



# Cristaux dopés terre rare Matériaux supra haute température

P. Berger, S. Molin, M. Schwarz, L. Morvan, D. Dolfi  
B. Marcilhac, J. Kermorvant

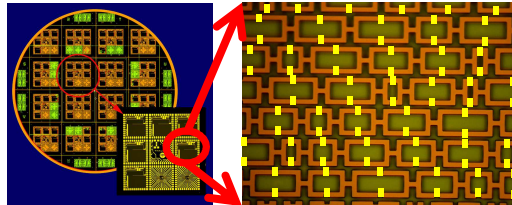
Date /Référence

Research & Technology

OPEN

THALES

## Matériaux supra haute température pour les « front-end »



70 K

B. Marcilhac, J. Kermorvant

## Cristaux dopés terre rare pour les applications en guerre électronique



5 K

P. Berger, S. Molin, M. Schwarz, L. Morvan, D. Dolfi

Propriétés des matériaux supra HTC (YBaCuO)

Potentiel pour les « front-end »

Progrès et maturité de la cryogénie à 77 K

Exemple de réalisation d'un filtre UHF accordable

Perspectives

# MATÉRIAUX SUPRA HAUTE TEMPÉRATURE POUR LES « FRONT-END »

- ◆ **YBaCuO ( $T_c = 92\text{K}$ )**

**Couche mince d'épaisseur sub-micronique (400nm-700nm)**

**Sur substrats monocristallins :**

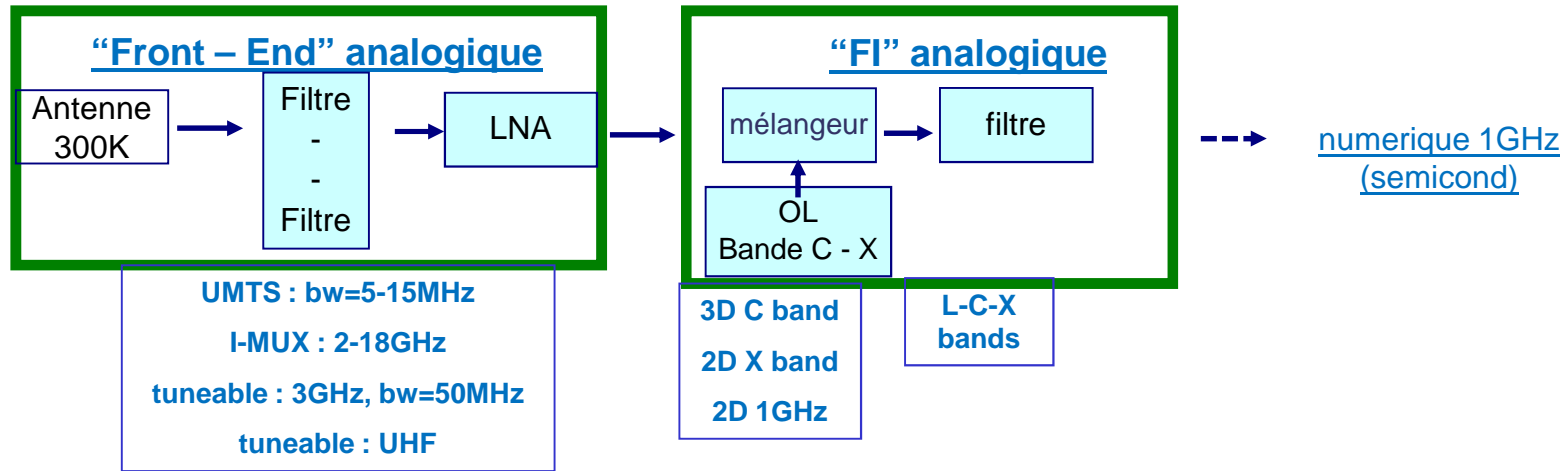
**MgO ( $\epsilon_r=9.6$ ), LaAlO<sub>3</sub> ( $\epsilon_r=23.5$ ), saphir ( $\epsilon_r=9.9$ )**

**Dimensions : 1, 2, 3 pouces**

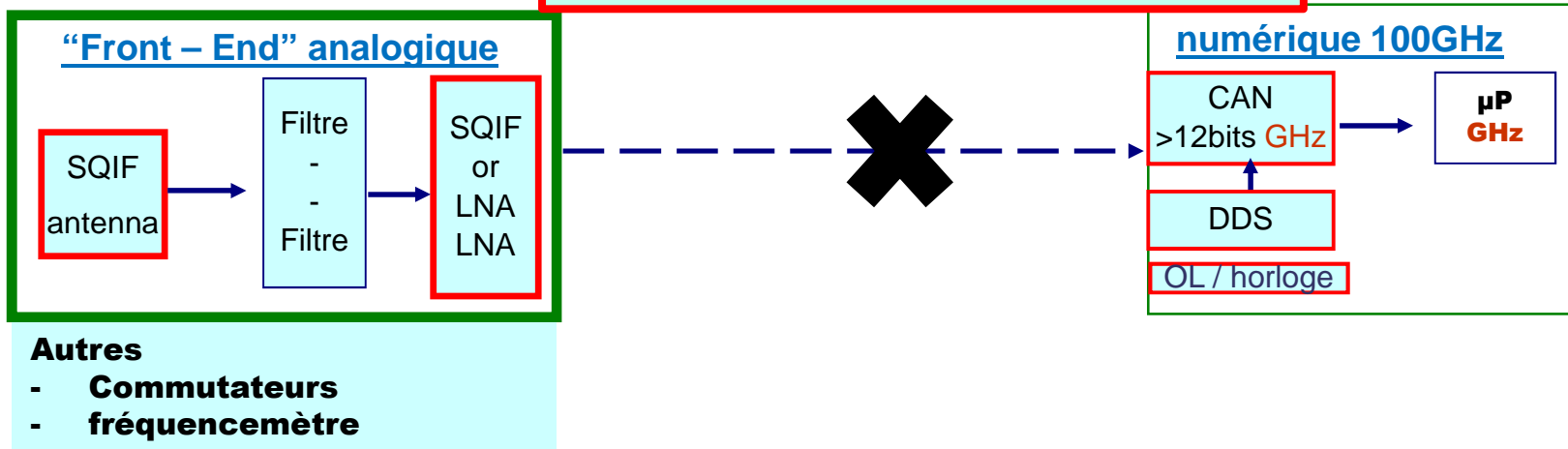
- ◆ **Résistance de surface :**  **$R_s=200\mu\Omega$  à 10GHz et 77K,**  
**100 fois plus faible que le Cu**

- ◆ **Effet Josephson**

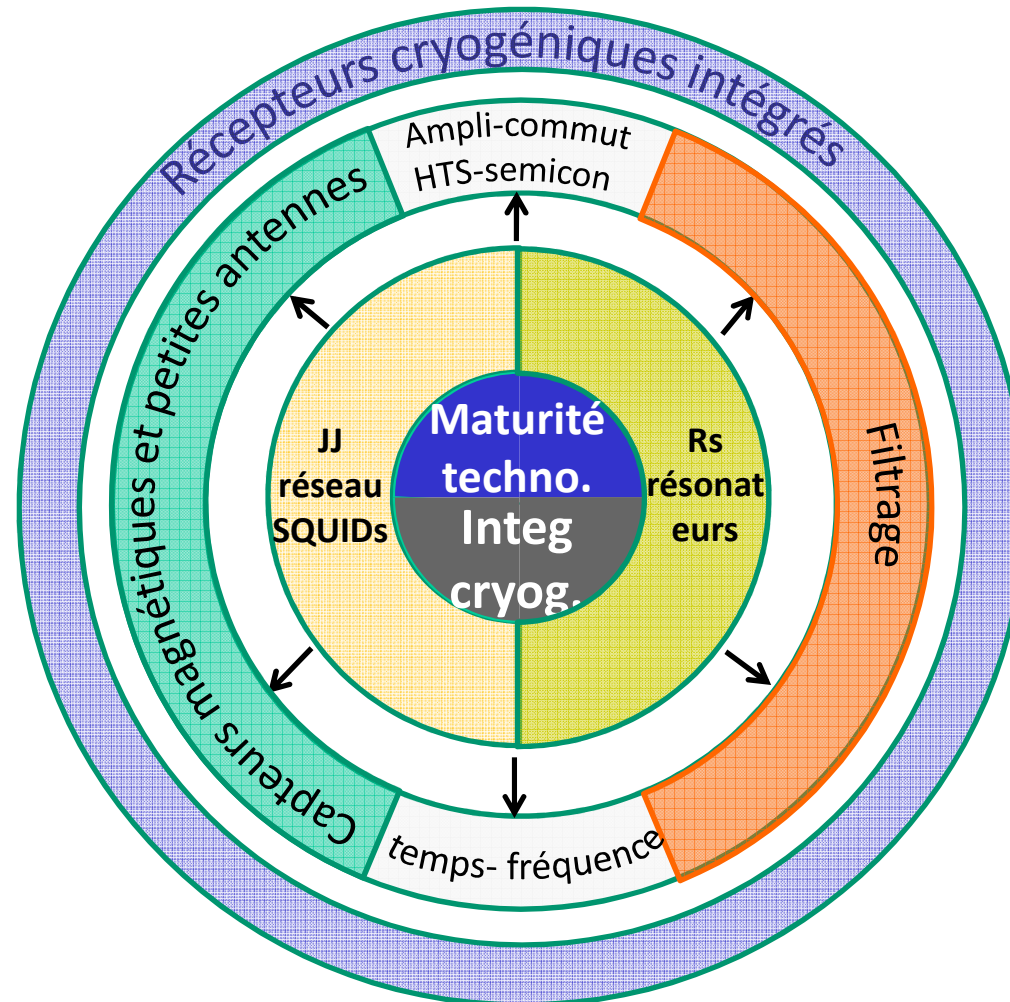
## Architectures actuelles : apport de la résistance de surface (Rs)



## Architectures futures : apport de Rs + effet Josephson



## Développement et maturité des technologies



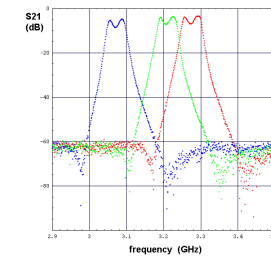
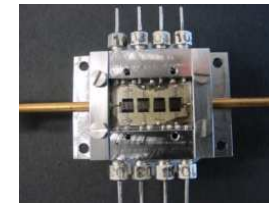
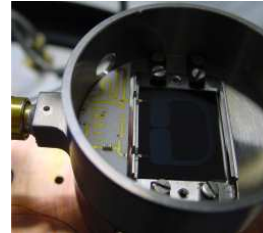
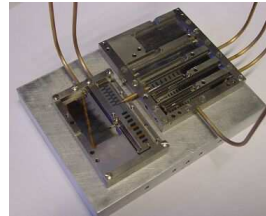
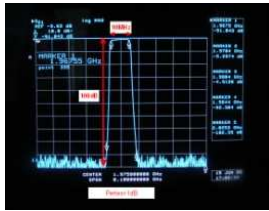
## Miniaturisation et intégration cryogénique

OPEN

THALES

1995 – 2010

*une rupture technologique pour des composants avec des performances ultimes.*



aujourd'hui,

Les mêmes performances avec une réduction, des dimensions, du Poids et de la consommation électrique (SWAP)  
Permettant une miniaturisation des systèmes →

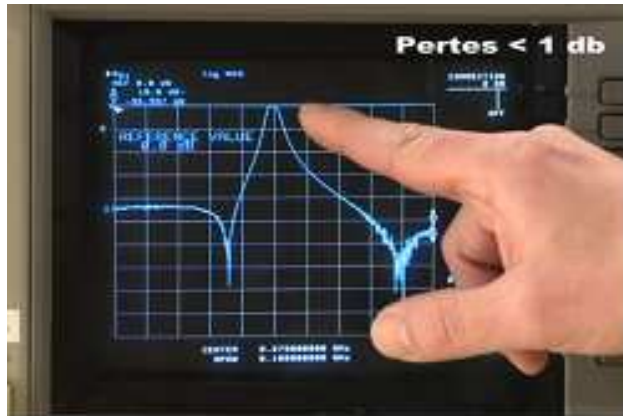
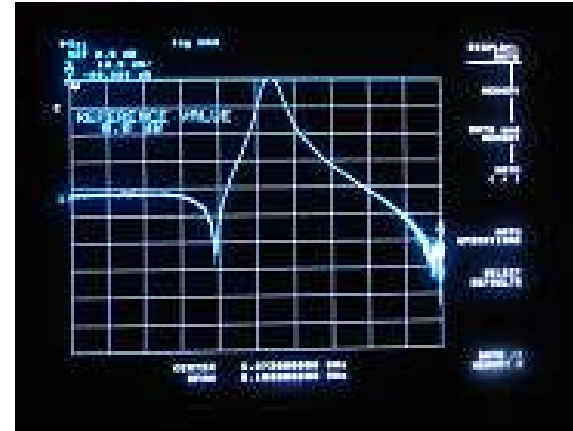
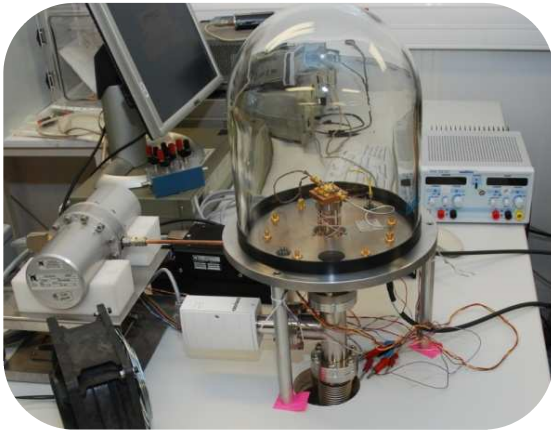


cryostat

THALES



## Banc cryogénique &lt;2010



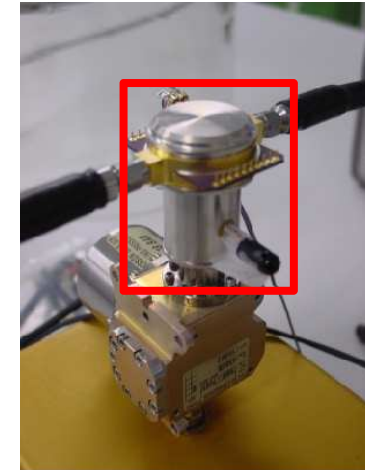
Besoins Thales

OPEN

THALES



- **Première mise en froid en novembre 2010**
- **Plus de 100 cycles thermiques**
- **Mêmes performances en décembre 2013**
  - mise en froid (77K) : 2min30s
  - consommation électrique : 7W
  - vide  $10^{-6}$  mbar



