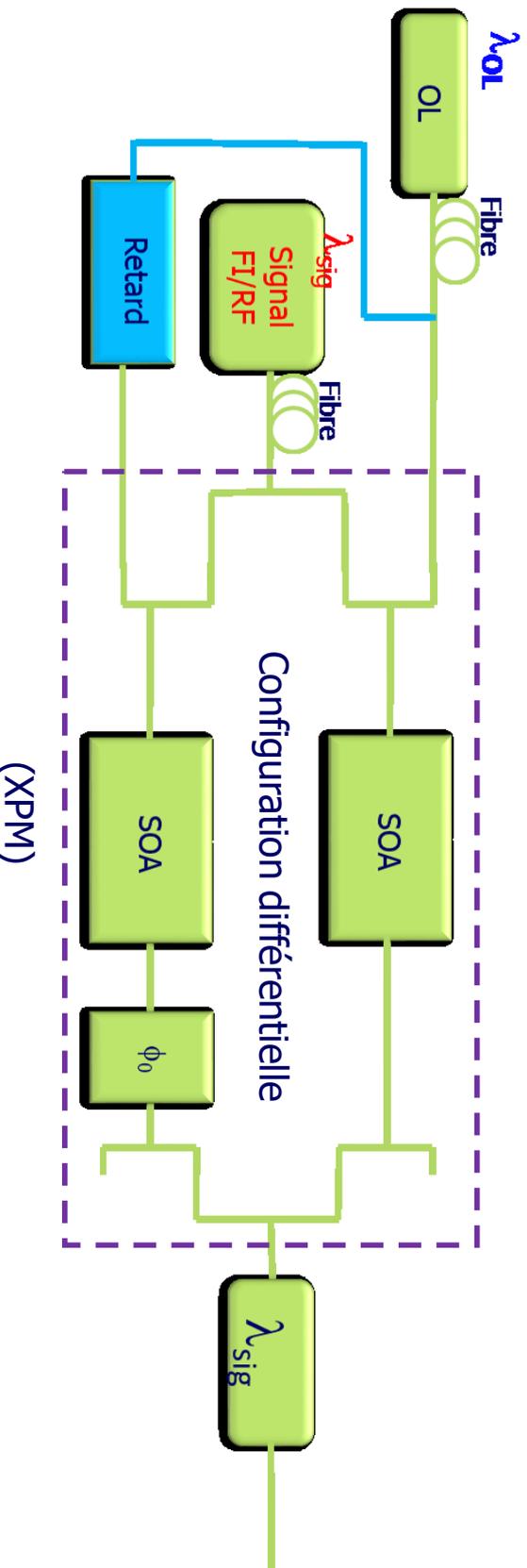
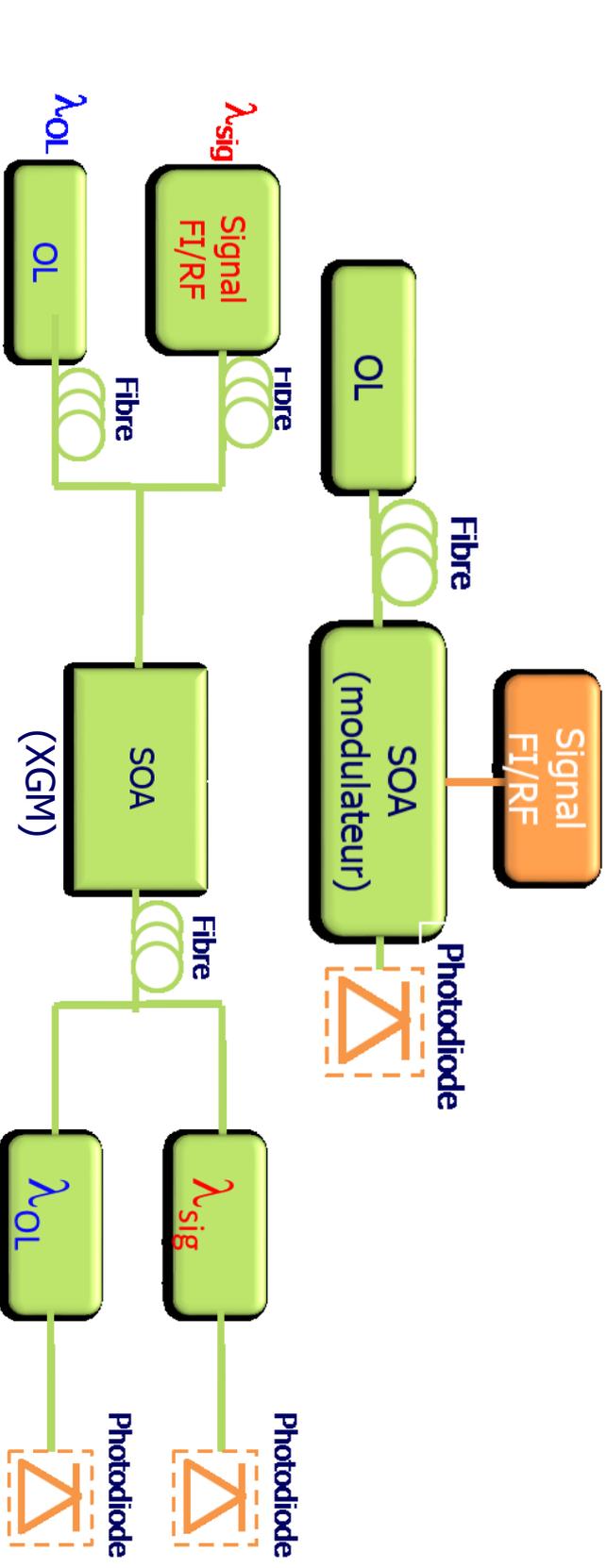
# Architectures de mélange tout optique : mélangeur tout-optique (4/4)



- ❖ FI + OL de longueurs d'ondes différentes
- ❖ Mélangeur : convertisseur en longueur d'onde + photodiode
- ❖ Architecture à base de SOA, SOA-MZI



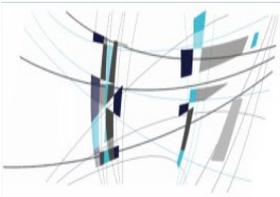
# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: SOA comme modulateur/comme convertisseur (1/2)



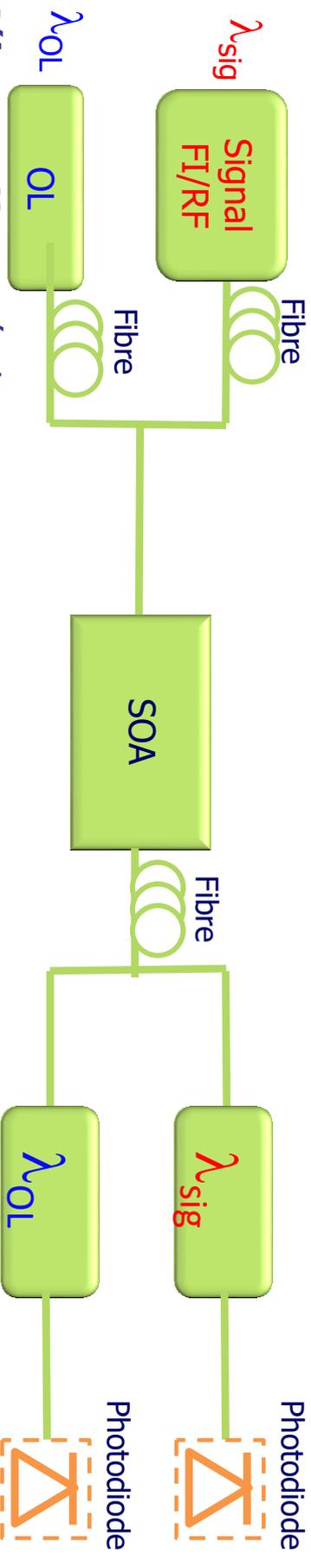


# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: SOA comme modulateur/comme convertisseur (1/2)

<b>Bande passante (B.P.) XGM, XPM, Modulation directe</b>	<b>1 – 3 GHz</b>
Augmentation de la bande passante	Structurelle : SOA long, fort confinement, structure multi-électrodes... SOA-MZI : configuration différentielle



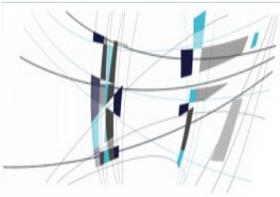
# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: SOA comme convertisseur : exemple effet XGM (2/2)



