

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



FIRST – TF 2017

SYNCHRONISATION DU LASER MÉGAJOULE

Michel LUTTMANN & Thierry SOMERLINCK

Avec d'autres collaborateurs du LMJ

www.cea.fr

9 JUIN 2017

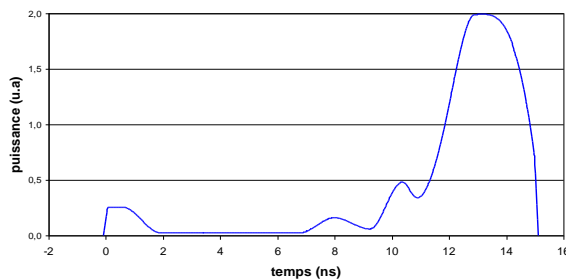
- Présentation du laser MégaJoule (LMJ)
- Architecture de synchronisation et performances requises
- Principe de réglage de la synchronisation
- Conclusion

Le Laser MégaJoule (LMJ) c'est quoi ?

Un laser de puissance destiné à :

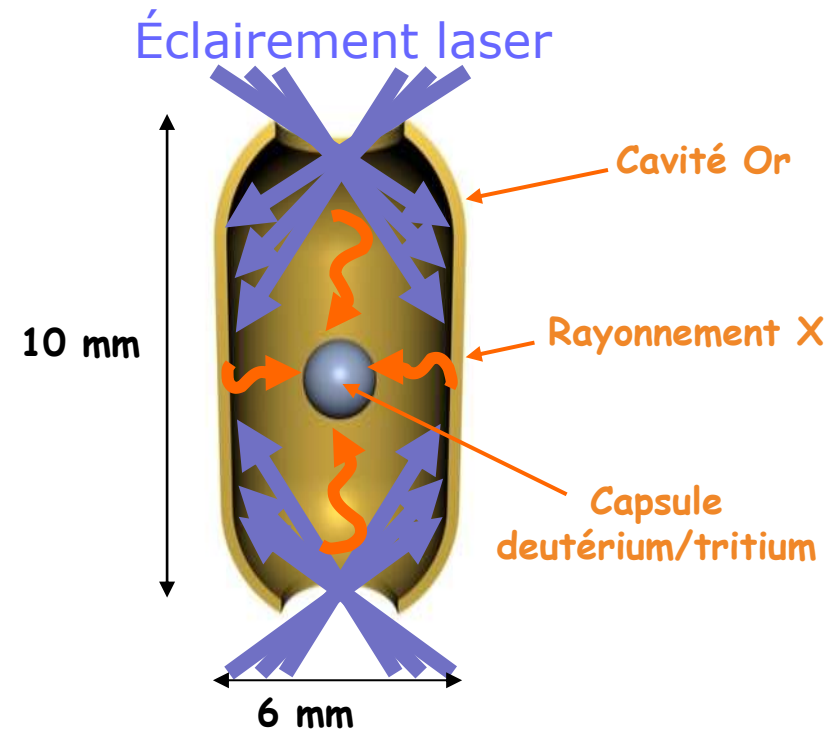
- **Valider les modèles des physiciens des armes**
hautes températures (plusieurs millions de °C) hautes pressions (plusieurs dizaines de millions de fois la pression atmosphérique)
- **Etudier la fusion thermonucléaire**
- **Caractéristiques principales du LMJ :**

- 176 faisceaux
- Energie totale : environ 1,4 MJ
- Forme impulsion paramétrable



- Durée impulsion 250ps à 20 ns
- Synchronisation : 40 ps rms
- 16 faisceaux opérationnels en 2016

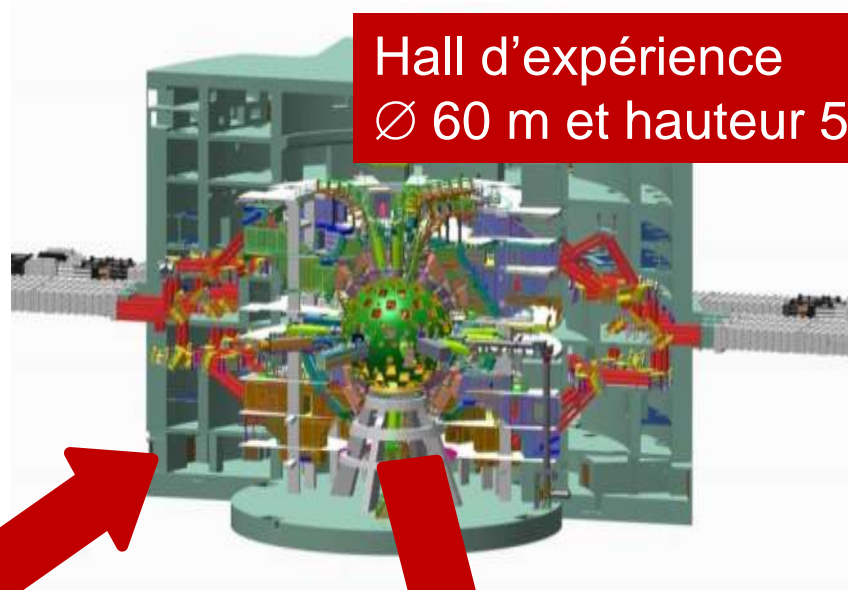
Expérience type :