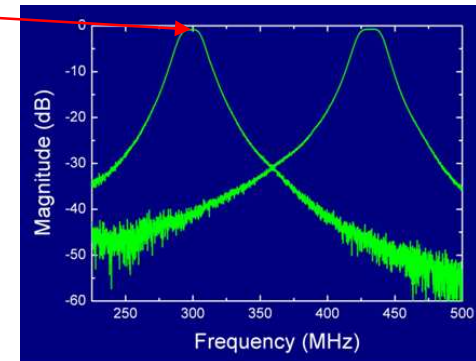
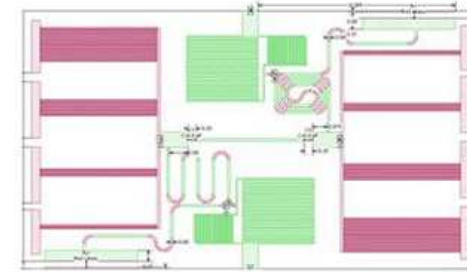
□ **La solution développée est unique dans la communauté HTS**

→ **le transfert de la réalisation des cryostats est envisagé**

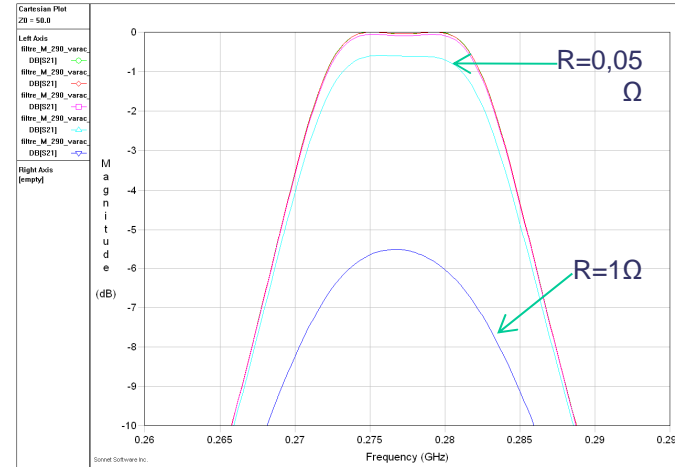
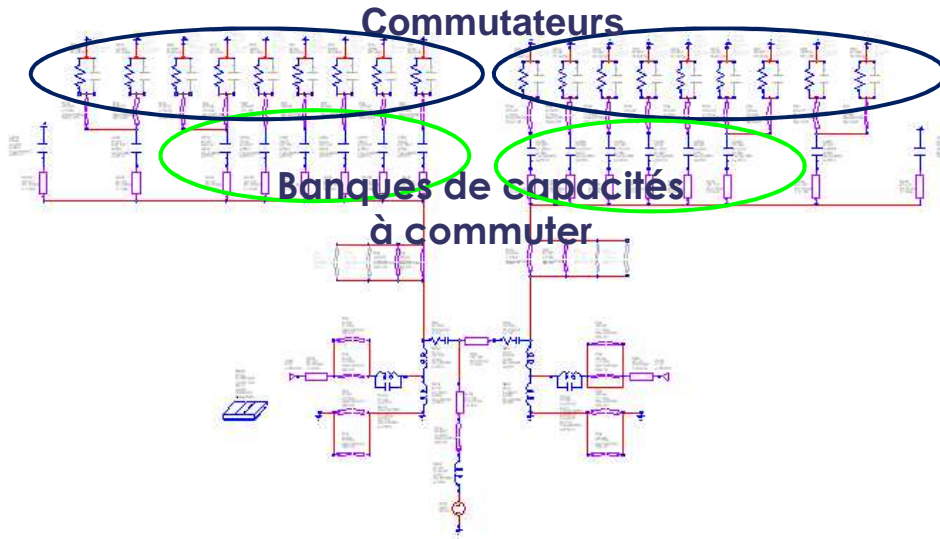
Choix de fréquence à l'aide d'une banque de capacités commutables  
→ topologie à constantes localisées (inductances + capacités)

### Objectifs:

- Intégration circuit 1cm x 2 cm
- Pertes d'insertion : <1dB (gain 3dB sur solution 300K actuelle)
- Saut en fréquence : 1 $\mu$ s



Problématique : choix des commutateurs non HTS



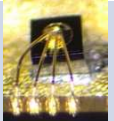

























**IL 1dB → R résonateur < 0.1Ω**  
 0.1Ω = R d'1 fil Au , L=1mm Ø= 25μm

$$R = R_{\text{self\_capa HTS}} + R_{\text{contacts Au/YBaCuO}} + R_{\text{cablage}} + R_{\text{commut.}}$$

OK
↑
difficulté supplémentaire



## Programme Astrid: SMIC THALES-TCS, UMR, XLIM, IEMN

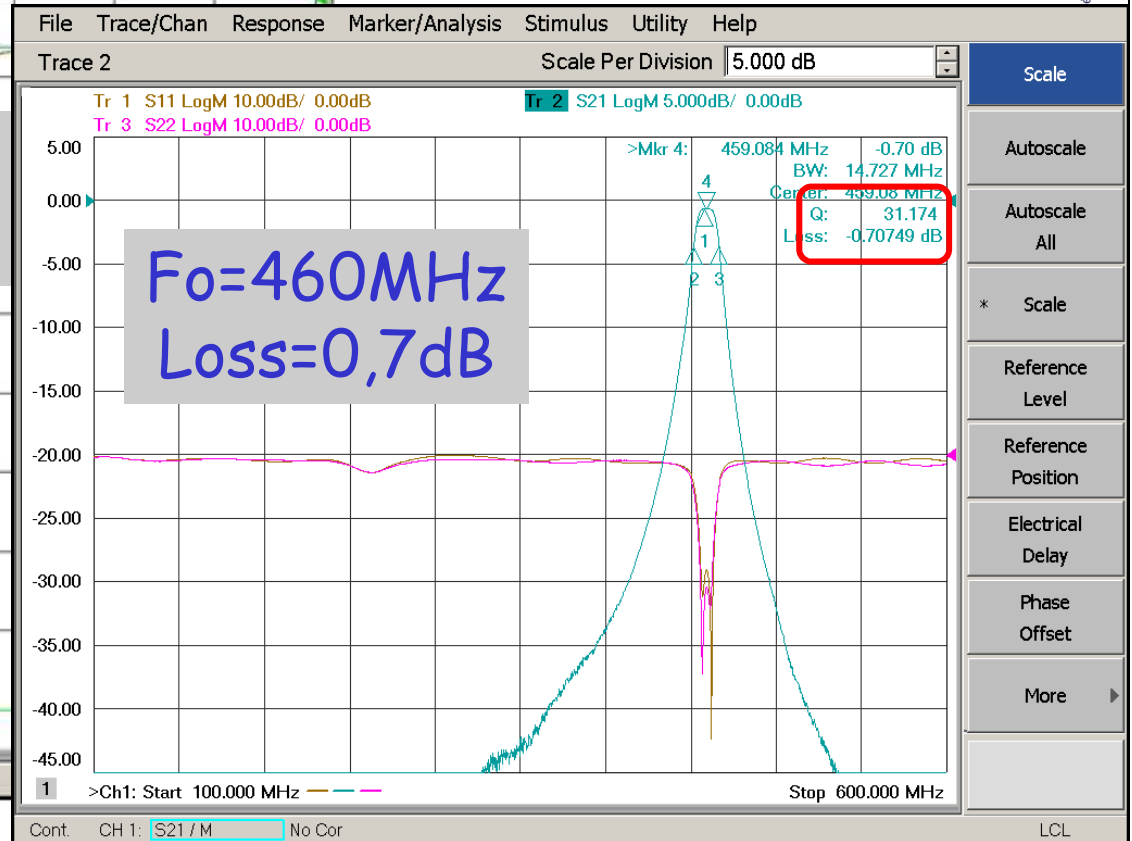
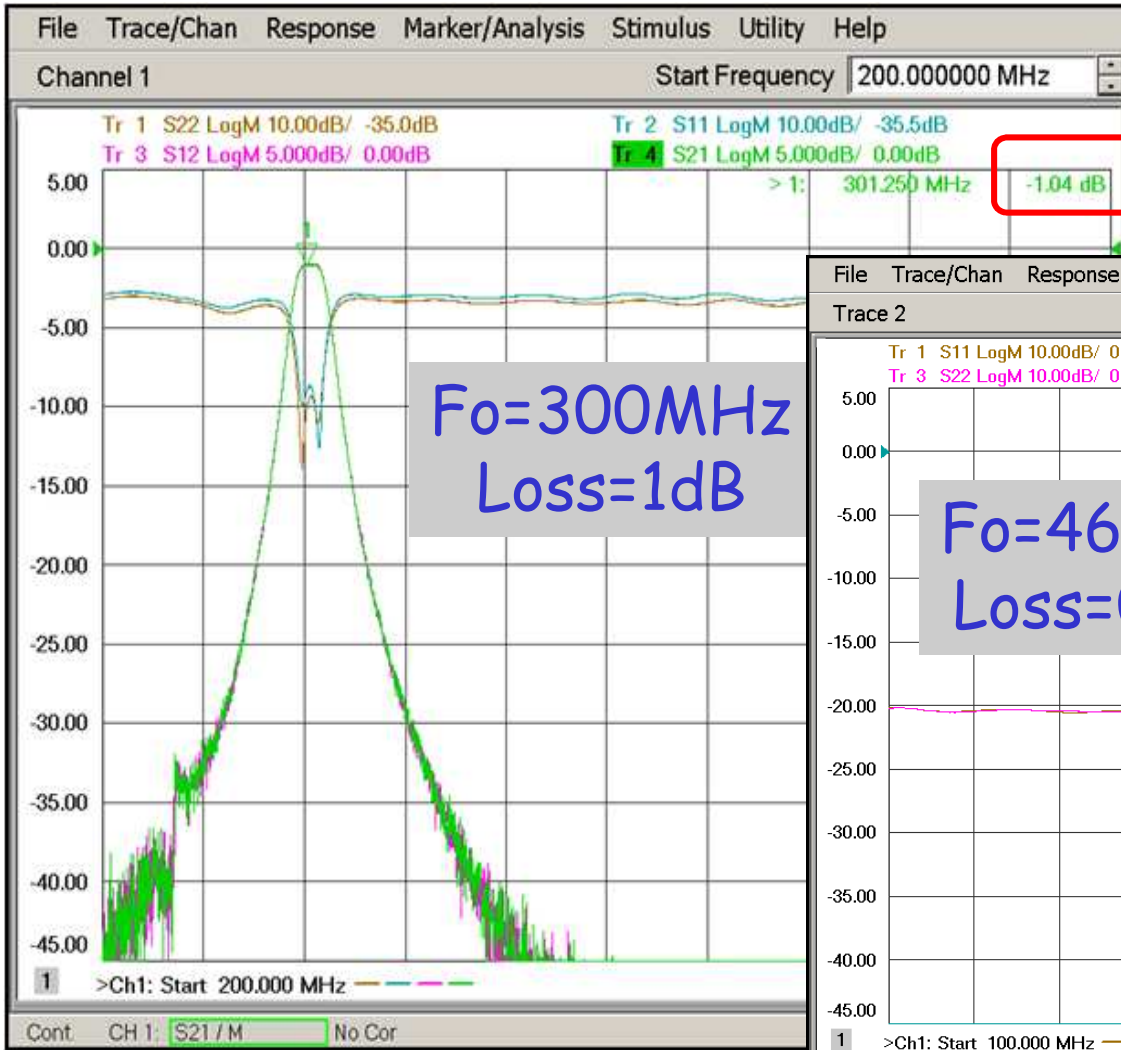
		Cryo compatible	R <sub>on</sub>	R <sub>off</sub>	capa	supply	Switch time	size
<b>PIN diode</b> Si, AsGa en cours								
<b>HEMT GaN on SiC RFMD</b>								
<b>CMOS Infineon</b>								
<b>HEMT-InSb IEMN</b>								
<b>MEMS-Ω</b> XLIM Radant/OMRON								