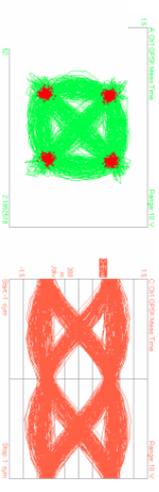
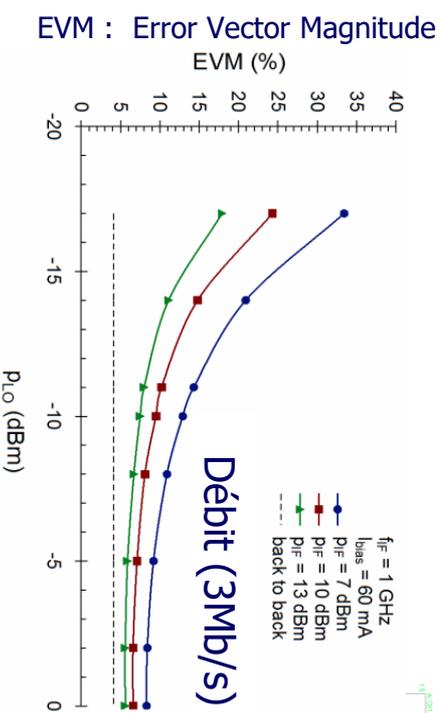
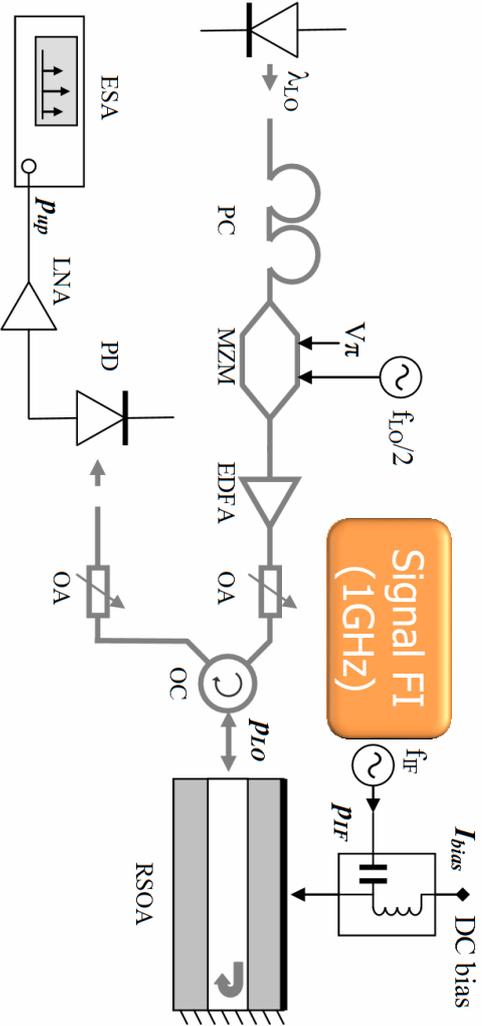
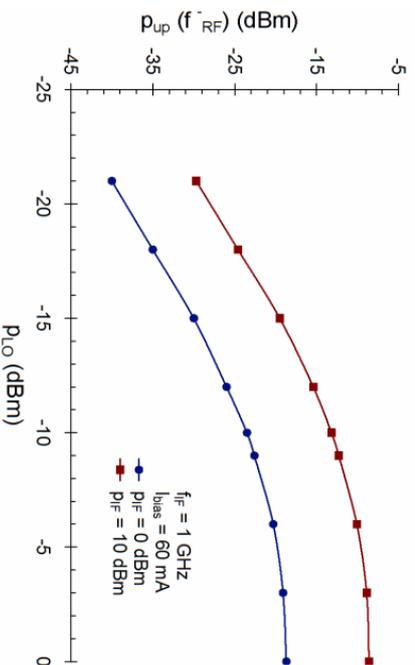
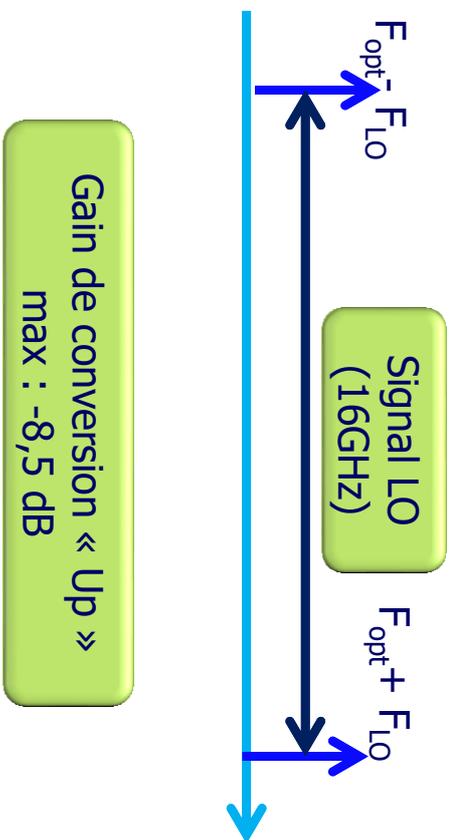
- ❖ **Mélange « Up »** : résultat sur  $\lambda_{OL}$
- ❖ FI < B.P.
- ❖ V fréquence de l'OL : Bonne efficacité de conversion (XGM) de  $\lambda_{sig}$  vers  $\lambda_{ol}$
- ❖ **Mélange « Up »** : résultat sur  $\lambda_{sig}$
- ❖ FI < B.P.
- ❖ fréquence de l'OL > B.P. : Mauvaise efficacité de conversion (XGM) de  $\lambda_{OL}$  vers  $\lambda_{sig}$
- ❖ **Mélange « Down »** : résultat sur  $\lambda_{sig}$  ou  $\lambda_{OL}$
- ❖ fréquence de l'OL et RF > B.P. : Mauvaise efficacité de conversion (XGM)

Résultats de simulation				
Gain de conversion (dBe)				
Fréquence RF (GHz)	Sortie $\lambda_{sig}$		Sortie $\lambda_{LO}$	
	U&D	Up	Down	
10	12	22	12	
40	0	22	0	
60	-3	22	-3	

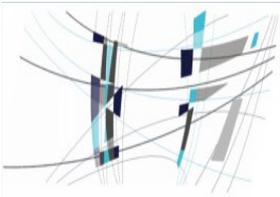
Signal FI : 0,512 GHz, Bande passante : 3 GHz



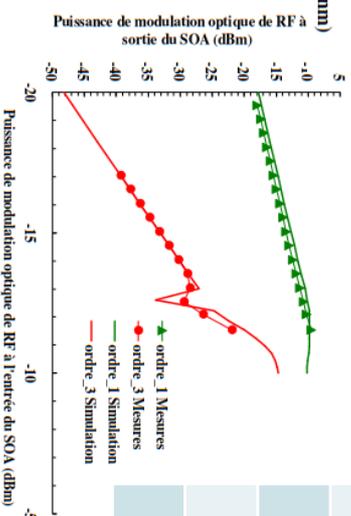
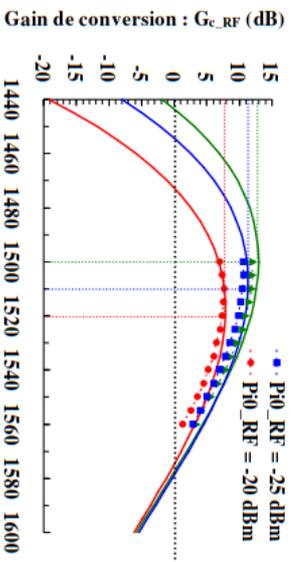
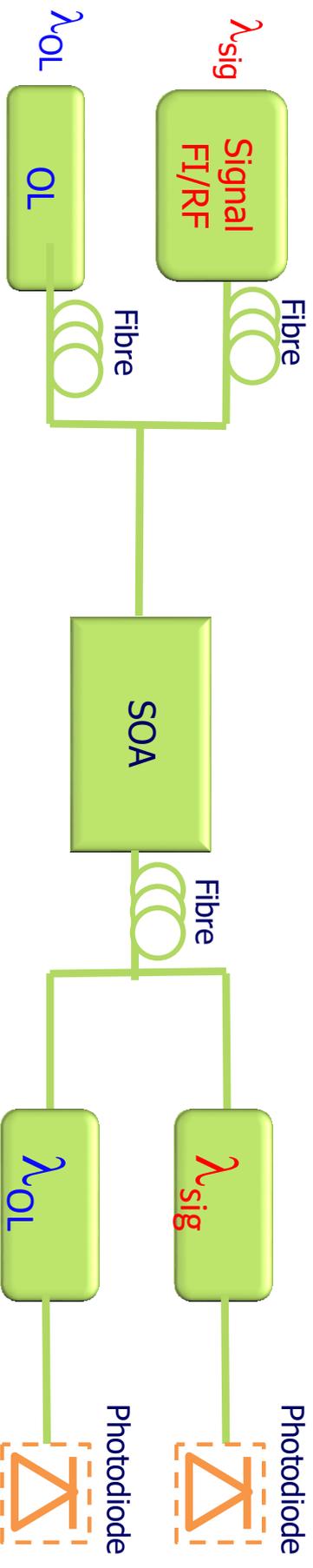
# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: SOA comme modulateur : résultats expérimentaux (1/6)



Thierry Rampone, Richard Zulma, Ammar Sharaiha "Electro-Optical Radiofrequency Up-Converter Based on a Semiconductor Optical Amplifier" 2011 IEEE Topical Meeting on Microwave Photonics, MWP 2011, Singapore, 18-21 October 2011.



# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: SOA (Effet XGM) : résultats expérimentaux (2/6)

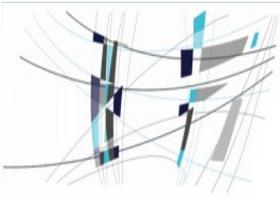


Bonne concordance entre simulations et mesures

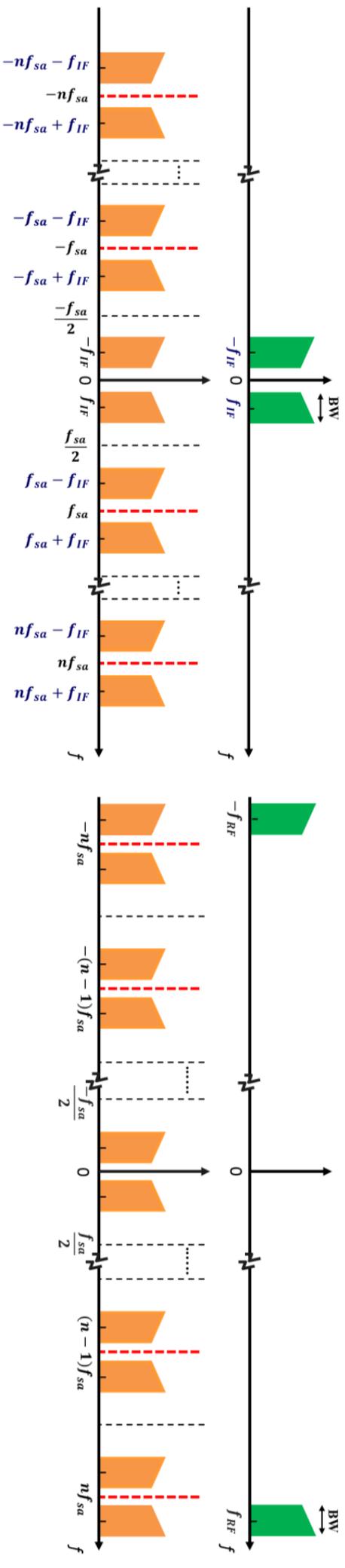
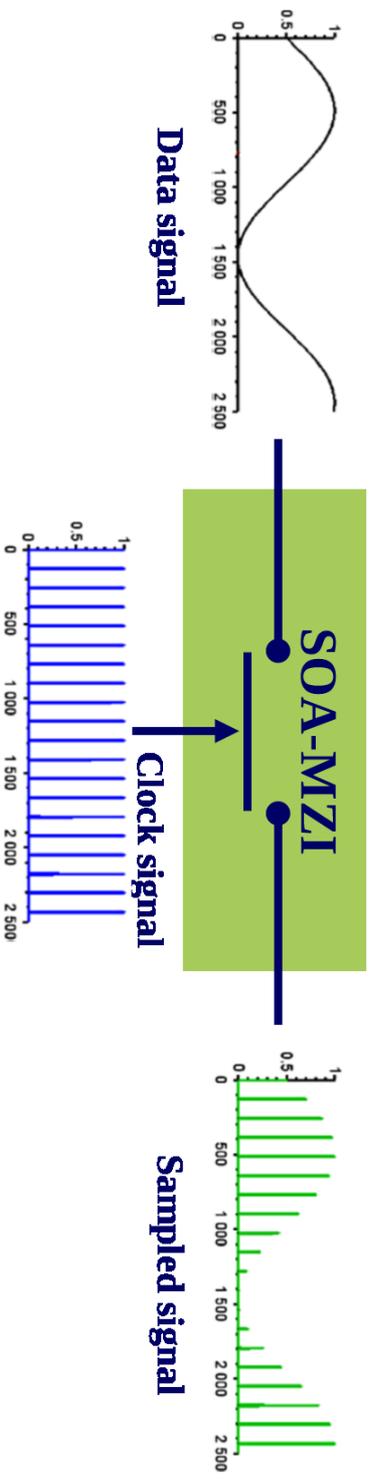


SOA : 750µm, Gain optique 20 dB, $P_{out-3dB} = 12$ dBm	
Bande passante de mélange	2 GHz
Gain de conversion max	28 dBe
P_1dB	-8 dBm
IIP3	-5 dBm
SFDR	85,7 dB/Hz <sup>2/3</sup>

Christian Bohémond "Mélangeur de signaux hyperfréquences basé sur la modulation croisée du gain d'un amplificateur optique à semi-conducteurs" Thèse de l'Université de Bretagne Occidentale, soutenue le 21/06/2010.



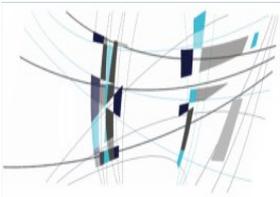
# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: mélange par échantillonnage (3/6)



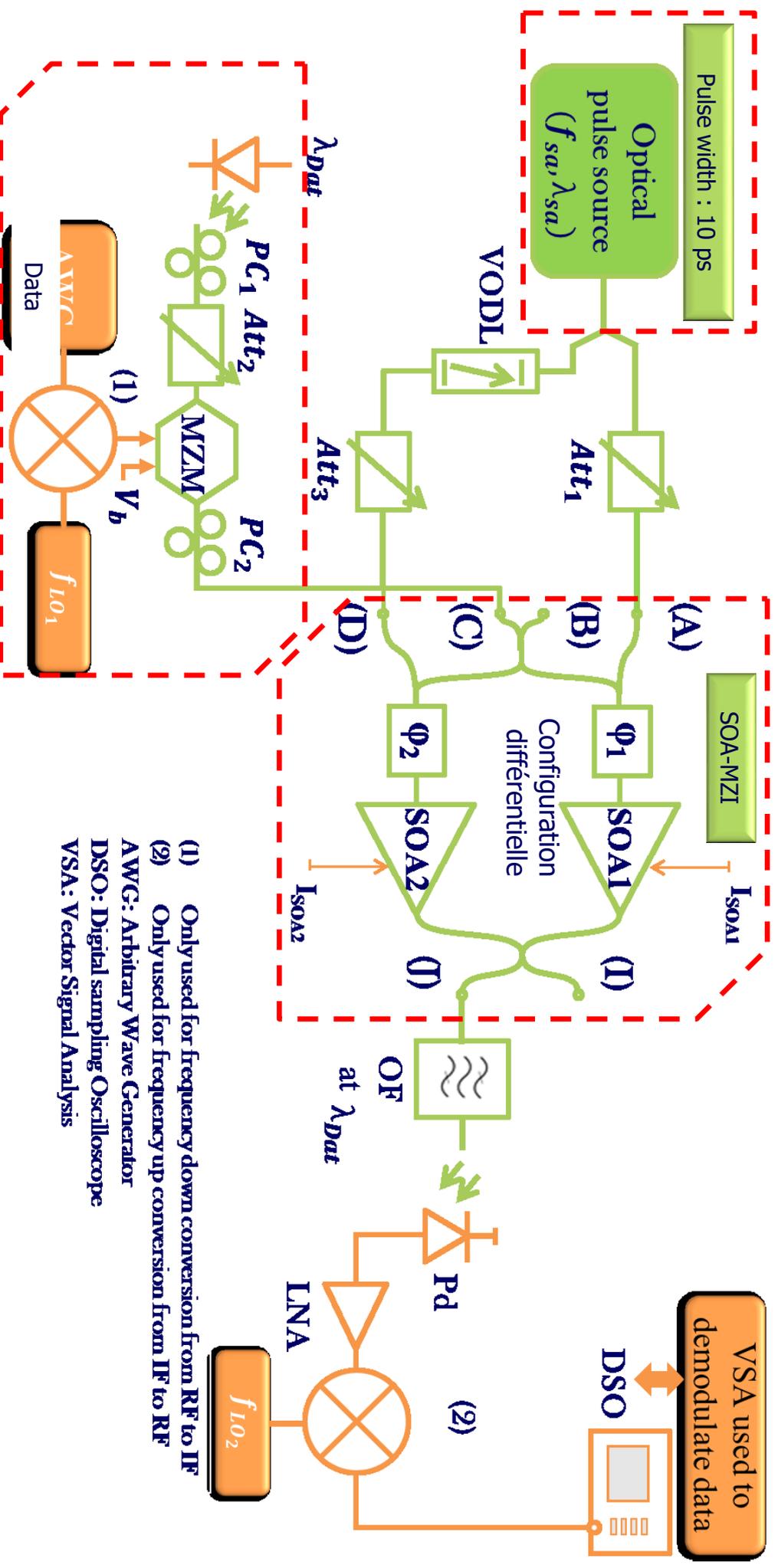
Echantillonnage du signal FI  
"Up conversion"

Echantillonnage du signal RF  
"Down conversion"

Hassan Termos "Study of Up and Down Conversion Technique by All Optical Sampling Based on a SOA-MZI" Thèse de l'Université de Bretagne Occidentale, soutenue le 27/02/2017.



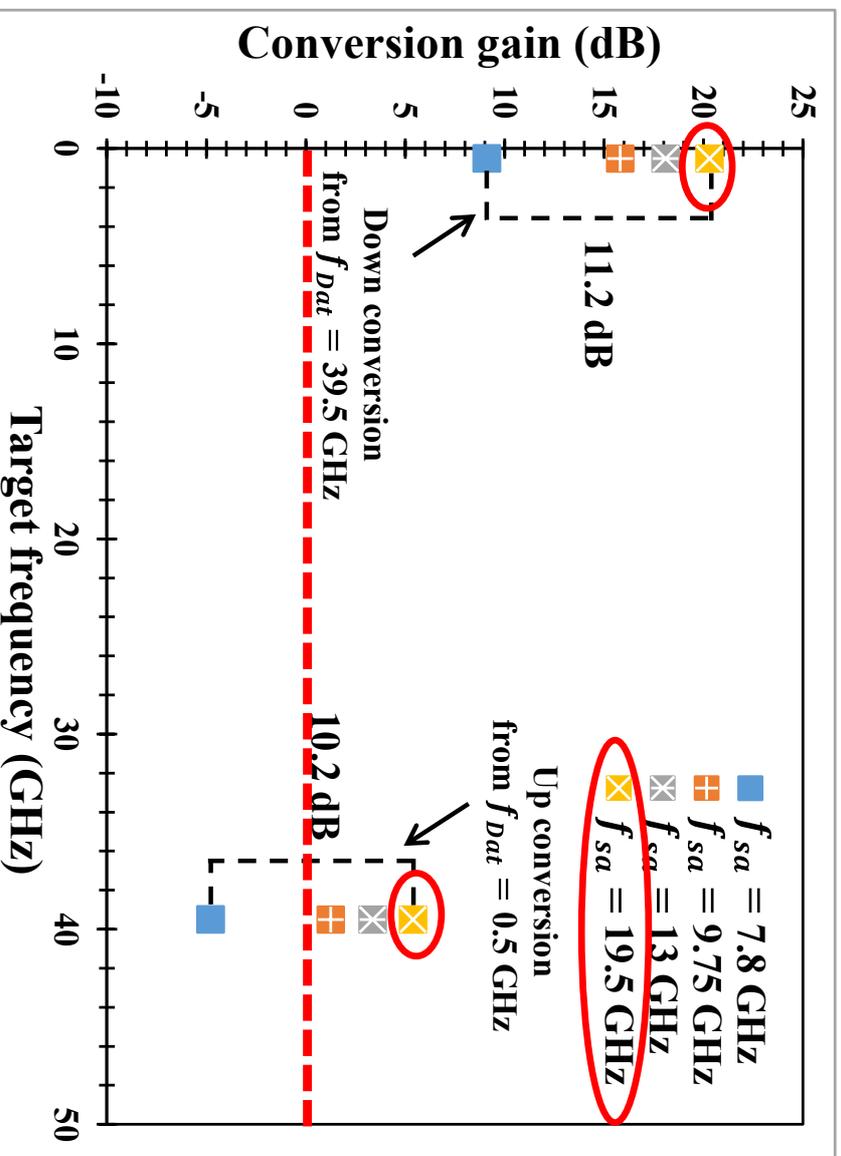
# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: mélange par échantillonnage : montage (4/6)





# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI: mélange par échantillonnage : Gain de conversion (5/6)

Configuration différentielle



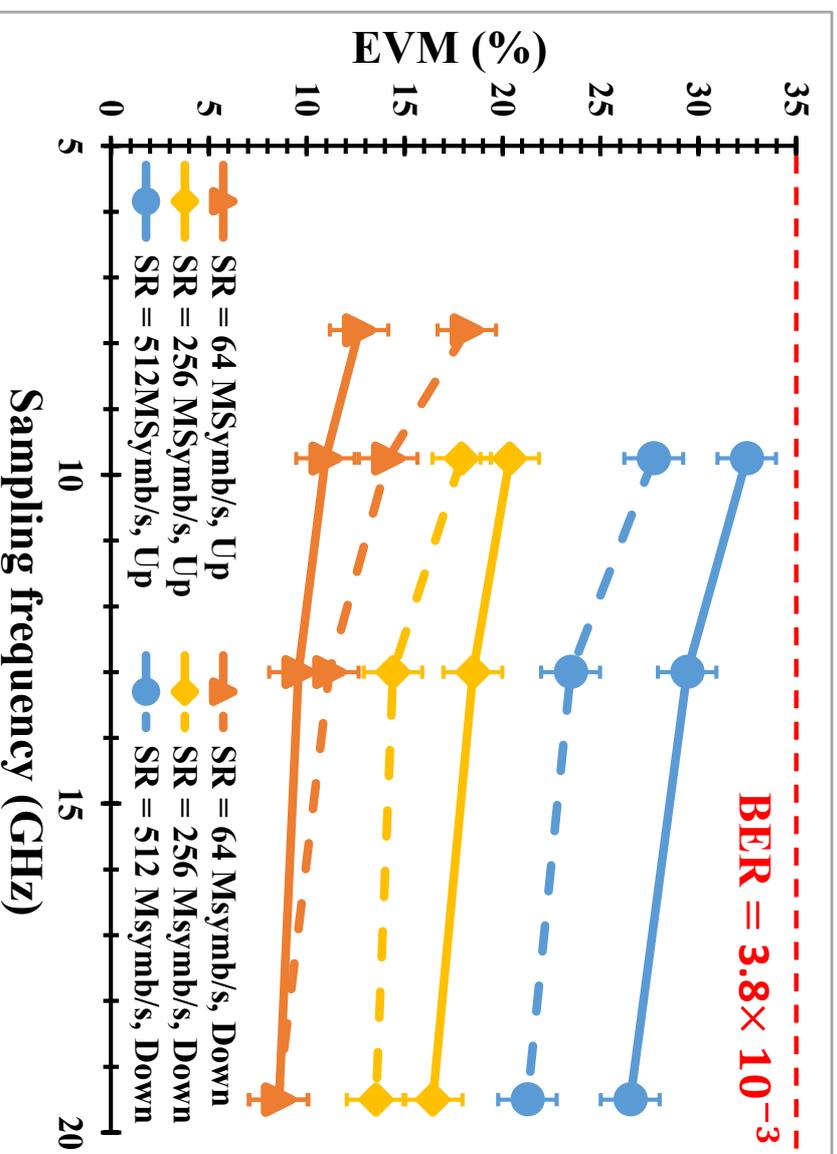
- ❖ Gain de conversion Up & Down > 0 pour  $f_{sa} > 9,75$  GHz
- ❖ Gain de conversion : « Up » 5 dB, Down : 20 dB

- ❖ « Up conversion » :  
FI = 0,5 GHz vers  
RF = 38,5 GHz
- ❖ « Down conversion »  
: RF = 38,7 GHz  
vers FI = 0,3 GHz



# Mélange dans un SOA et dans un SOA-MZI : mélange par échantillonnage : Transmission (6/6)

Configuration différentielle, Données : QPSK



- ❖ Transmission QPSK à plusieurs débit en Conversion « Up & Down »
- ❖ EVM < 35% : débit max 1Gb/s

- ❖ Up conversion :

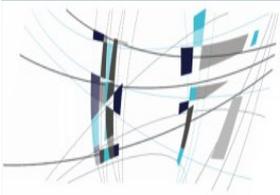
FI = 0,5 GHz vers

RF = 38,5 GHz

- ❖ Down conversion :

RF = 38,7 GHz vers

FI = 0,3 GHz



# Plan

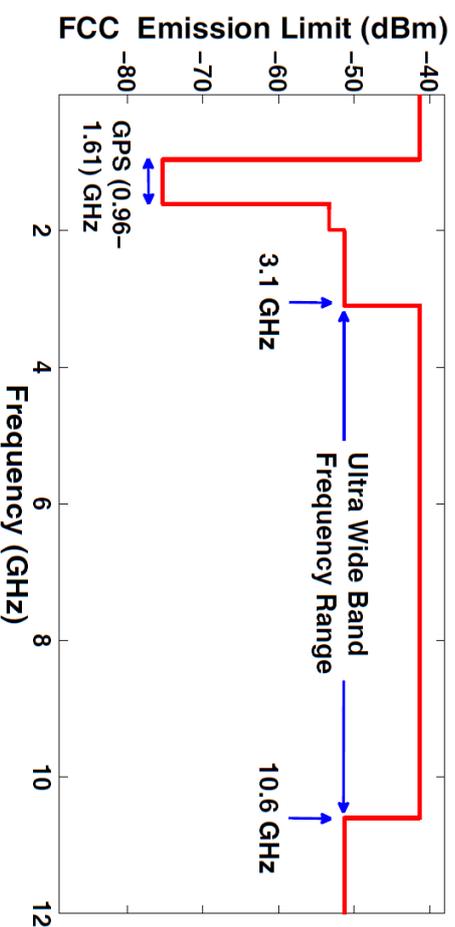
- ❖ Fonction de mélange à base de SOA
- ❖ Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA
  - ❖ Contexte
  - ❖ Méthodes de compensation des imperfections du SOA
- ❖ Perspectives



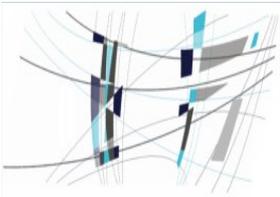
# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA :

## Contexte (1/3)

- ❖ Systèmes UWB ( $B > 500\text{MHz}$ , ou  $B/f_c > 20\%$ , Masque FCC)
- ❖ IR-UWB : modulation à base d'impulsions ultra-courte ( $\sim 1\text{ ns}$ )
- ❖ Intérêts :
  - ❖ Communication/positionnement sans licence,
  - ❖ Bas-coût
- ❖ limitation : portée  $< 10\text{m}$



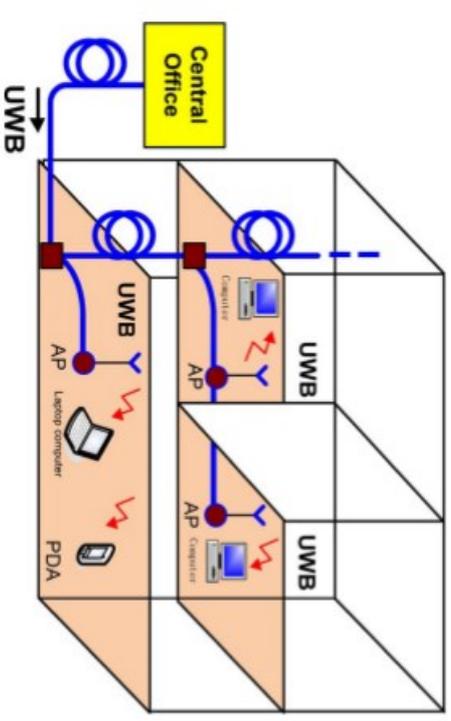
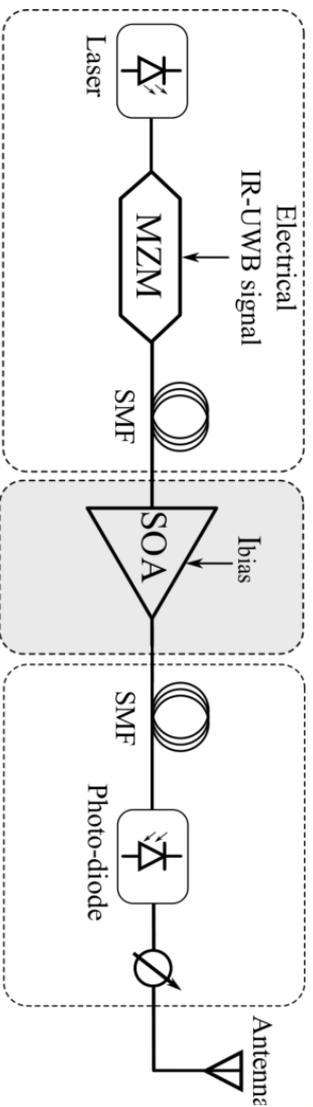
Masque FCC (Federal Communication Commission)



