

Le LPMO :

- Fondé en 1958 par les Professeurs A. Kastler (prix Nobel de Physique) et J. Uebersfeld : le Laboratoire de l'Horloge Atomique (section de Besançon)
- Devenu LPMO en 1974
- Unité Propre de Recherche n°3203 du CNRS, associée à l'Université de Franche-Comté
- Directeur : Pr. Daniel Hauden
- 68 personnes (dont 8 chercheurs, 18 ITA, 14 enseignants-chercheurs)

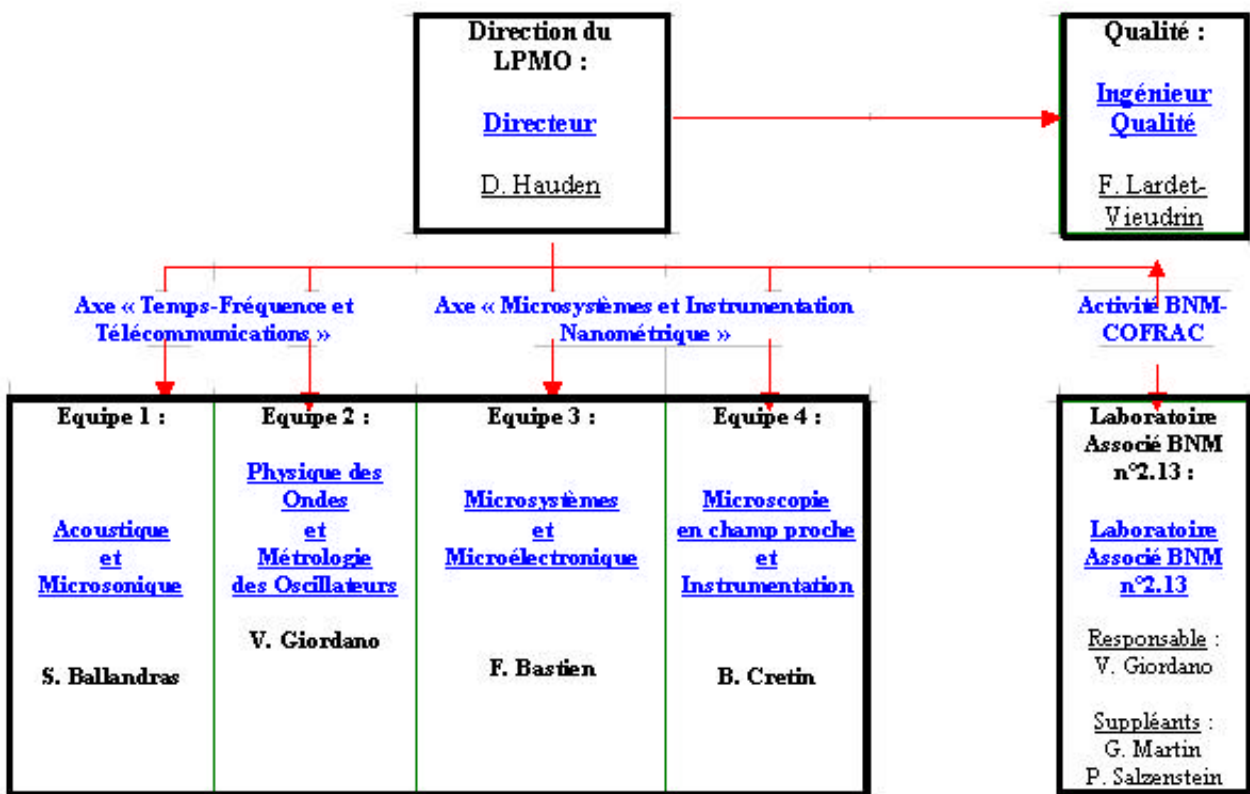
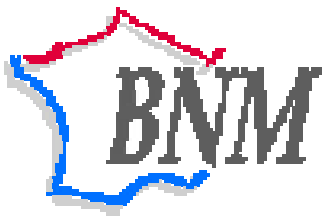


Fig.1 : Organisation scientifique du laboratoire

Laboratoire Associé au Bureau National de Métrologie (accréditation COFRAC n°2.13)