Date /Référence

**1<sup>er</sup> choix : les diodes PIN**

OPEN

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de Thales ©THALES 2013 Tous Droits réservés Modèle - rtp version 7.1.0



réalisable et écrit de Thales

Ce document est la propriété de Thales

OPEN



## Packaging cryogénique

- ◆ Passer d'un composant à un système
- ◆ Ajouter une composante (SWAP), réduction de la taille, du poids et de la consommation de l'environnement cryogénique.
- ◆ Assemblage cryostat-cryogénérateur

## Intégration cryogénique d'un récepteur complet

- ◆ Bande S, C, X, Ku, Ka
  - Montée en fréquence jusqu'à 40GHz
- ◆ Les fonctions à développer et à intégrer
  - filtres passe-bande ou stop-bande
  - commutateurs
  - amplificateurs
  - oscillateurs et des mélangeurs
  - limiteurs (nouvelle fonction à développer)



THALES

OPEN

**Analyse de spectres en GE**

**Propriétés des cristaux dopés terre rare**

**Principe de l'analyse spectrale utilisant les cristaux dopés terre rare**

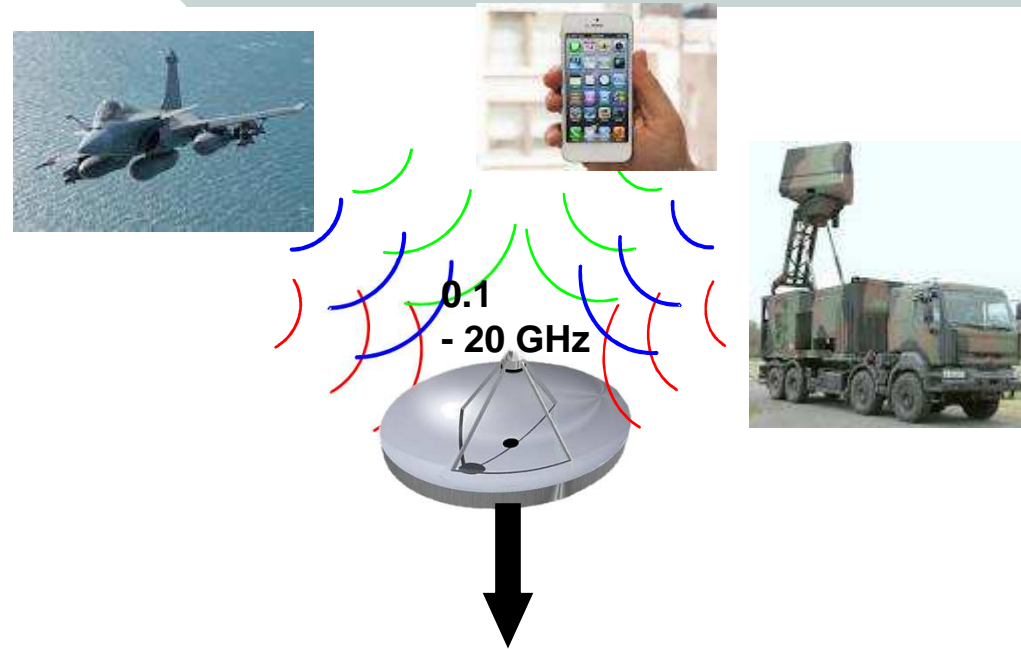
**Précédente démonstration**

**Performances actuelles**

**Perspectives**

# CRISTAUX DOPÉS TERRE RARE POUR LES APPLICATIONS EN GUERRE ÉLECTRONIQUE



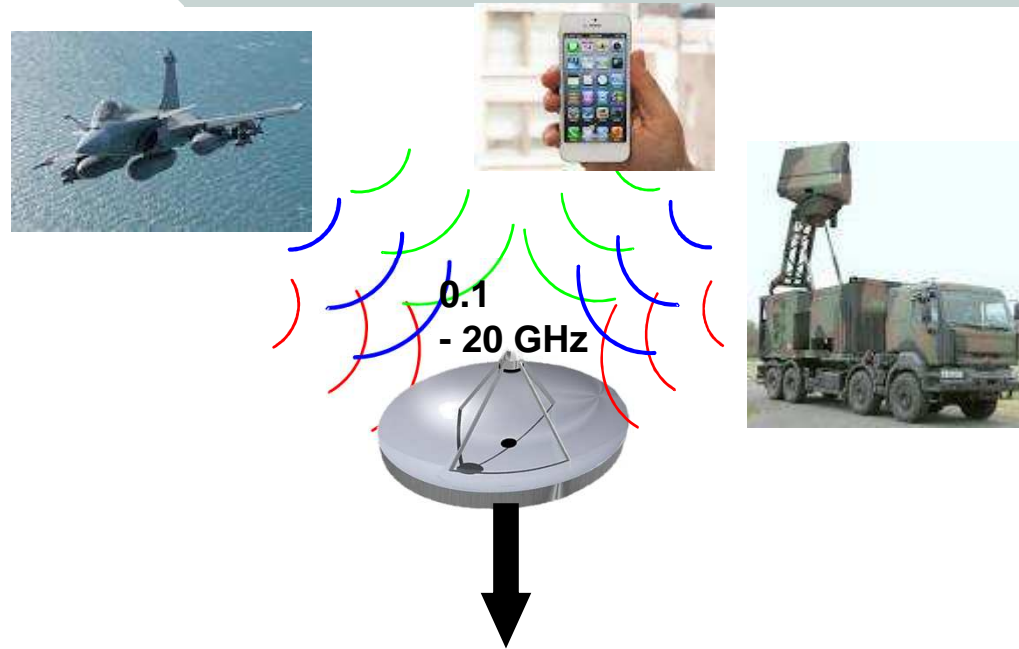


## Analyse de spectres en GE

- ◆ Identification
- ◆ Classification
- ◆ Goniometrie...

OPEN

THALES

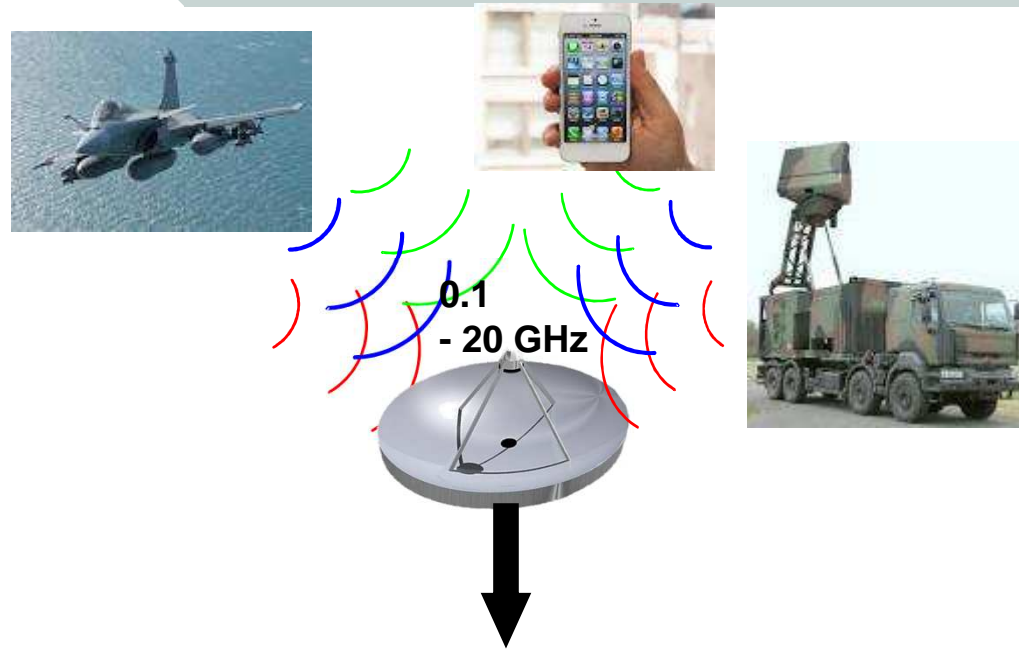


### La classification nécessite:

- ◆ Bande passante instantanée importante
- ◆ Résolution fréquentielle
- ◆ Résolution du temps d'arrivée
- ◆ Sensitivité et dynamique importante

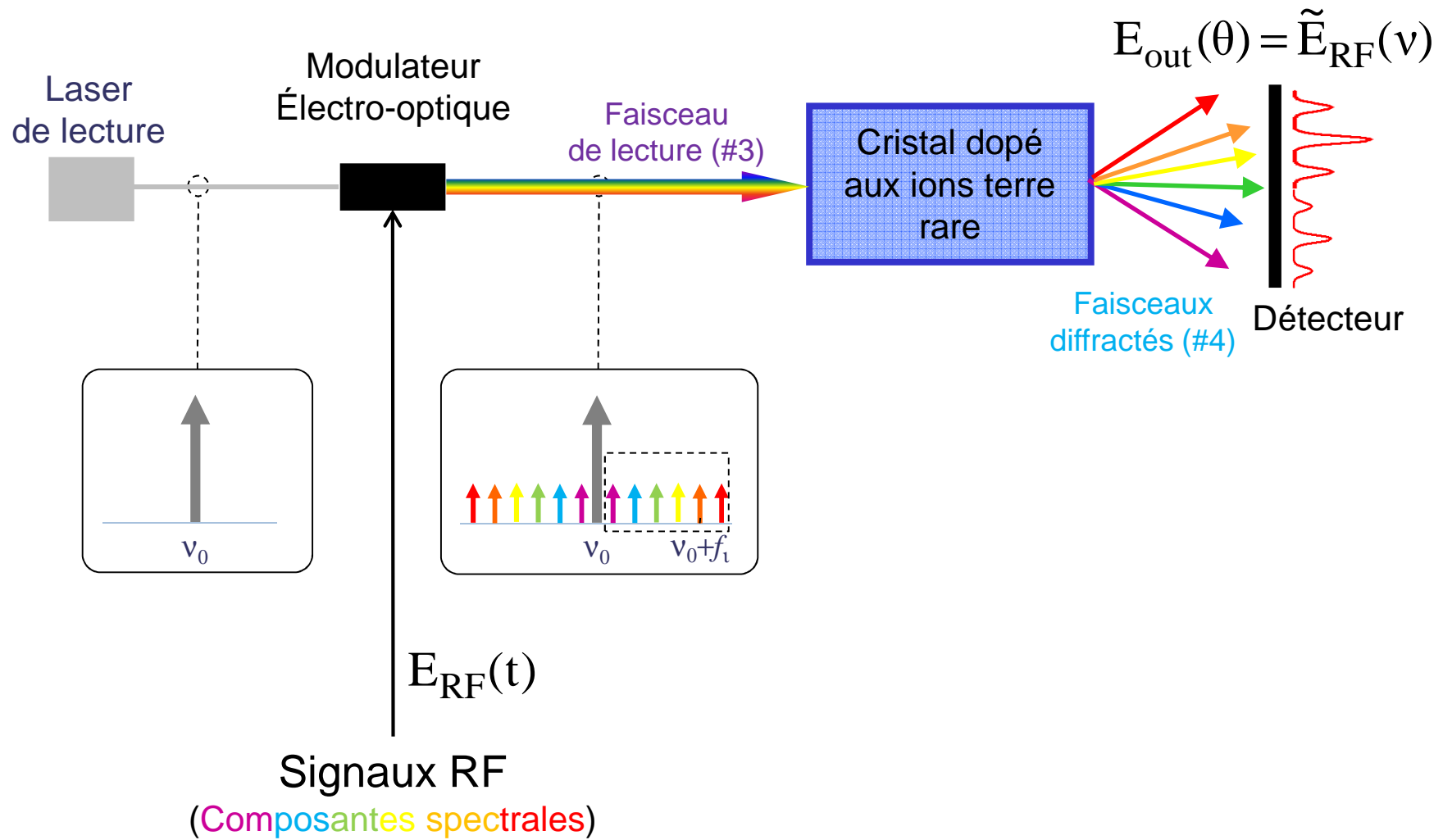
OPEN

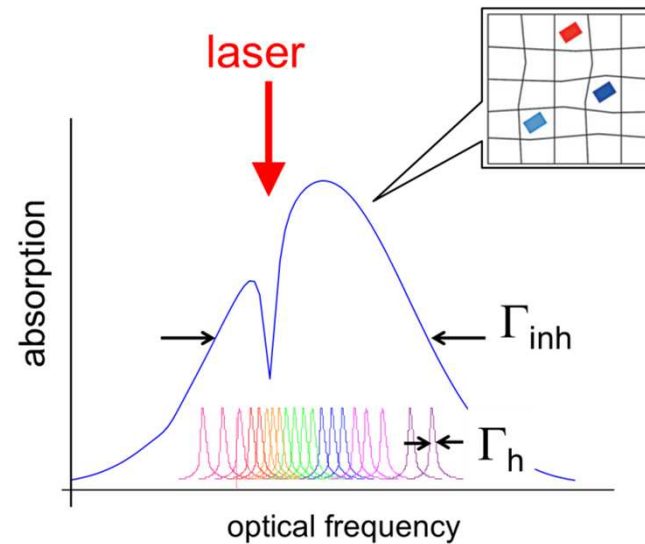
THALES



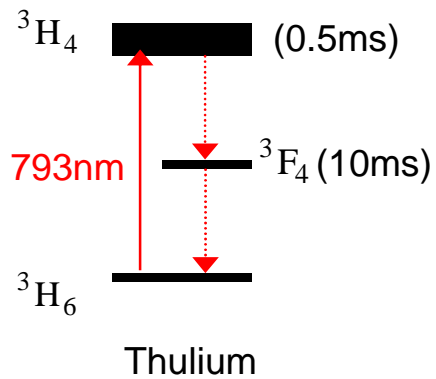
## Systemes électroniques/numeriques

- ◆ Ne peuvent instantanément couvrir 2-20GHz avec une grande dynamique
- ◆ Bande passante réduite (qq GHz) balayée sur 2-20 GHz  
→ diminue la probabilité d'interception