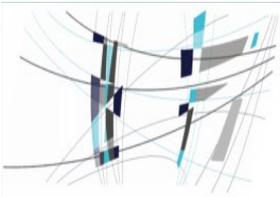
# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA :

## Contexte (2/3)

- ❖ IR-UWB sur fibre / avec amplification à base de SOA
  - ❖ Extension de portée; bas-coût; sécurité

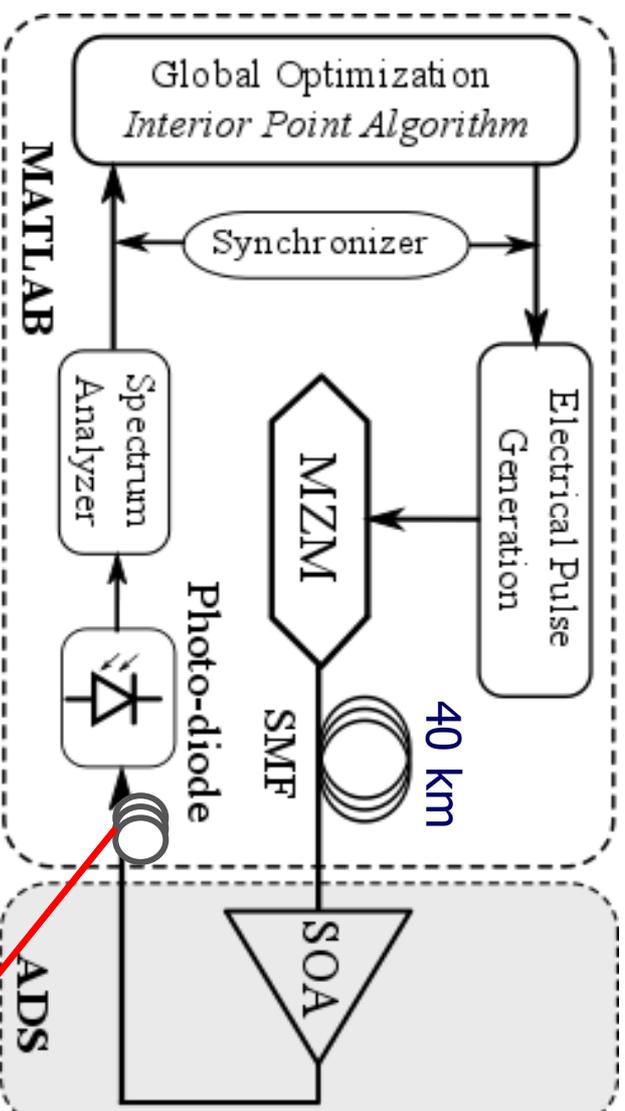


- ❖ 3 orientations pour compenser des imperfections du SOA (non-linéarité + bruit) :
  - ❖ Pré-distorsion d'impulsions gaussiennes
  - ❖ Modulation mixant plusieurs formes d'impulsions aléatoirement
  - ❖ Déphasage de formes d'ondes électriques



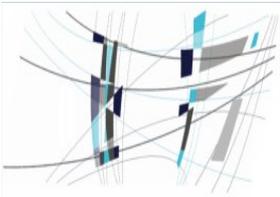
# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA :

## Contexte (3/3)



Longueur Fibre :  
0 à L

- ❖ Co-simulation MATLab – ADS (Keysight)
- ❖ SOA en ligne à 40 Km de l'émetteur
- ❖ Etude de l'impact à la sortie du SOA : sortie directe et après plusieurs km de transmission



# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA : Pré-distorsion d'impulsions gaussiennes (1/2)

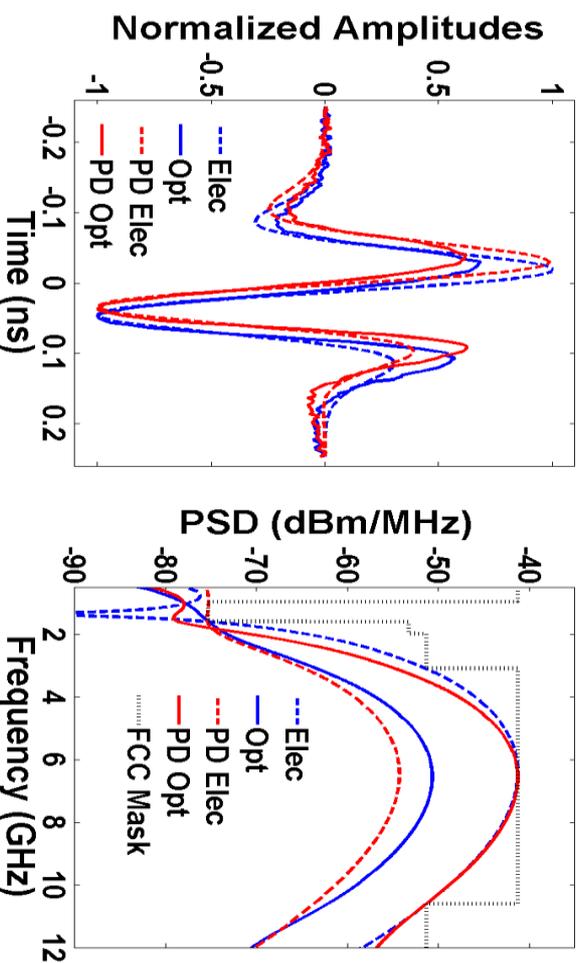
- ❖ On considère les impulsions électriques issues d'un circuit accordable
- ❖ Recherche des paramètres optimaux  $\mathbf{p}$  de l'impulsion UWB (mélange de gaussiennes)

- ❖ Exemple d'une combinaison de doublets :

$$C_D(t) = a_1 x_{21}(t) + a_2 x_{22}(t - \tau)$$

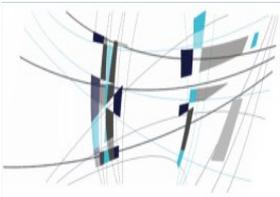
$$x_{2i}(t) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_i^3}} \left( k \frac{t^2}{\sigma_i^2} - 1 \right) \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

$$\mathbf{p} = [\sigma_1, \sigma_2, a_1/a_2]$$



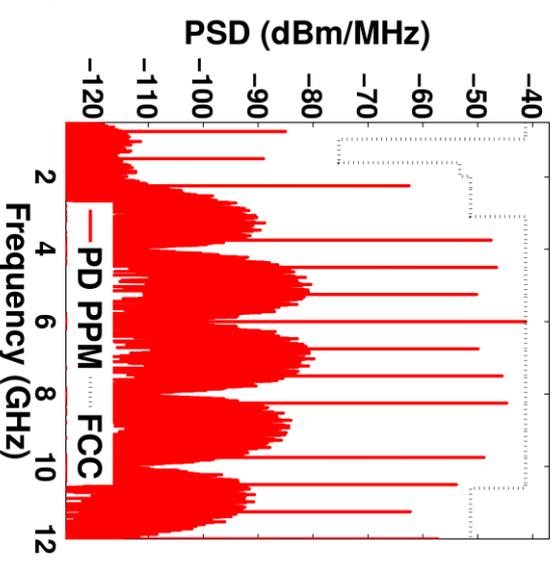
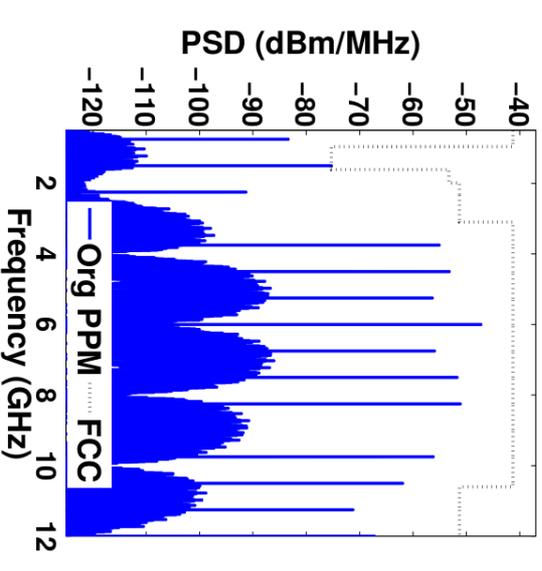
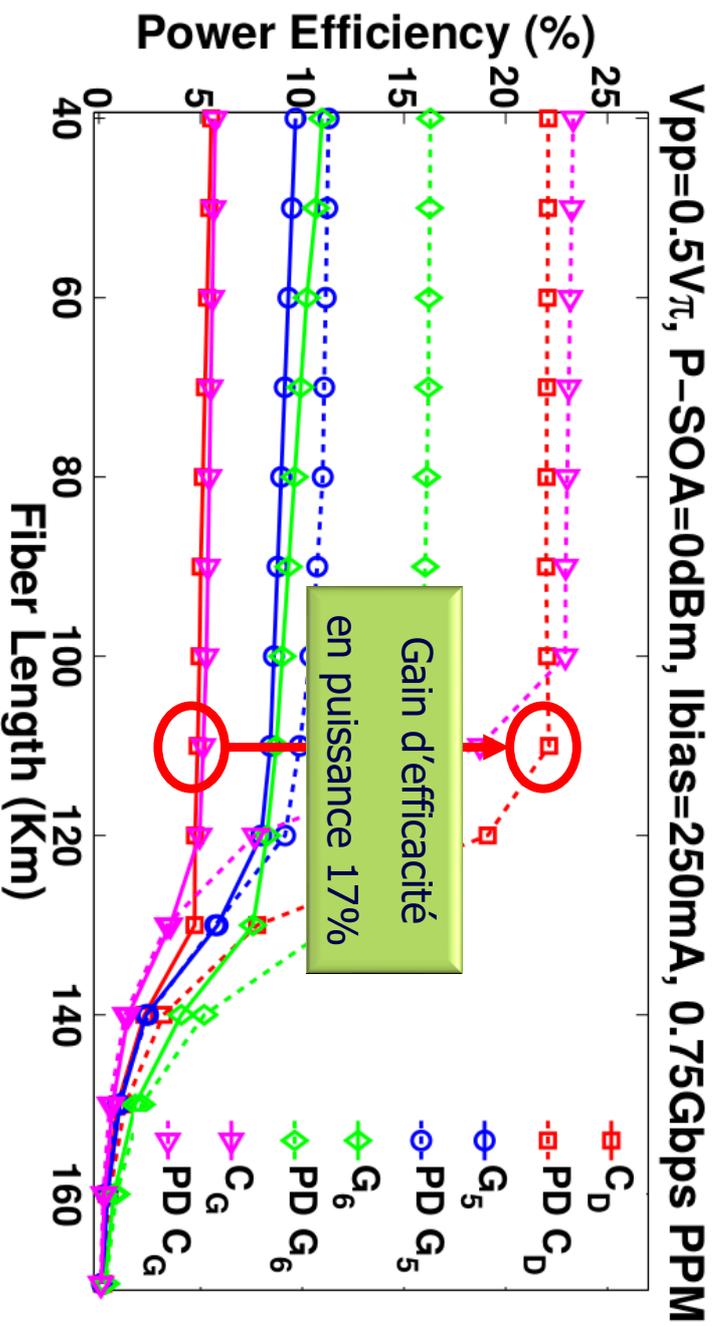
Efficacité en puissance :