- Mission de maintien des moyens métrologiques et raccordement aux utilisateurs dans les domaines Spectral et Temporel
- Référentiel ISO-CEI 17025 (en cours)



Présentation des activités du Laboratoire Associé au BNM n°2.13

P. Salzenstein, G. Martin, F. Lardet-Vieudrin et V. Giordano
Laboratoire de **P**hysique et de **M**étrologie des **O**scillateurs
UPR 3203, L.A. BNM 2.13,
32, avenue de l'Observatoire,
F25044 Besançon Cedex, France

Avec la disparition des Centres d'Étalonnages Agréés, le L.A. BNM s'inscrit dorénavant au premier niveau de la chaîne nationale d'étalonnage auxquels sont ajoutés les laboratoires associés pour les grandeurs que ne couvrent pas les laboratoires nationaux.

Notre laboratoire intervient avec les meilleures incertitudes dans les domaines suivant :

- Spectral : Mesure de densité spectrale de bruit de phase
- Temporel : Stabilité court terme, exactitude des oscillateurs

Ces activités complètent celles du BNM-LPTF et de l'Observatoire de Besançon.

AXES DE RECHERCHES DU DOMAINE TEMPS-FREQUENCE :

OSCILLATEURS MICROONDES DE REFERENCES :

- Saphir à mode de galerie cryogénique $Q=4.10^{-8}$ @11.4GHz
- Quartz à 16GHz et 26GHz

INSTRUMENTATION :

- Développement d'instruments et de méthodes de caractérisation (méthode interférométrique à 5MHz, 10MHz, 100MHz mesure du bruit de phase)

SYNTHESE DE FREQUENCE :

- Faible bruit (projet PHARAO)

MODELISATION DES OSCILLATEURS A QUARTZ :

- Développement du logiciel ADOQ

ETUDE DE LA SENSIBILITE

ENVIRONNEMENTALE DES QUARTZ :

- Magnétisme
- Température

**Collaborations avec le BNM, le CNES, le LPTF,
l'ESSTIN & le LPMI (Univ. Nancy 1), le LAAS,
l'IRCOM, l'Observatoire de Besançon, le LCEP, l'UWA
(University of Western Australia), ...**

Etalonnage de paires d'oscillateurs identiques pour le domaine 5MHz-18GHz :