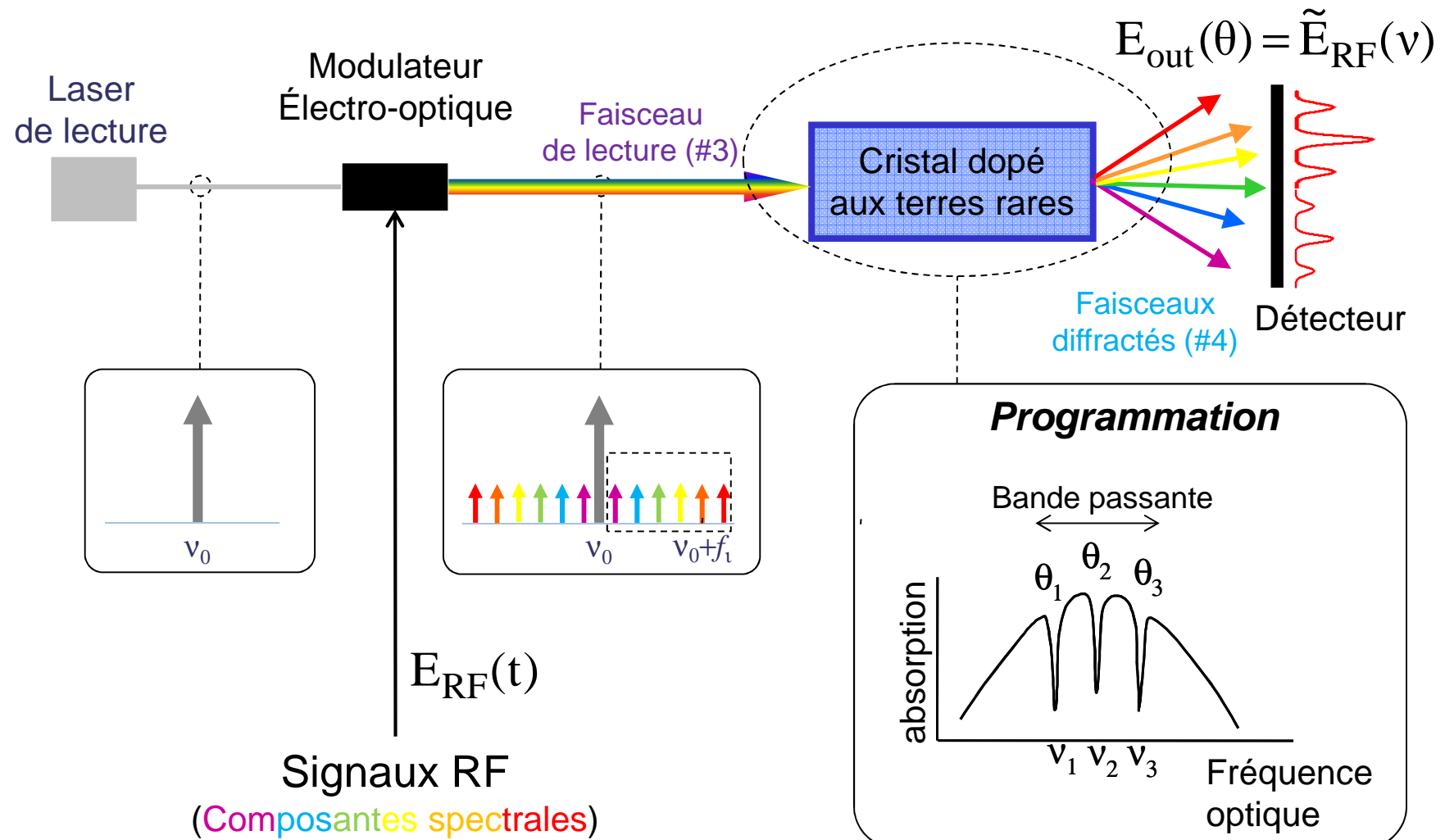
## Cristal dopé aux terres rares: Tm:YAG @T<5K

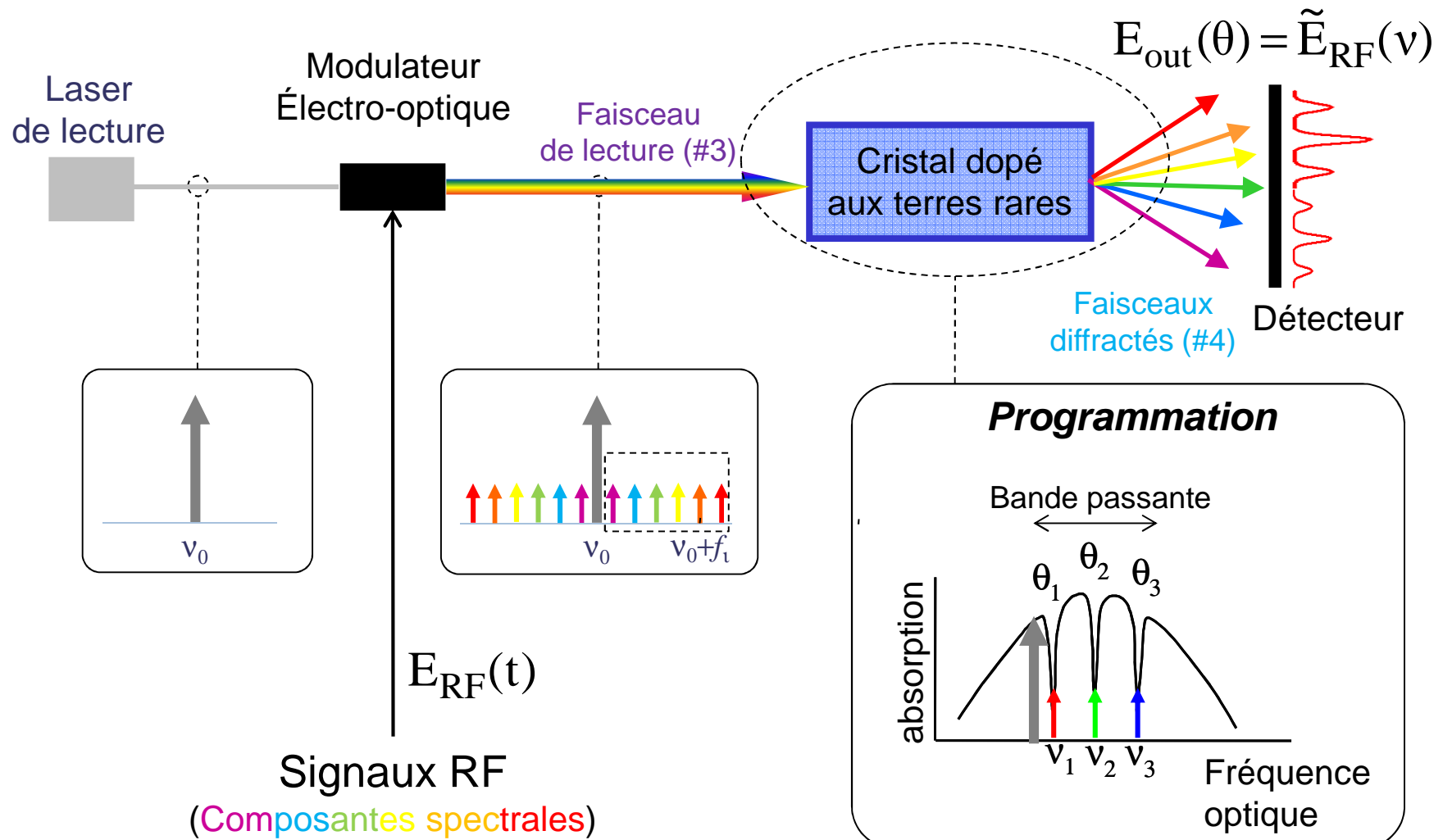


- ◆  $\lambda=793\text{nm}$
- ◆  $\Gamma_{inh}>20\text{GHz}$  → *bande passante max.*
- ◆  $\Gamma_h<100\text{kHz}$  → *résolution max.*