- ❖ sans-prédistorsion 6.24%,
- ❖ avec pré-distorsion 52.95%

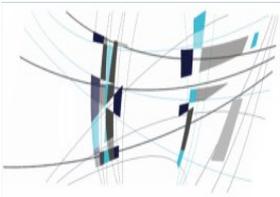


# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA : Pré-distorsion d'impulsions gaussiennes (2/2)

- ❖ Performance en présence de modulation (SOA à 40 km)
- ❖ Gain d'efficacité en puissance de 17% pour un signal PPM à 0.75 Gb/s avec combinaison de doublets, jusqu'à 100 km

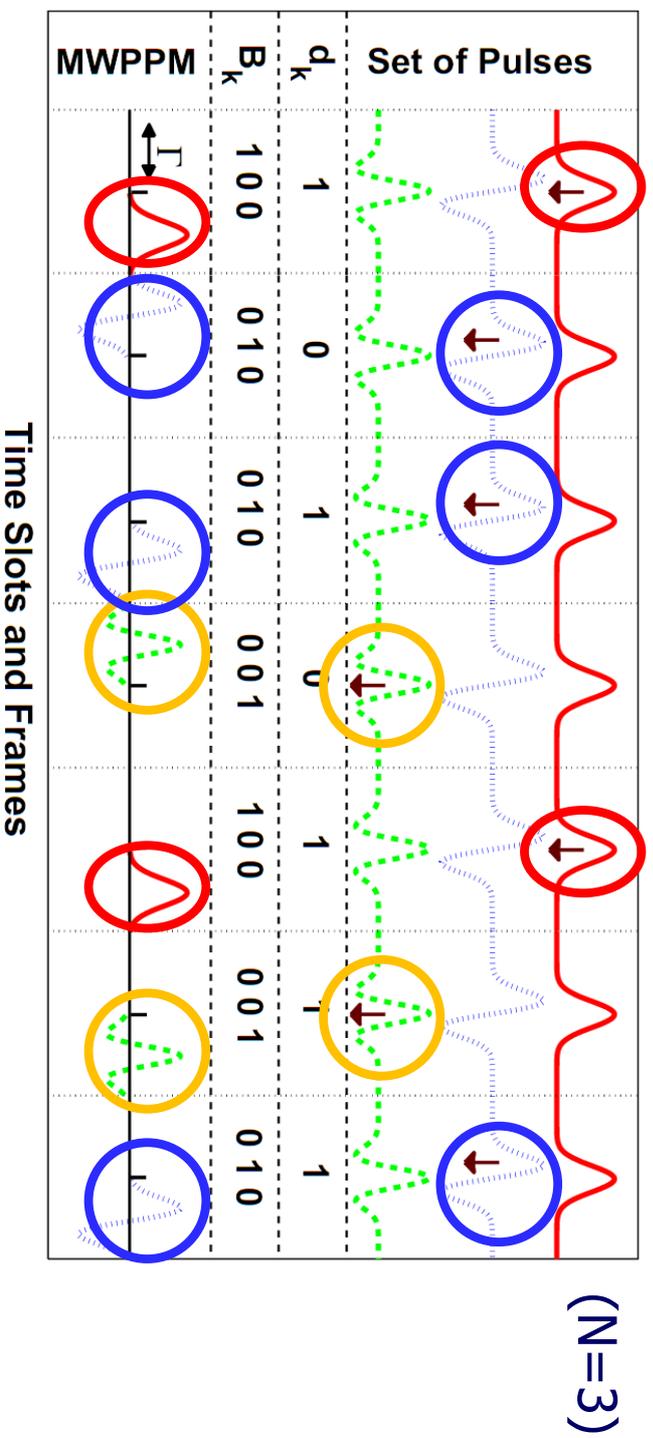


PPM : Pulse Position Modulation



# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA : Modulation multi-formes d'ondes (1/2)

- ❖ Proposition d'un format de modulation multi-formes d'ondes pour réduire les raies spectrales
- ❖ Construction d'une famille de N impulsions  $p_j(t)$  orthogonales
- ❖ Approche applicable pour les formats OOK et PPM
- ❖ Exemple du format MW-PPM :  $W_{MWPPM}(t) = \sum_k \sum_{j=1}^N b_{j,k} p_j(t - kT - d_k \Gamma)$