LMJ : de la cible au bâtiment



Cible
Ø 2 mm



Hall d'expérience
Ø 60 m et hauteur 50 m



Chambre d'expérience
Ø 10 m



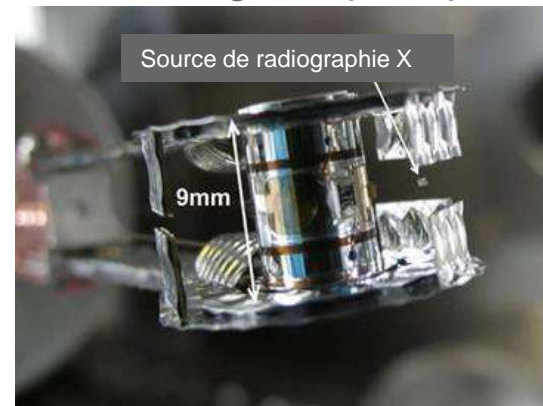
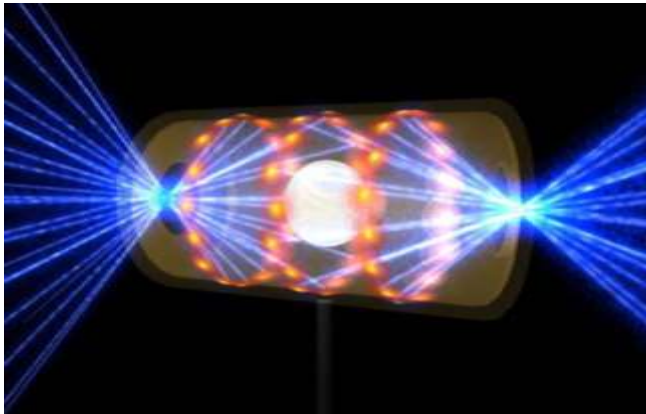
Laser Mégajoule
150 m x 300 m
Hauteur 35 m

Besoins de synchronisation du LMJ

Pourquoi a-t-on besoin de signaux de synchronisation et de marquage sur le LMJ ?

- Raison N°1 : Le LMJ est fondamentalement un laser impulsionnel comportant 176 faisceaux. Son fonctionnement propre nécessite de déclencher ses composants actifs (sources, amplificateurs, cellules de pockels, organes de sécurité, diagnostics) à des instants bien précis
- Raison N°2 : Délivrer la puissance laser avec la chronologie requise par l'expérience :

Symétrie
d'implosion d'une
capsule



Déclenchement
d'une source X
secondaire

- Raison N°3 : Déclencher les diagnostics plasma et laser & ajouter un signal de marquage à la mesure pour permettre une datation précise des événements par rapport au laser.

- Présentation du laser MégaJoule (LMJ)
- Architecture de synchronisation et performances requises
- Principe de réglage de la synchronisation
- Conclusion