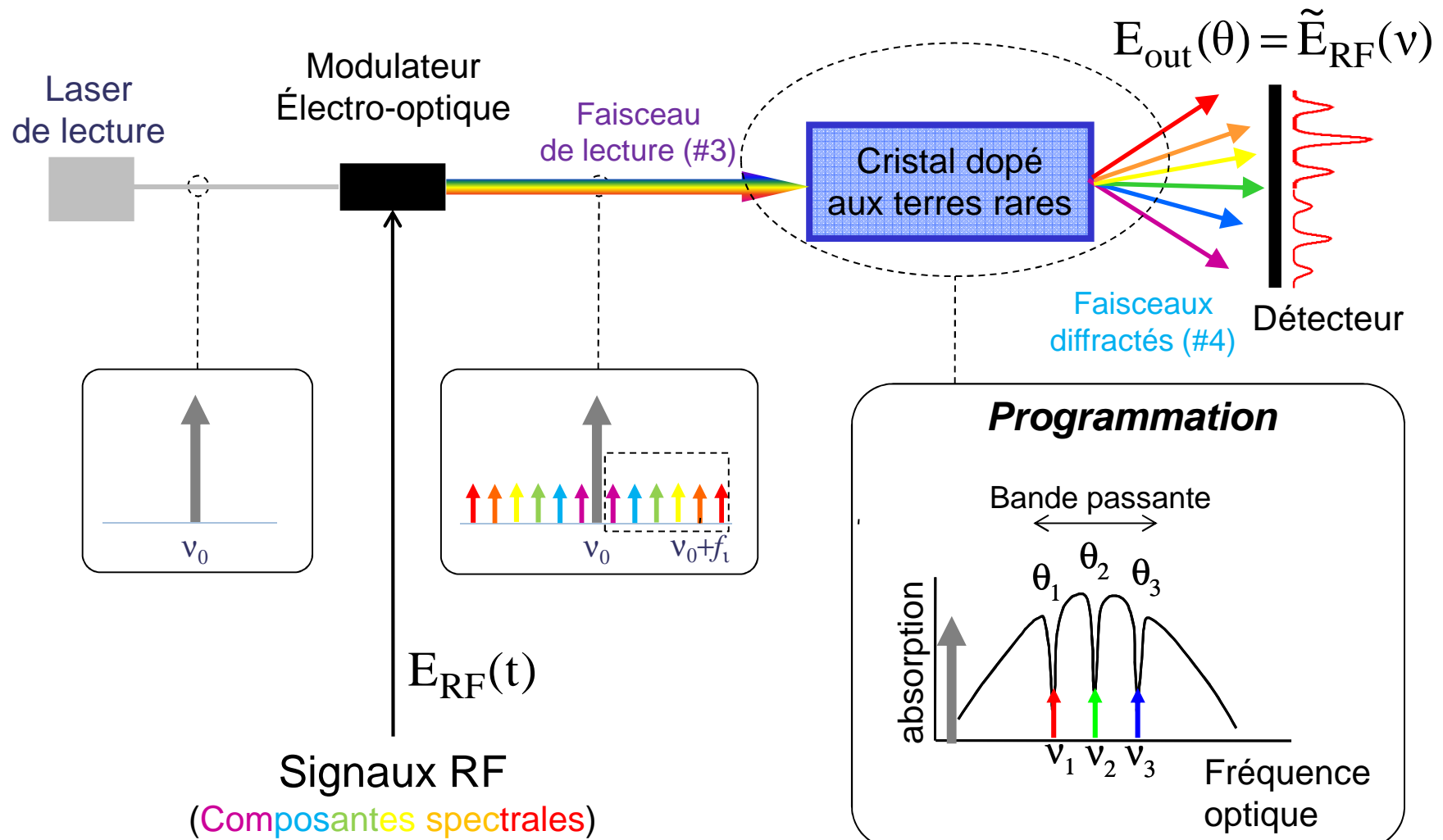
OPEN

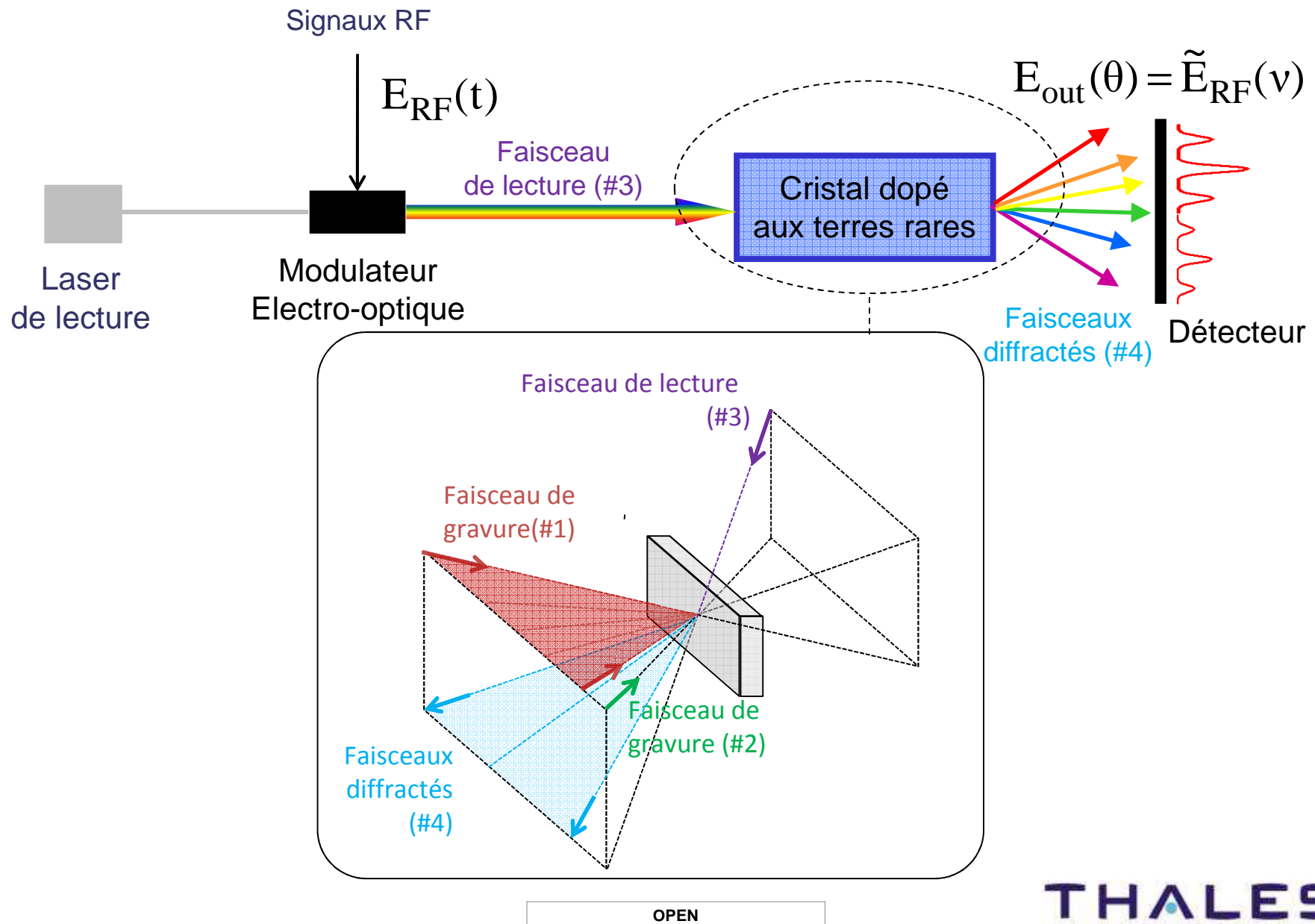
THALES





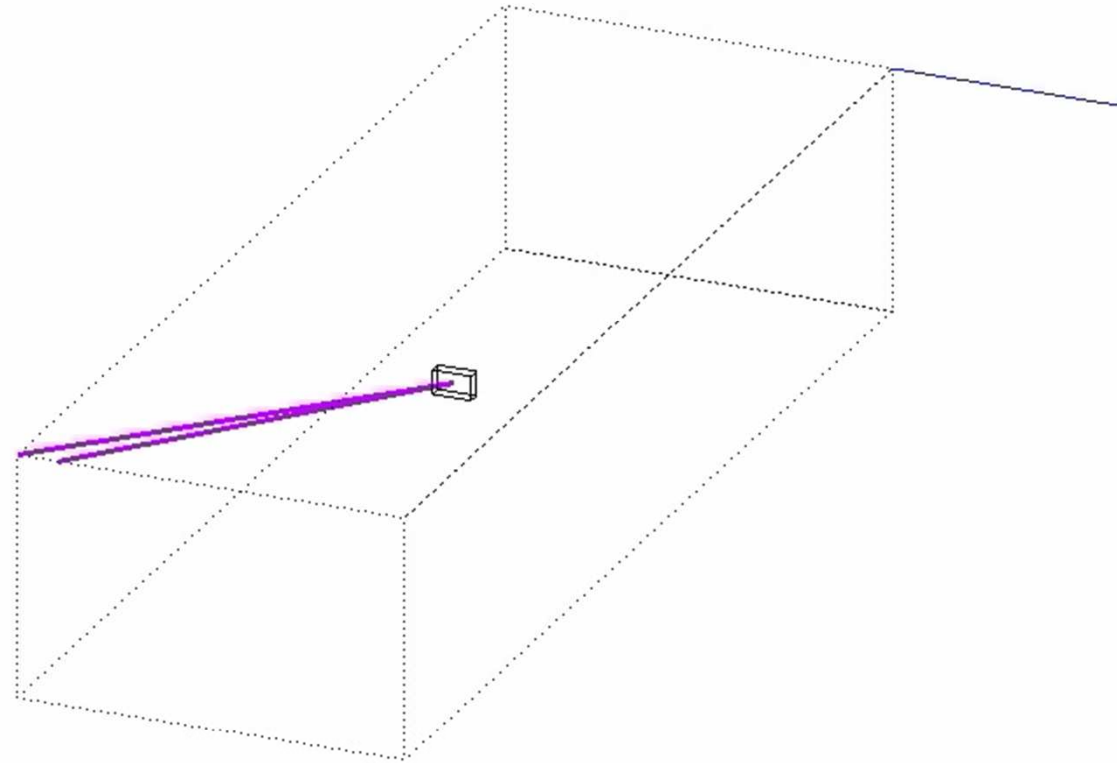




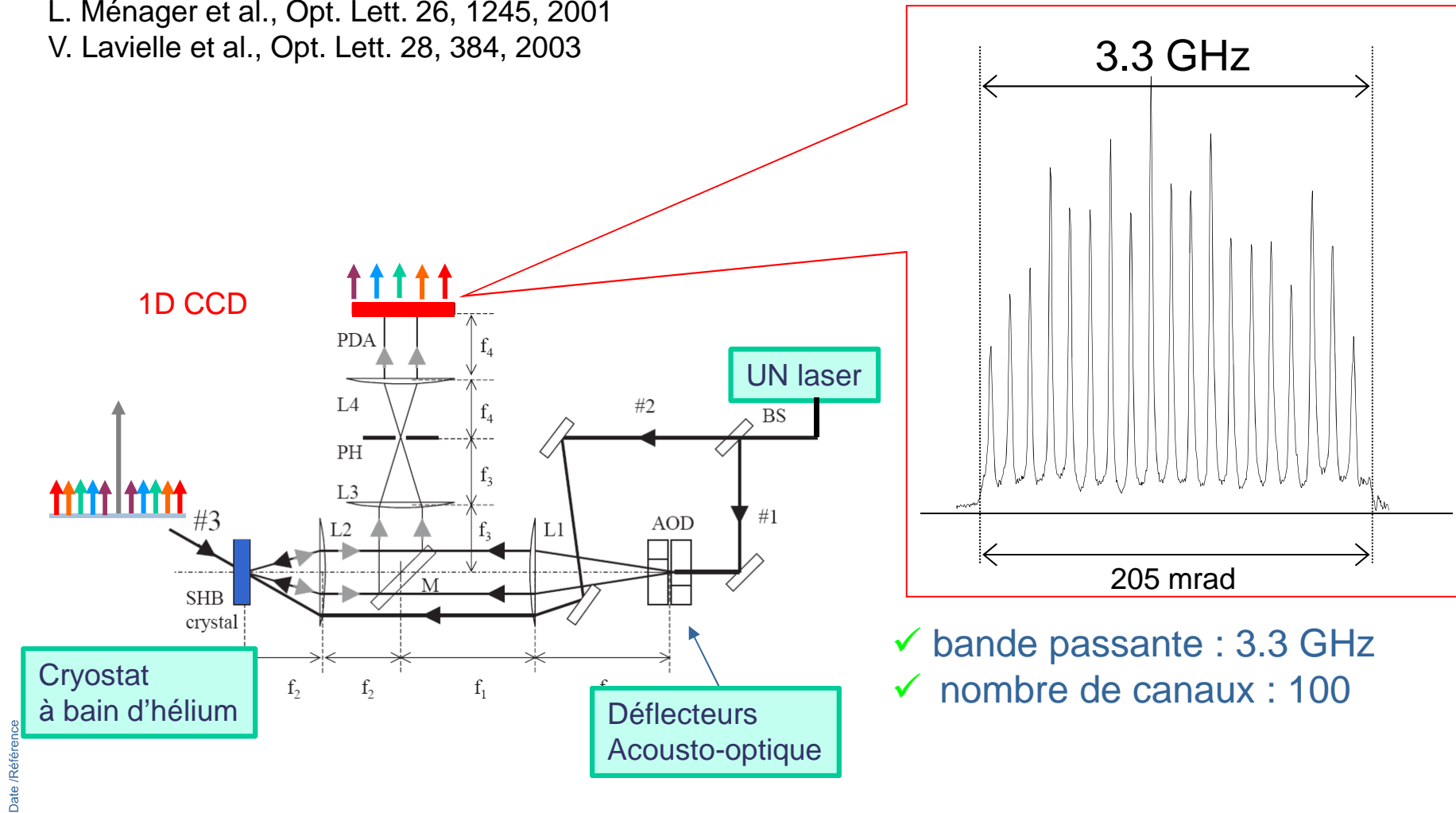


## ◆ Analyse spectrale et programmation simultanées

→ Probabilité d'interception = 100%



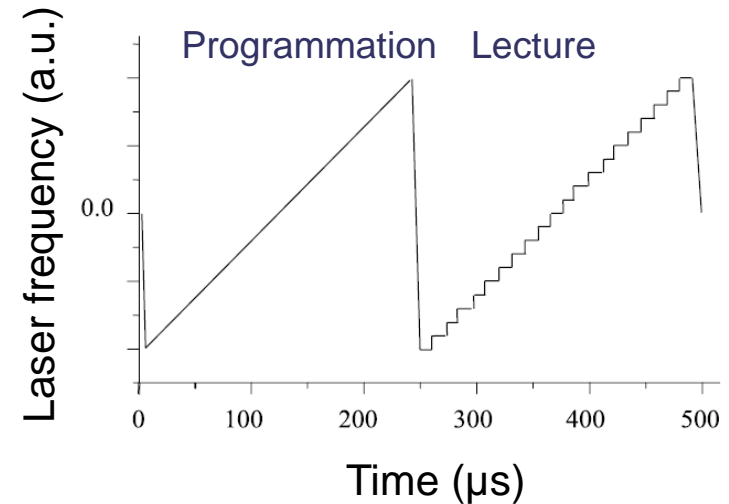
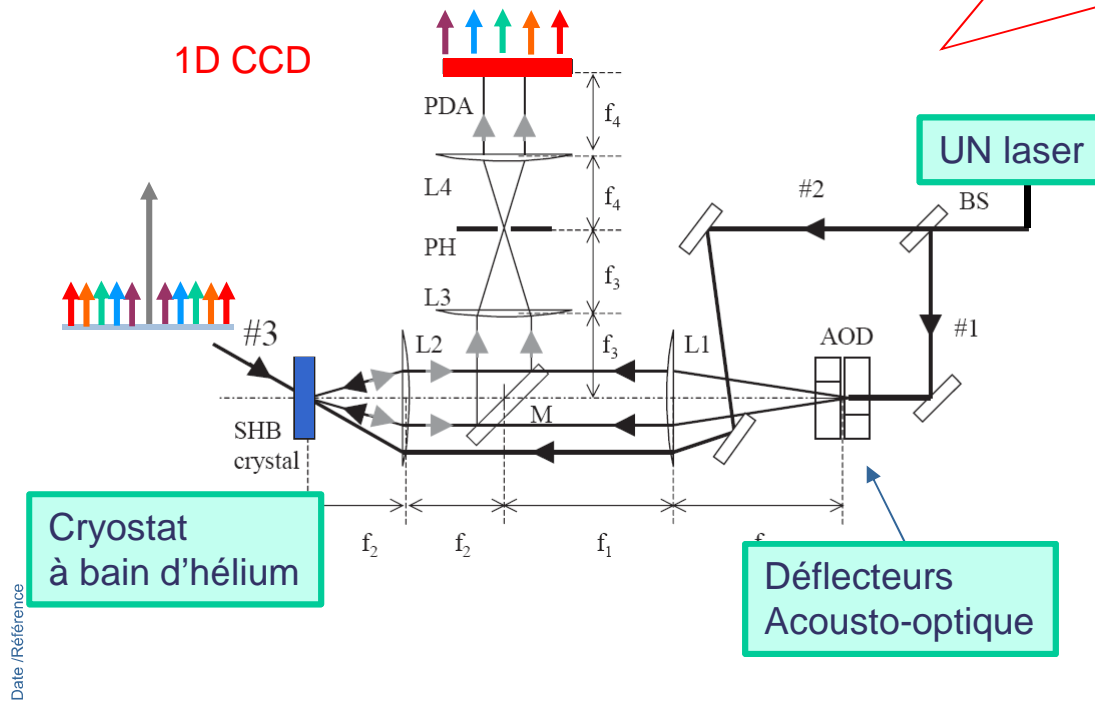
L. Ménager et al., Opt. Lett. 26, 1245, 2001  
 V. Lavielle et al., Opt. Lett. 28, 384, 2003