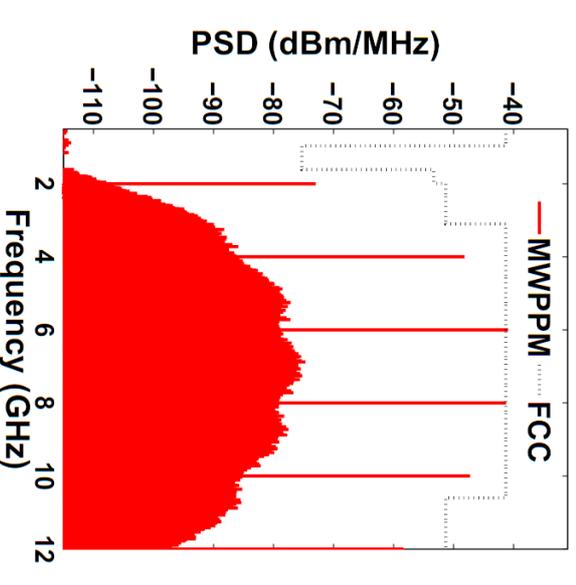
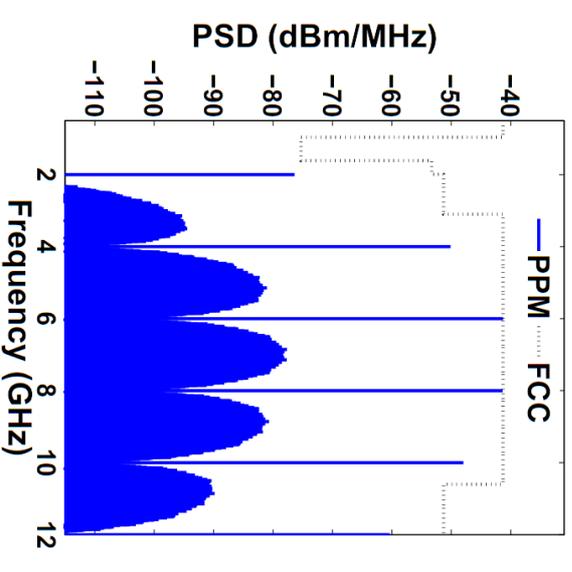
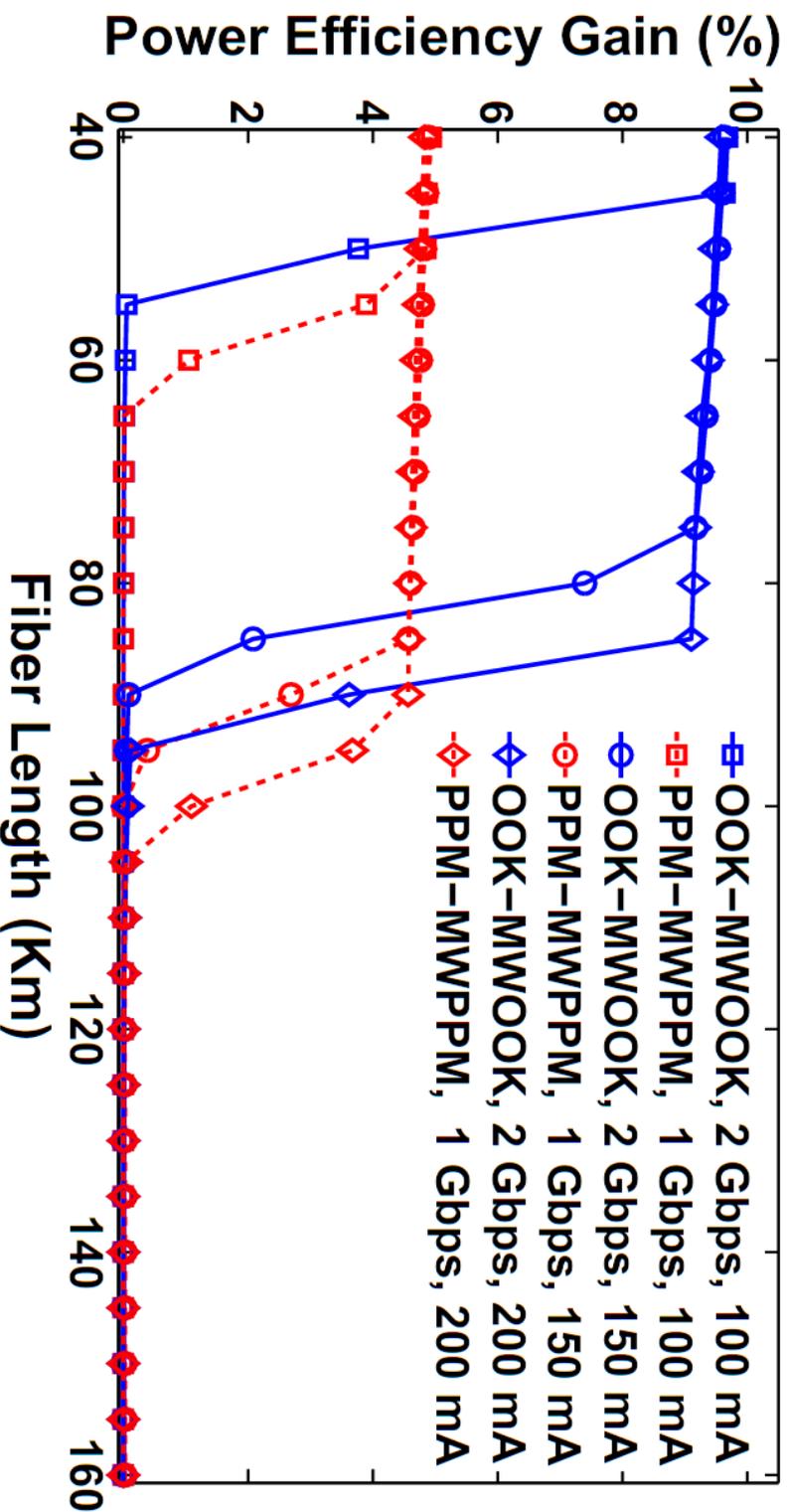




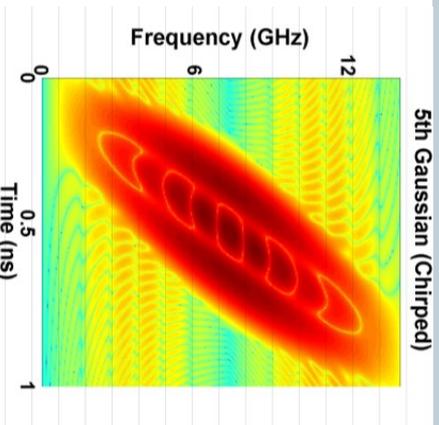
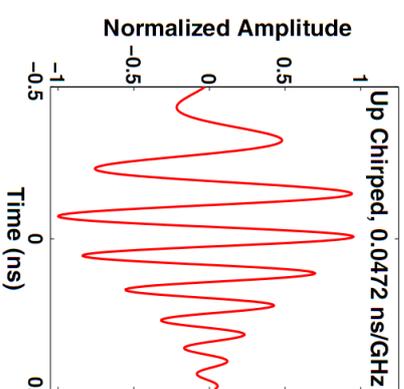
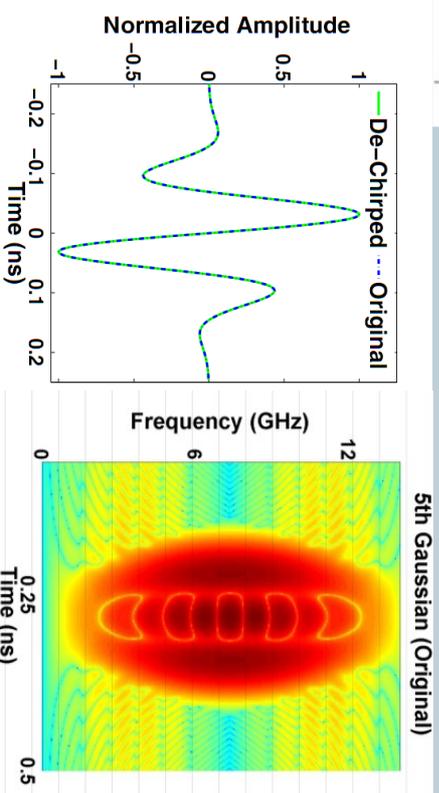
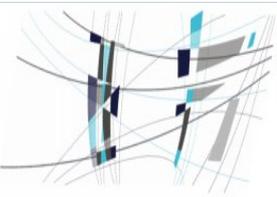
# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA :

## Modulation multi-formes d'ondes (2/2)

- ❖ Performance (SOA à 40 km; N=2 gaussiennes d'ordre 4 et 5)
- ❖ Gain d'efficacité en puissance significatif (près de 5% en PPM, près de 10% en OOK)

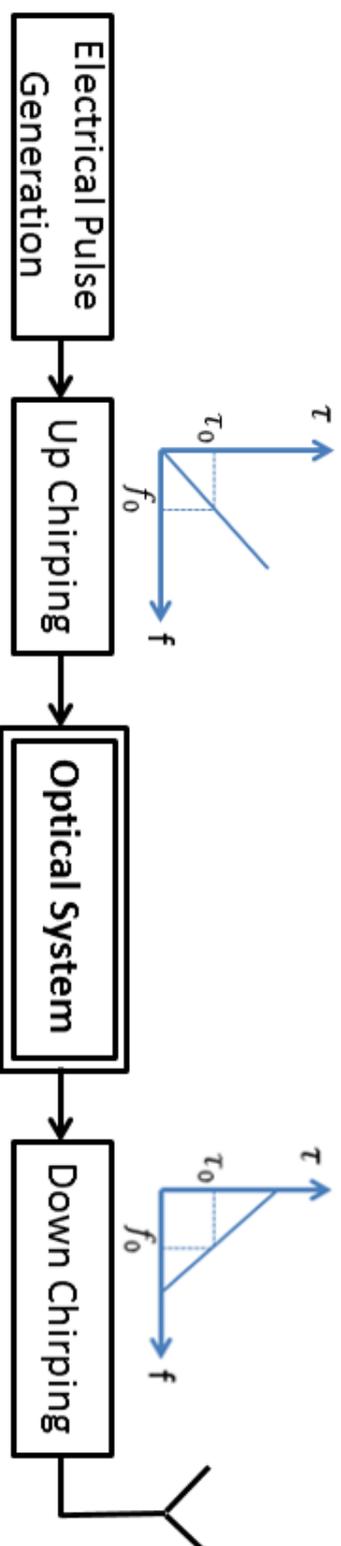


# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA : Déphasage de formes d'ondes électriques (1/3)



Signal Original

Signal avec déphasage « up-chirping »