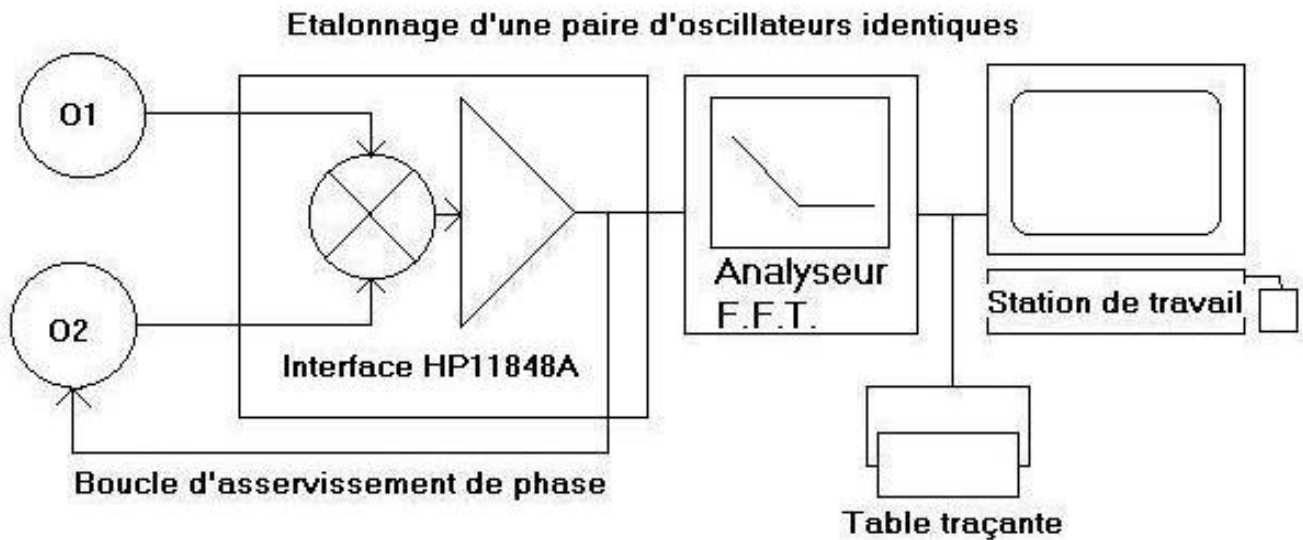


Fig.2 : Principe

Domaine de Mesure	Fréquence de Fourier (Hz)	Bruit résiduel du banc de mesure $\mathcal{E}(f)$ en dBc/Hz	Incertitude	Méthode et moyens mis en oeuvre
5 MHz à 500 MHz	1	-140	G2 dB	Test de deux oscillateurs identiques. Asservissement des 2 oscillateurs l'un sur l'autre. Analyse du signal d'erreur
	10	-150		
	10^2	-160		
	10^3	-170		
	10^4	-172		
	10^5	-172		
500 MHz à 18 GHz	1	-130	G2 dB	Test de deux oscillateurs identiques. Asservissement des 2 oscillateurs l'un sur l'autre. Analyse du signal d'erreur
	10	-140		
	10^2	-150		
	10^3	-160		
	10^4	-170		
	10^5	-170		

Fig.3 : Domaine couvert par l'accréditation

DOMAINE SPECTRAL

Mesure de densité spectrale de bruit de phase



Fig.4 : Banc de mesures spectrales

Etalonnage des oscillateurs seuls pour le domaine 5MHz-5,4GHz :