OPEN

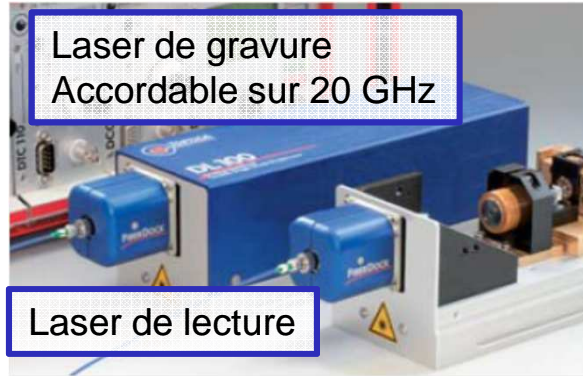
THALES

L. Ménager et al., Opt. Lett. 26, 1245, 2001  
 V. Lavielle et al., Opt. Lett. 28, 384, 2003



- ✓ bande passante : 3.3 GHz
- ✓ nombre de canaux : 100
- ✓ temps de rafraichissement : 1 ms
- ✓ Pas d'analyse sur signaux RF
- ✓ POI 50 %

UN laser



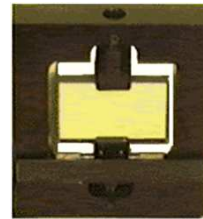
➤ Bande passante instantanée

Probabilité d'interception ➔ 100%

Défecteurs acousto-optique



Miroir résonnant



➤ Nombre de canaux

Cryostat à bain d'hélium



Cryostat à circuit fermé « Plug and play »

➤ Maturité

camera

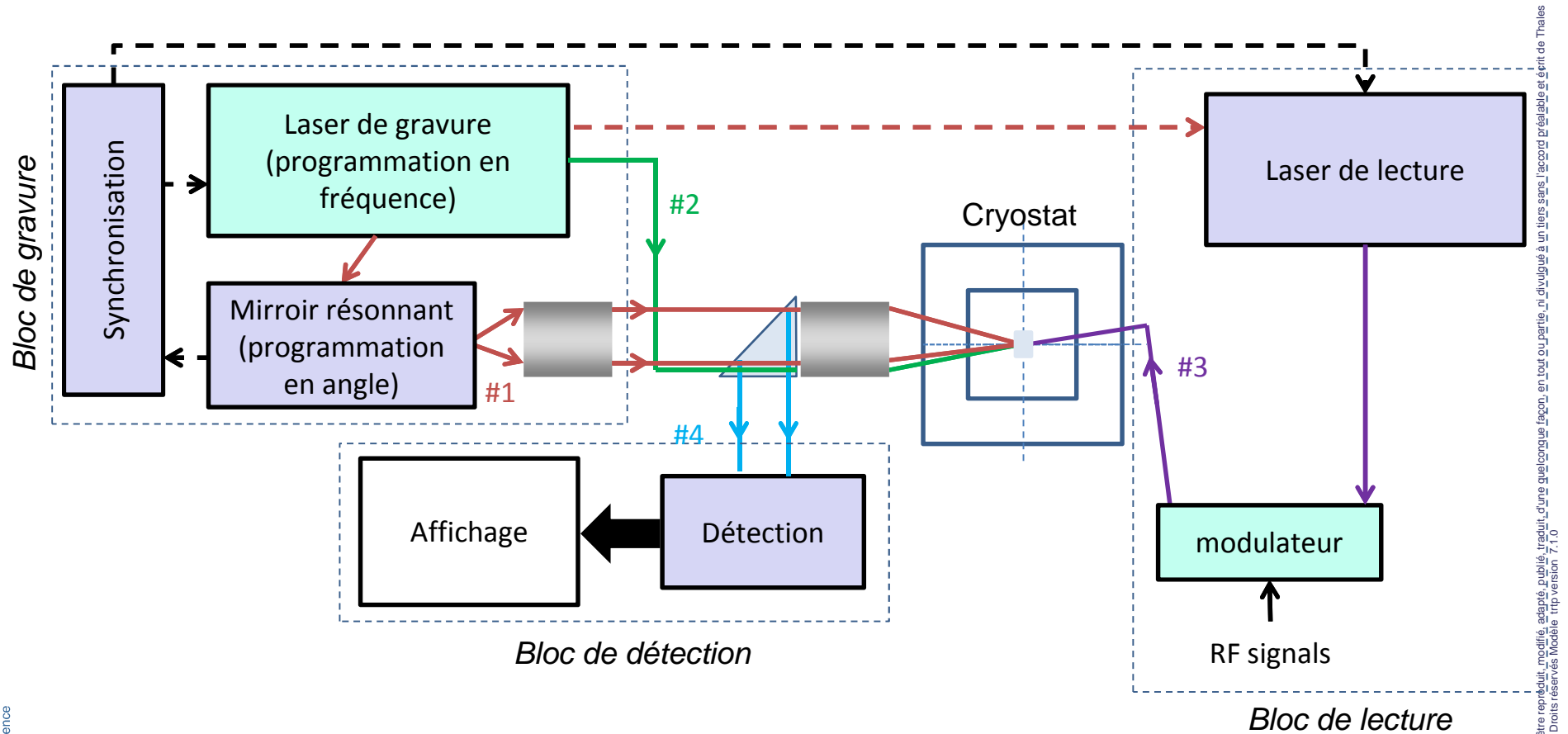


Camera rapide

➤ Résolution temporelle

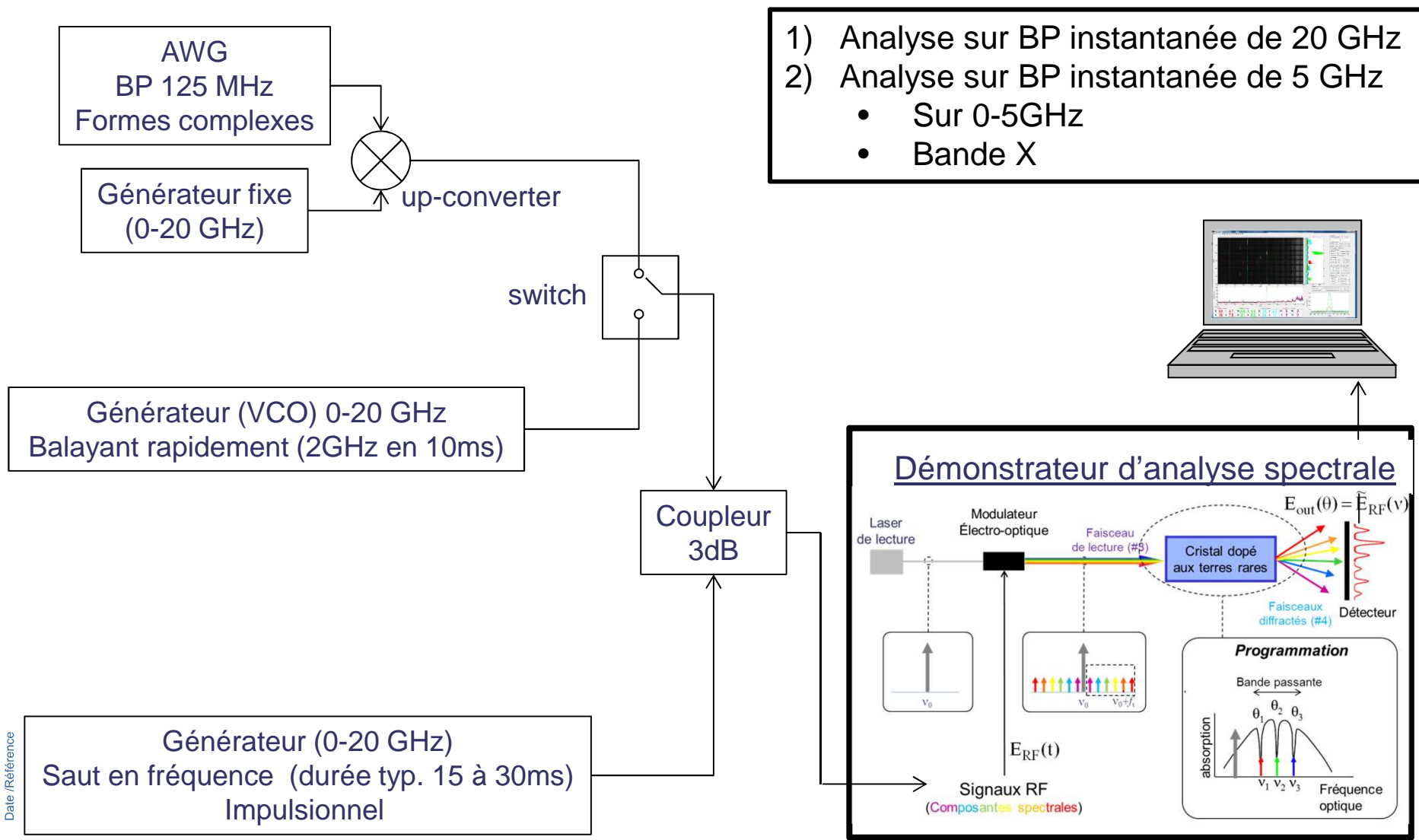
OPEN







# Démonstration: observation de spectres de signaux complexes



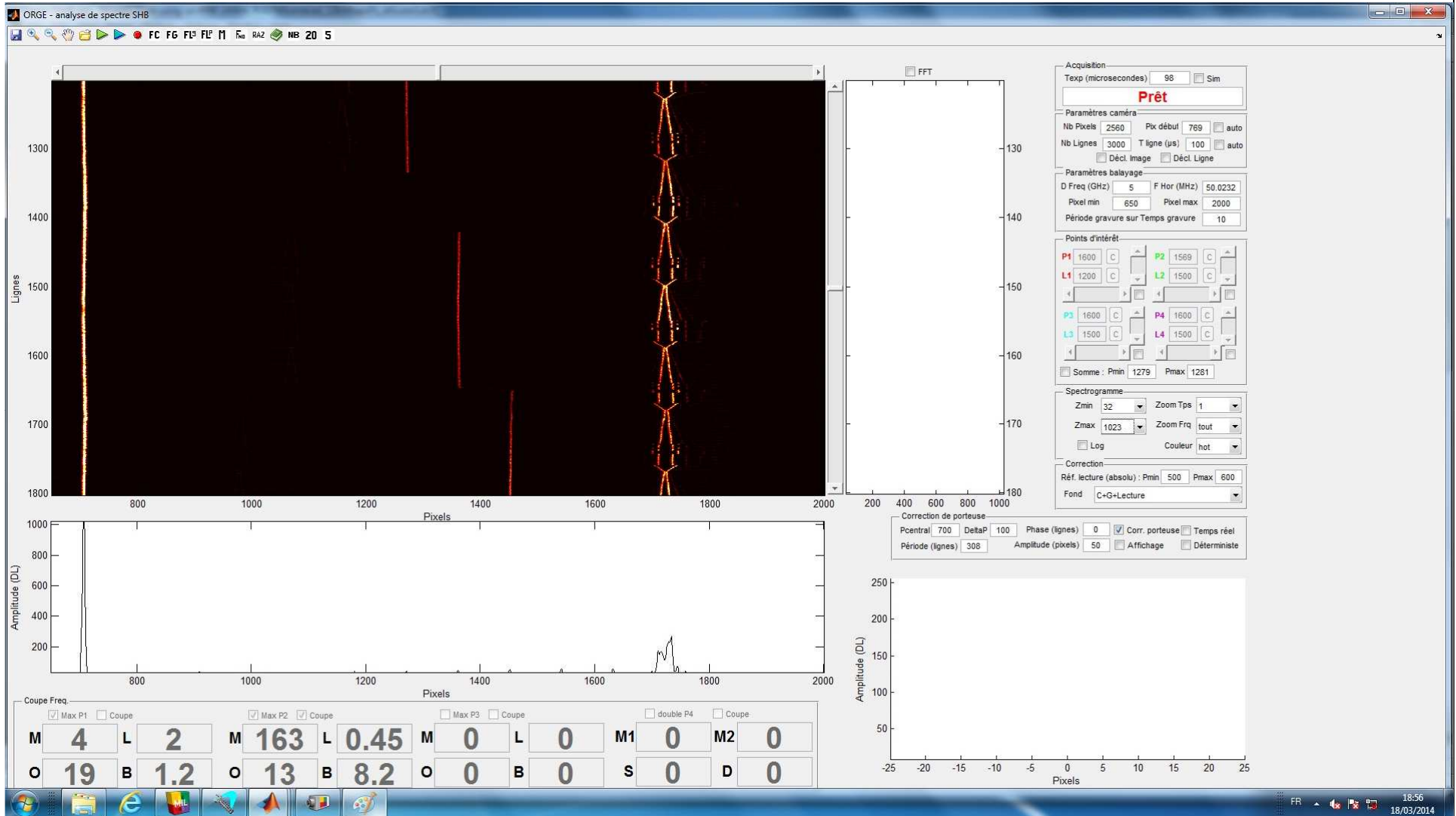
Date /Référence

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable de THALES ©THALES 2013 Tous Droits réservés Modèle - Inp version 7.1.0