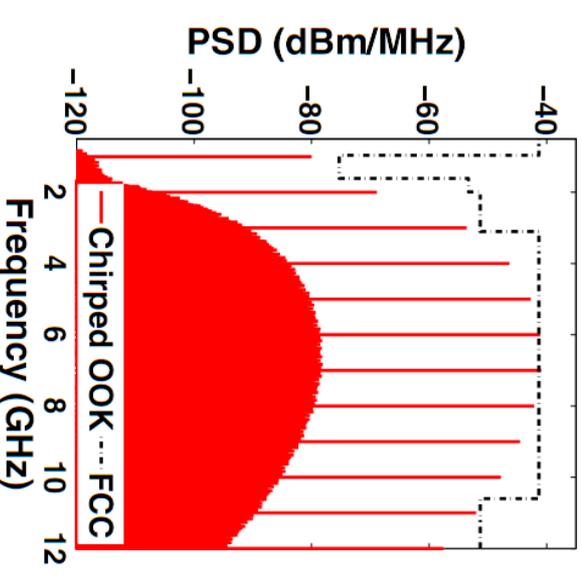
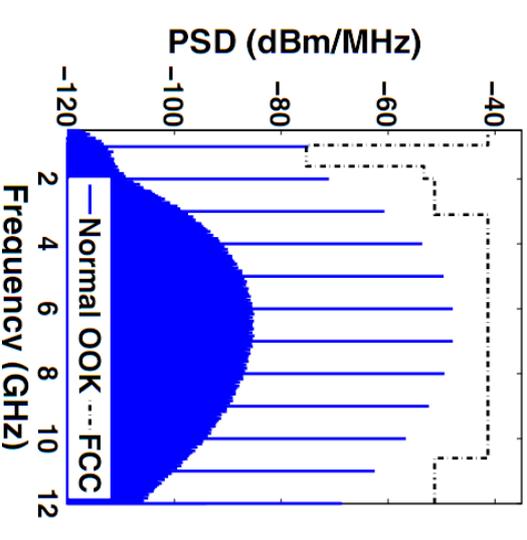
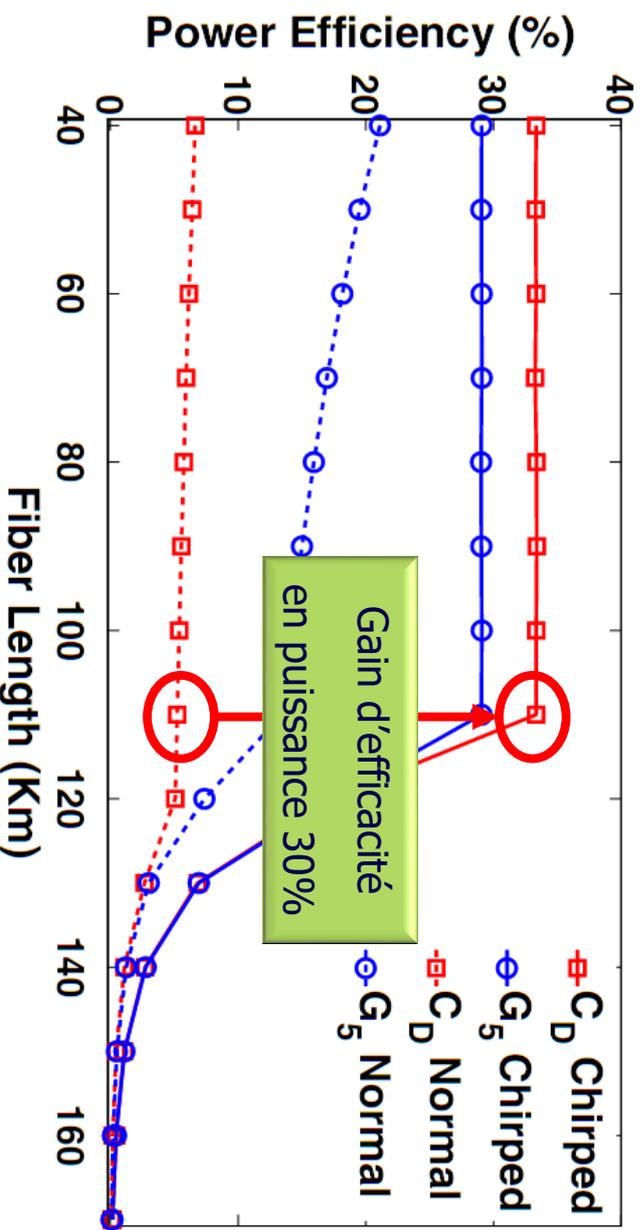
- ❖ Déphasage (up-chirping) des impulsions dans le domaine électrique pour réduire l'impact des non-linéarités et du bruit d'ASE du SOA
- ❖ Après photo-détection, déphasage symétrique (down-chirping)

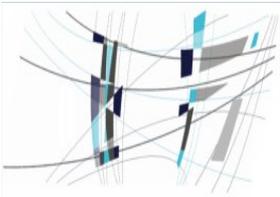


# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA : Déphasage de formes d'ondes électriques (2/3)

- ❖ Performance (SOA à 40 km; chirping 0.0472 ns/GHz)
- ❖ Gain d'efficacité en puissance de 25% à 110 km pour un lien OOK à 1 Gb/s avec combinaison de doublets;
- ❖ Gain de 30% à 120 km pour un lien PPM à 0.5 Gb/s

$V_{pp}=0.5 V_{\pi}$ ,  $P_{-SOA}=0$  dBm,  $I_{bias}=250$  mA, 1 Gbps OOK

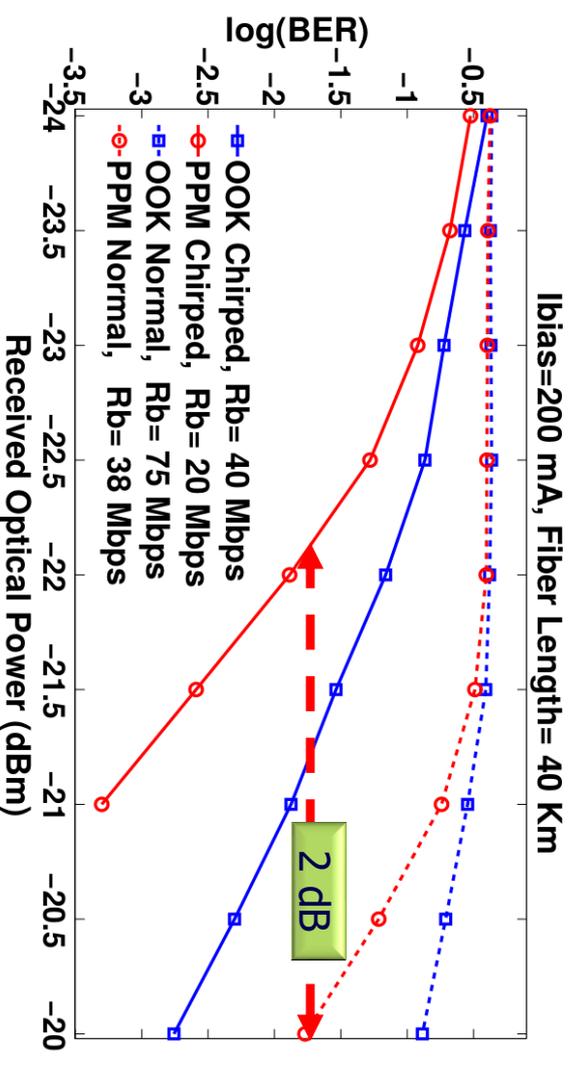
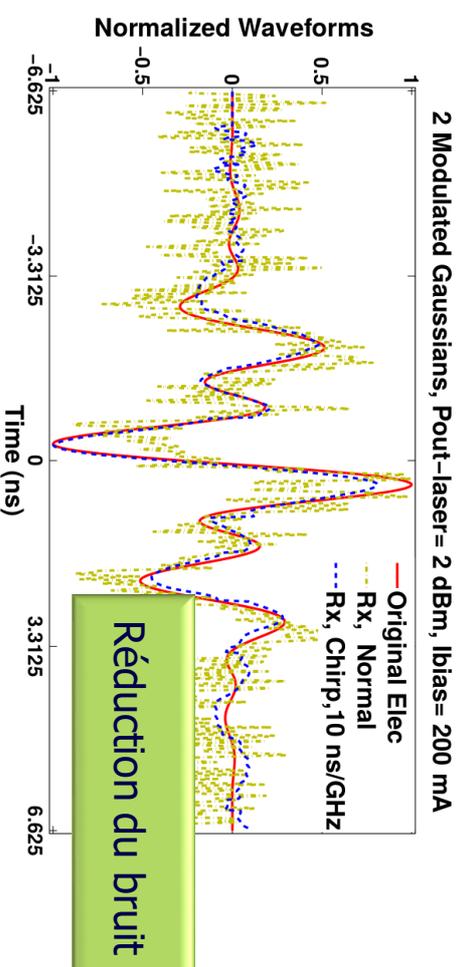
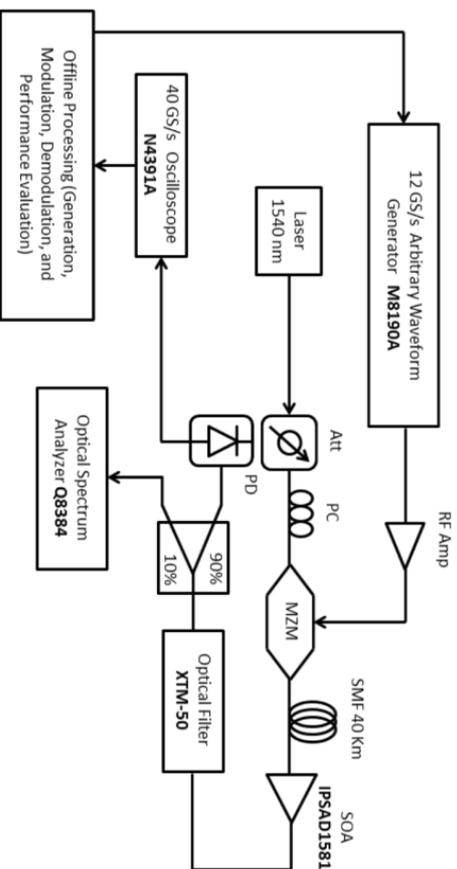




# Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA :

## Déphasage de formes d'ondes électriques (3/3)

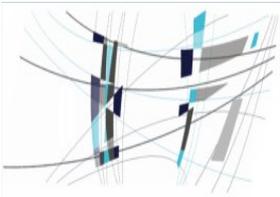
### ❖ Quelques résultats expérimentaux





# Plan

- ❖ Fonction de mélange à base de SOA
- ❖ Systèmes IR-UWB sur fibre basés sur SOA
- ❖ Perspectives



# Perspectives

- ❖ Poursuivre les validations expérimentales pour l'IR-UWB sur fibre
- ❖ Conversion des signaux RF en simultanée vers les hautes et les basses fréquences
- ❖ De nouvelles fonctionnalités sont en cours d'étude à base de SOA-MZI (2 thèses)
  - ❖ **Filtrage** de fréquence image / suppression bande latérale par la technique de Hartley,
  - ❖ **Retard vrai accordable** pour des signaux RF large bande
  - ❖ **Echantillonnage** très rapide des signaux RF large bande

# Merci de votre attention

## Questions ?