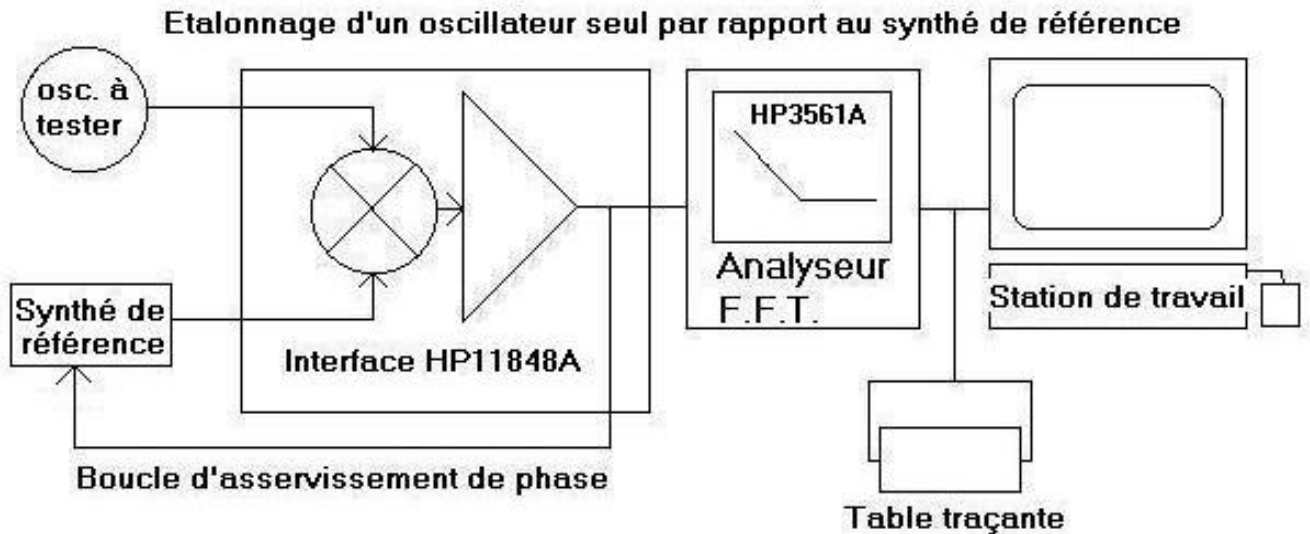


Fig.5 : Principe

Domaine de Mesure (en MHz)	Bruit résiduel $\xi(f)$ exprimé en dBc/Hz en fonction des Fréquences de Fourier						Incertitude	Méthode et moyens mis en oeuvre
	1Hz	10Hz	10^2 Hz	10^3 Hz	10^4 Hz	10^5 Hz		
5 \pm 0,5	-120*	-140*	-150*	-160*	-165*	-165*	± 2 dB	Asservissement de l'oscillateur à mesurer sur le signal synthétisé à partir de l'oscillateur de référence. Analyse du signal d'erreur de l'asservissement.
10 \pm 1	-114*	-136*	-144*	-156*	-159*	-159*		
11 à 120	-94**	-113**	-130**	-140**	-146**	-146**		
120 à 160	-90**	-120**	-132**	-142**	-148**	-146**		
160 à 320	-88**	-113**	-126**	-133**	-143**	-142**		
320 à 640	-82**	-107**	-119**	-130***	-148***	-148***		
340 à 1280	-75**	-101**	-111**	-122**	-140***	-142***		
1280 à 2700	-65***	-60***	-90***	-120***	-130***	-130***		
2700 à 5400	-55***	-53***	-84***	-114***	-124***	-124***		

Fig.6 : Domaine couvert par l'accréditation

ETALONNAGE DE SOURCES A 5 ET 10 MHz

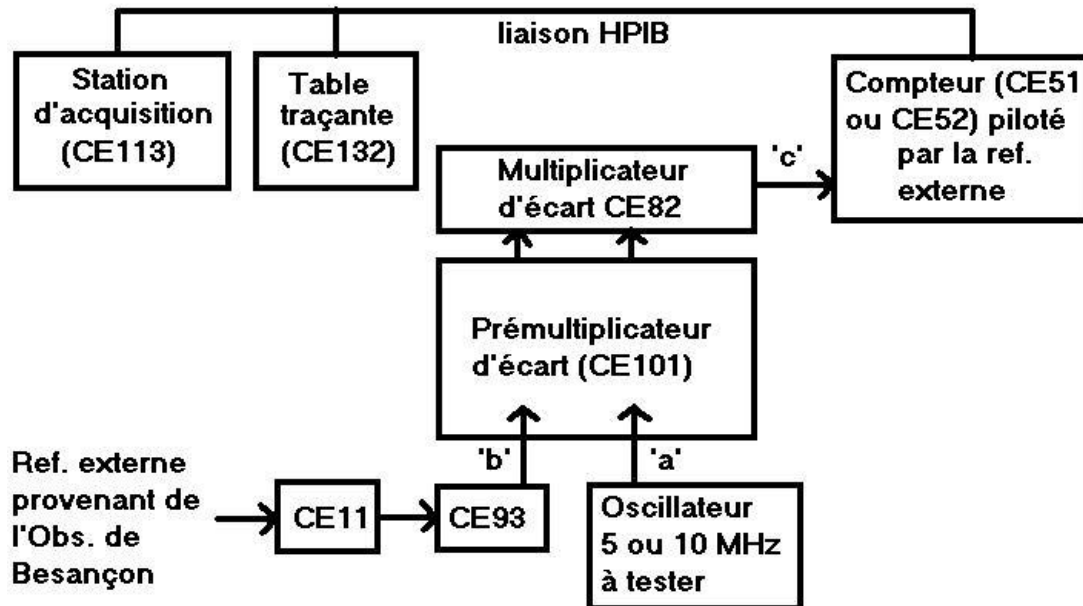


Fig.7 : Principe

L'exactitude de la fréquence est donnée à $\pm 1 \times 10^{-12}$.

Domaine de Mesure	Temps de mesure t	Incertitude sur la stabilité s(t) exprimée en 2 s	Méthode et moyens mis en oeuvre
5 MHz • 10 MHz •	0,1s •	$3 \cdot 10^{-12}$	Comparaison de la fréquence à mesurer à la fréquence de référence avec un prémultiplicateur d'écart
5 MHz • 10 MHz •	1s •	$5 \cdot 10^{-13}$	
5 MHz • 10 MHz •	10s •	$3 \cdot 10^{-13}$	
5 MHz • 10 MHz •	100s •	$3 \cdot 10^{-13}$	
5 MHz • 10 MHz •	$0,1s \leq t < 1s$	$2 \cdot 10^{-12} [-0,78 \cdot (\text{Log } t) - 12,6]$	
5 MHz • 10 MHz •	$1s \leq t < 10s$	$5 \cdot 10^{-13}$	
5 MHz • 10 MHz •	$10s \leq t < 100s$	$3 \cdot 10^{-13}$	