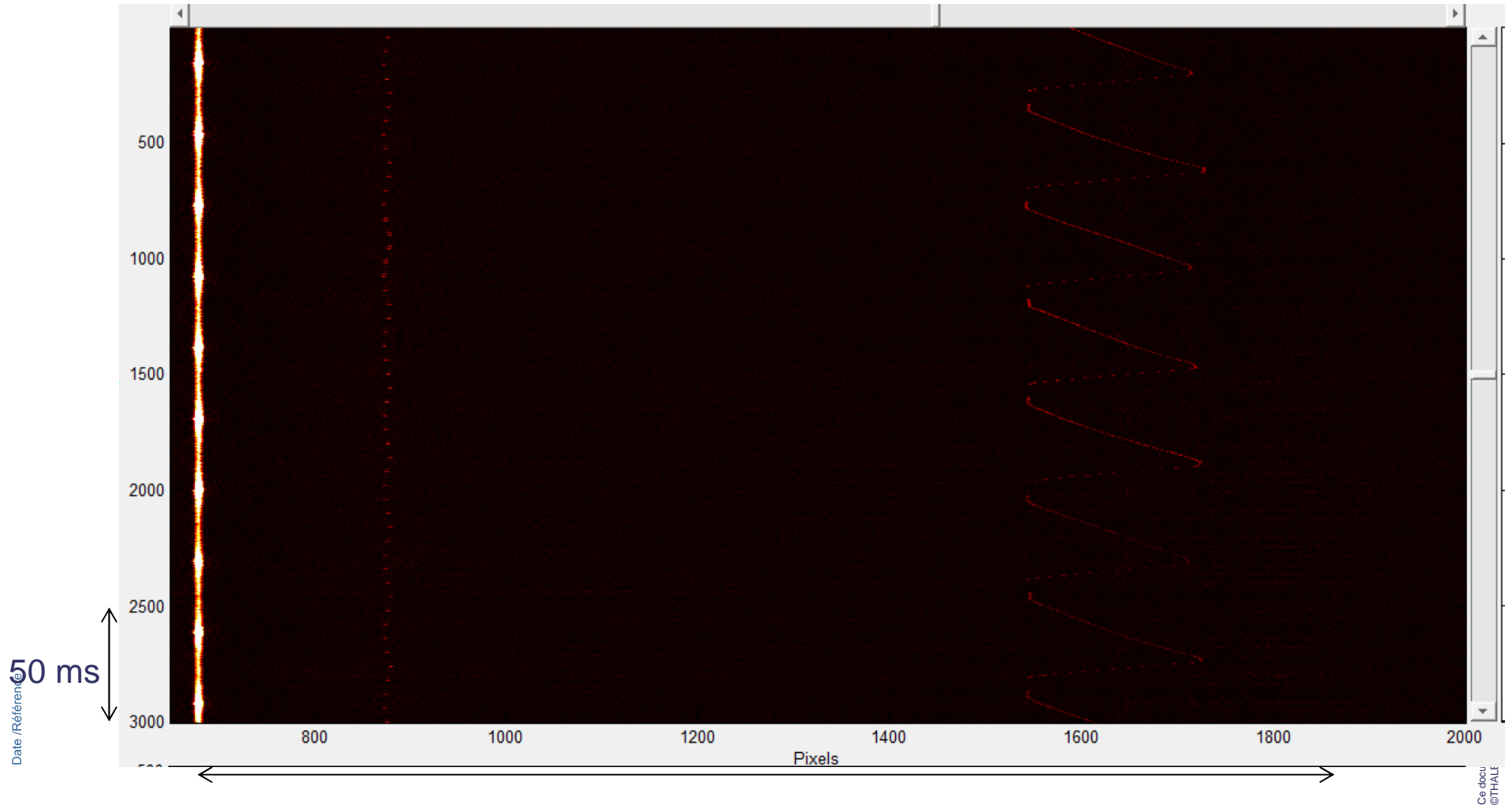
OPEN



# Spectrogrammes obtenus



OPEN

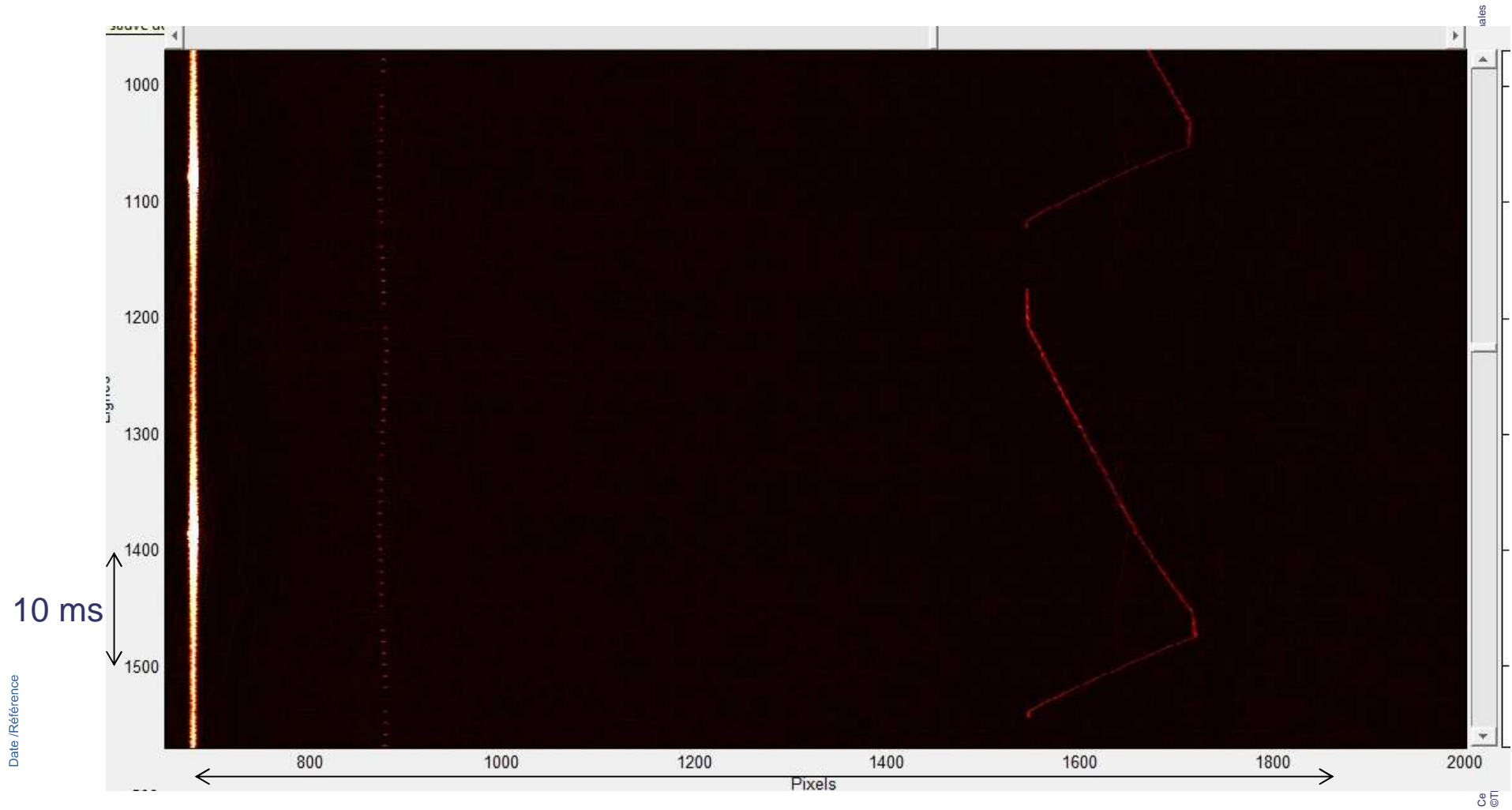


20 GHz

OPEN

THALES

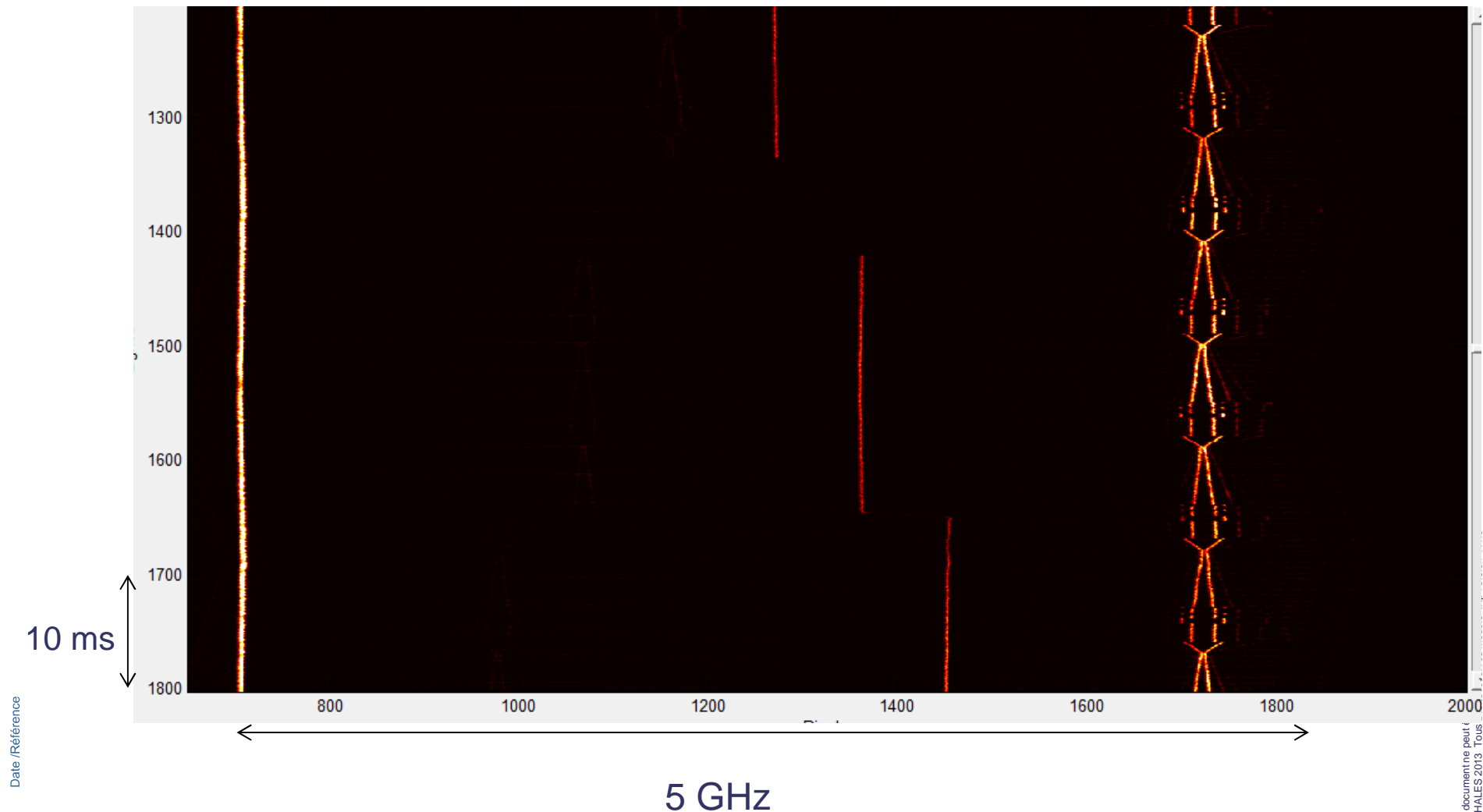
Ce document  
©THALES



20 GHz

OPEN

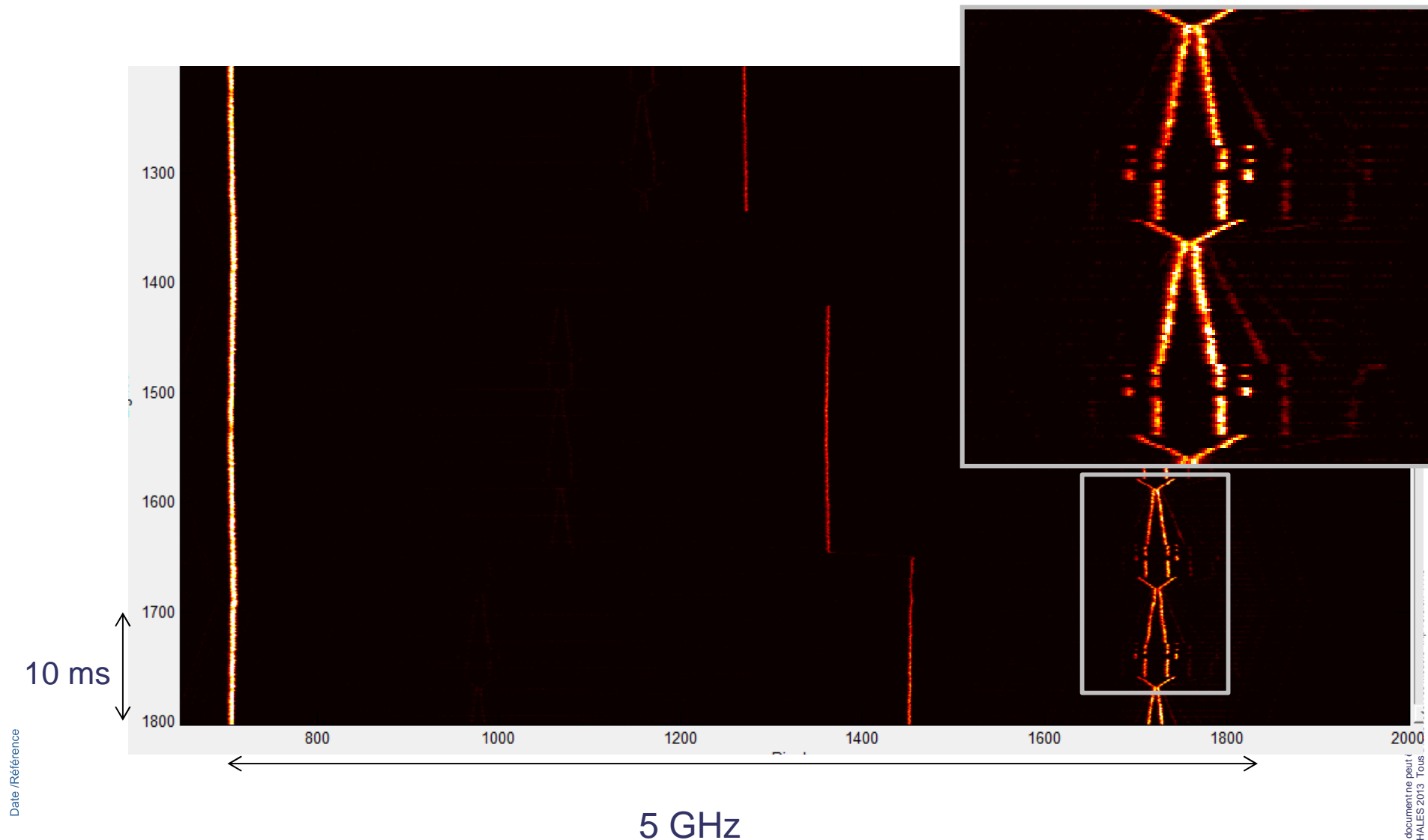




Ce document ne peut être diffusé sans l'accord de THALES 2013 Tous droits réservés