• : ce signe signifie 'Valeur ponctuelle' - ^ : ce signe désigne 'à la puissance' - Log : est le logarithme en base 10

Fig.8 : Domaine couvert par l'accréditation

DOMAINE TEMPOREL

Stabilité court terme et exactitude des oscillateurs



Fig.9 : Banc de mesures temporelles

ETALONNAGE DE SOURCES DE 5 MHz A 1 GHz

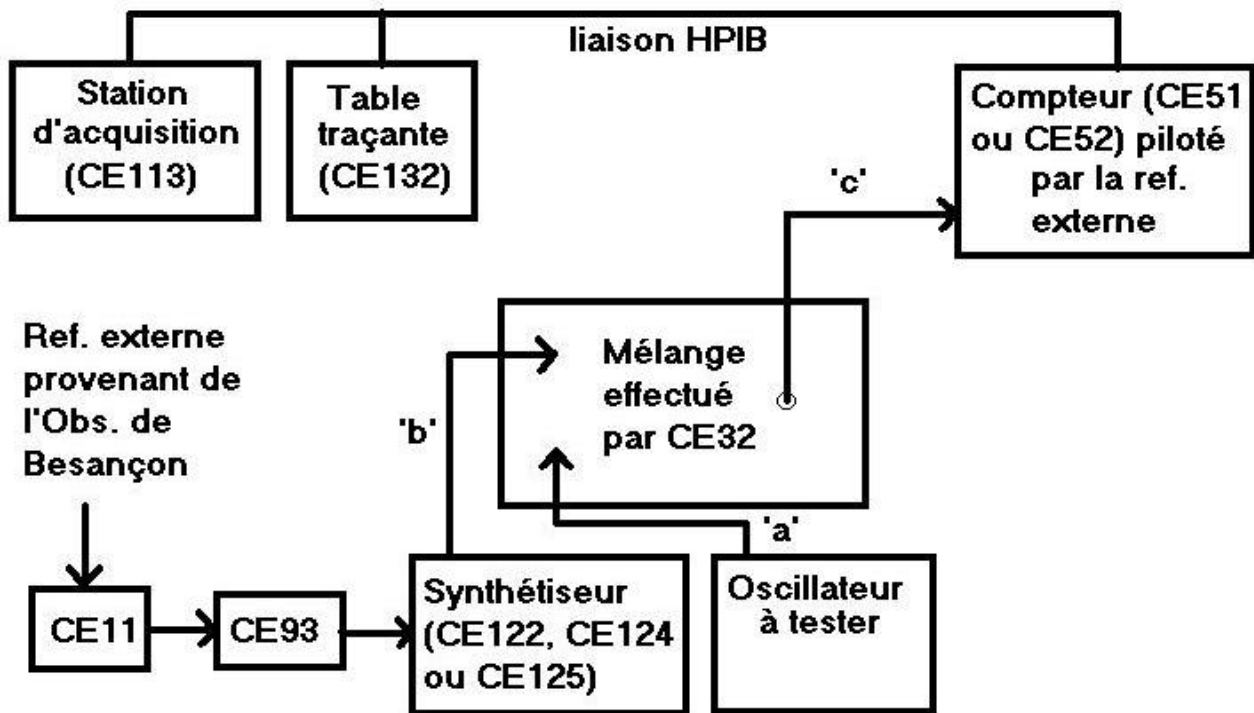


Fig.10 : Principe

L'exactitude de la fréquence est donnée à $\pm 1 \times 10^{-12}$.

Domaine de Mesure	Temps de mesure t	Incertitude sur la stabilité s(t) exprimée en 2 écarts types	Méthode et moyens mis en oeuvre
5 MHz à 1 GHz	100 ms •	$\pm 5.10^{-12}$	Mesure du battement entre le signal à mesurer et le signal issu d'un synthétiseur piloté par la référence
	1 s •	$\pm 6.10^{-13}$	
	10 s •	$\pm 3.10^{-13}$	
	100 s •	$\pm 3.10^{-13}$	

• : Valeur ponctuelle

Fig.11 : Domaine couvert par l'accréditation