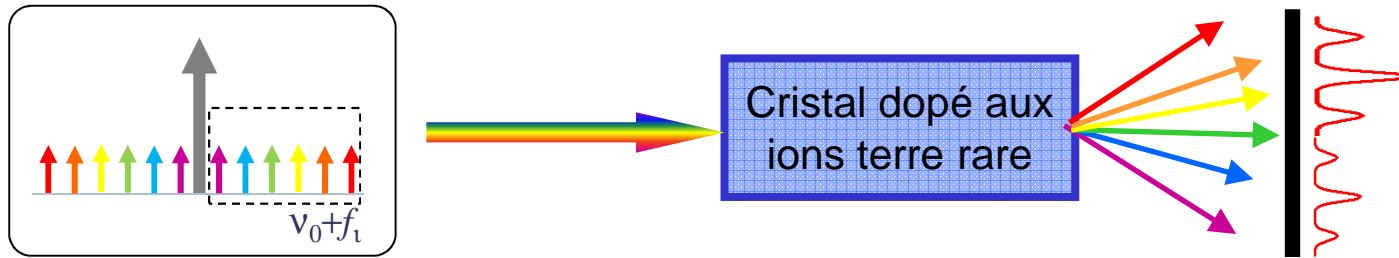
OPEN



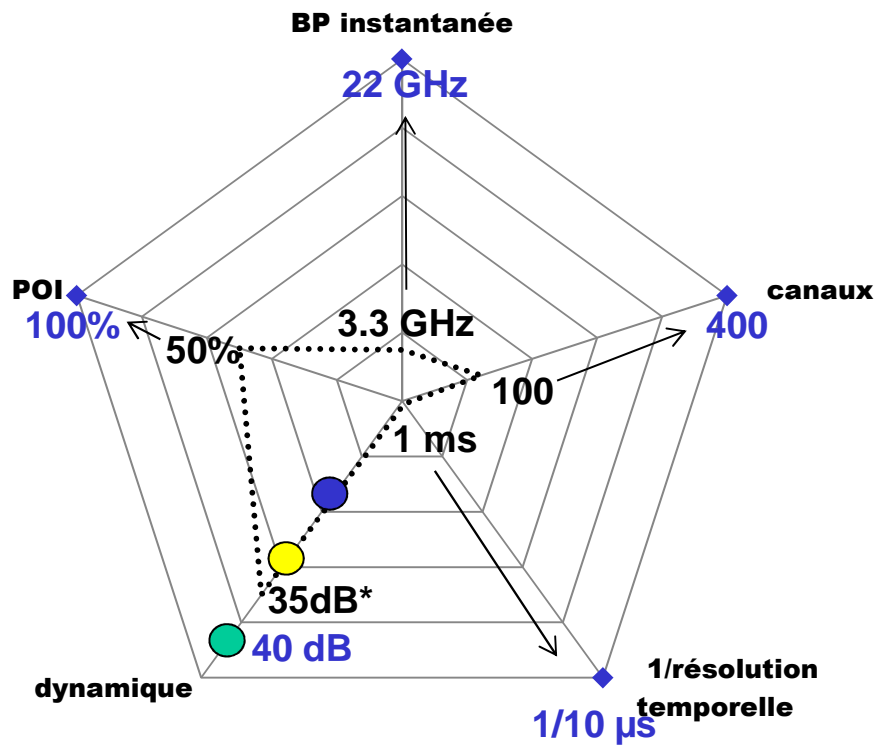


Ce document ne peut être diffusé sans l'accord de THALES 2013

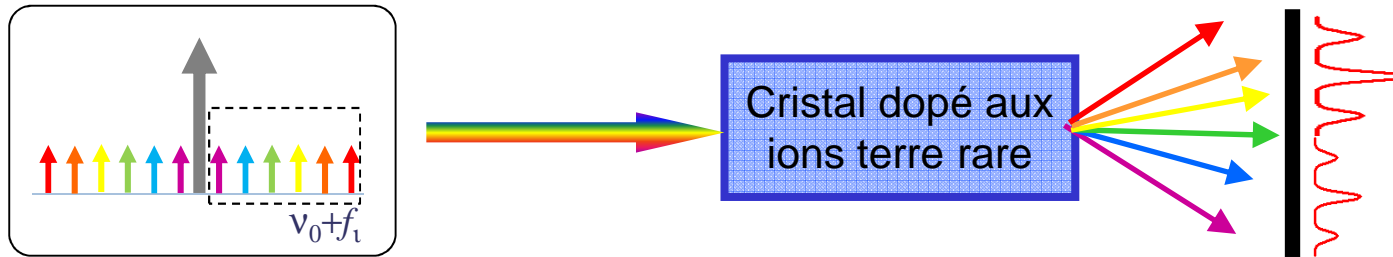
OPEN



## Démonstrateur d'analyse spectrale



- ◆ Demo sur signaux RF
- ◆ avec un cryostat en circuit fermé
- ◆ Possibilité de zoom



### ◆ Montée en TRL

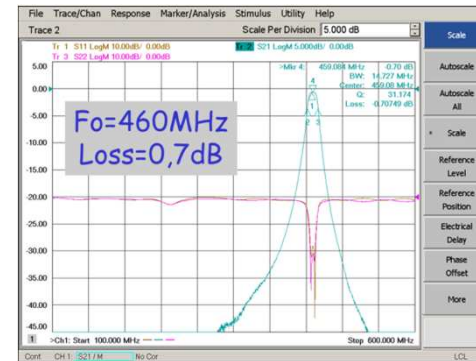
- Démonstrateur compact et transportable
- Analyse sur signaux radar

### ◆ Exploration de nouvelles fonctions

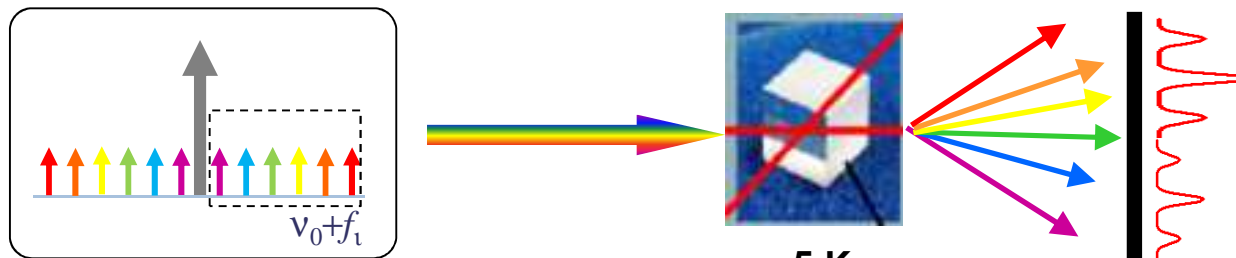
- Filtrage
- Goniométrie d'amplitude /de phase



## Matériaux supra haute température pour les « front-end »



## Cristaux dopés terre rare pour les applications en guerre électronique



5 K

OPEN



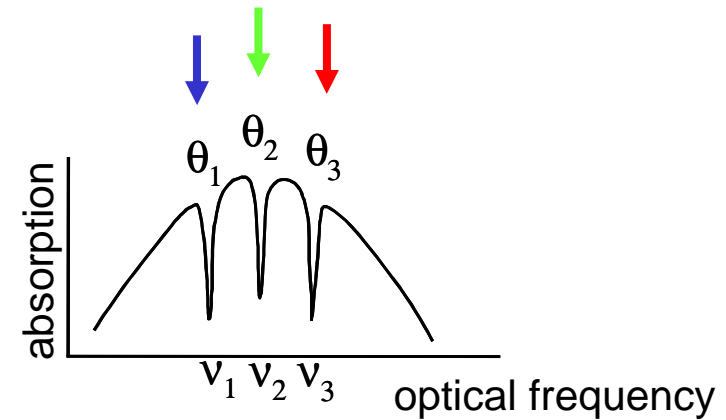
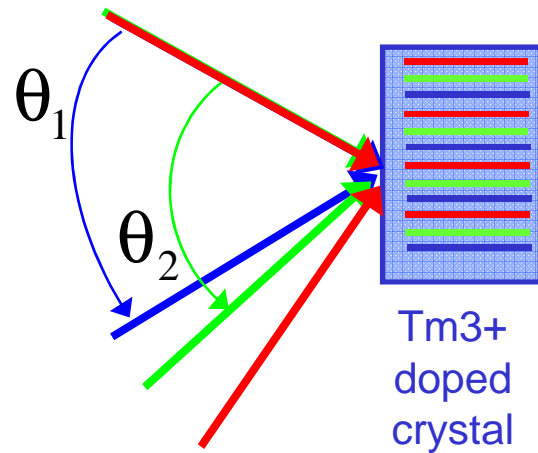
# ANNEXES

Date /Référence

OPEN

THALES

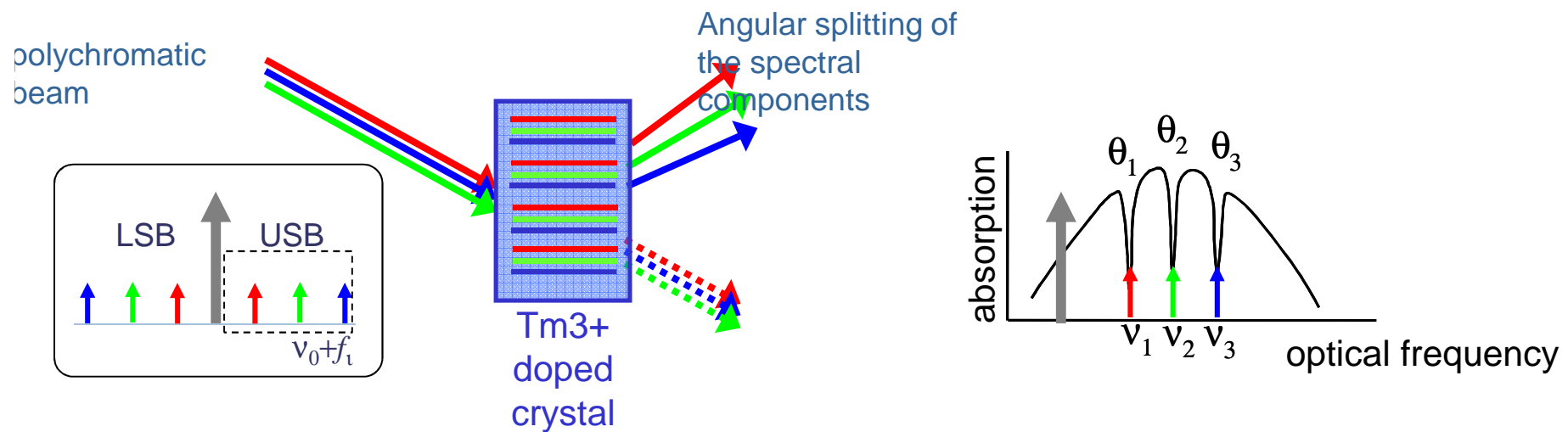
## Crystal programming



## Holograms recording :

- ◆ 1 monochromatic Bragg grating for each spectral channel
- ◆ a specific angle is associated to each frequency
- ◆ gratings life-time : 10ms
  - ➔ gratings have to be refreshed continuously

## Read-out of the gratings for RF spectrum analysis



## Diffraction of the optically carried RF on the holograms :

- ◆ frequency resolution given by the spectral holes selectivity, not by Bragg selectivity