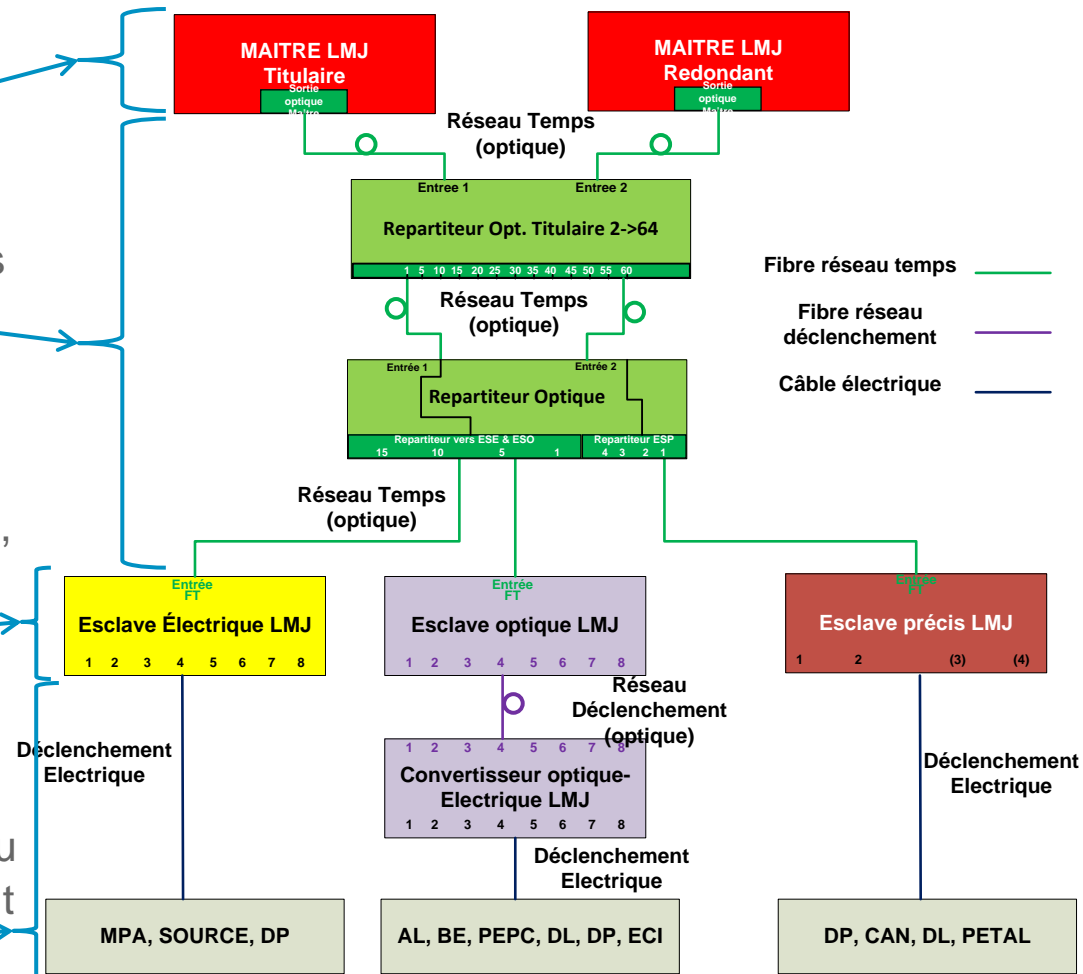
Les quatre principaux défis techniques

1. Quantité de voies nécessaires ~ 2000 voies
2. Equipements éloignés les uns des autres ~ centaines de mètres
3. Signaux électriques et optiques, du récurrent au monocoup et plusieurs gammes de précision
4. Performances dignes d'un laboratoire temps-fréquence
Gigue temporelle < 11 ps rms pour la synchronisation précise
Dérive < ± 10 ps sur 7 jours pour la synchronisation précise



■ Principe général

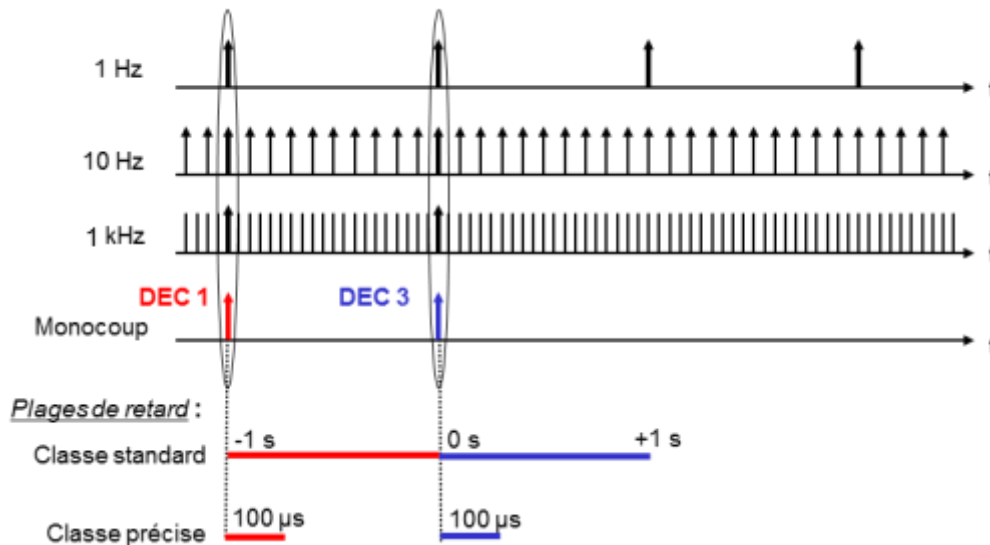
1. Génération de l'horloge de référence au niveau du maître
2. Distribution de cette horloge à tous les esclaves (réseau temps)
3. Réception/synchronisation horloge, génération du retard et mise en forme du signal (esclave)
4. Conversion optique/électrique et/ou signal électrique de déclenchement vers équipement



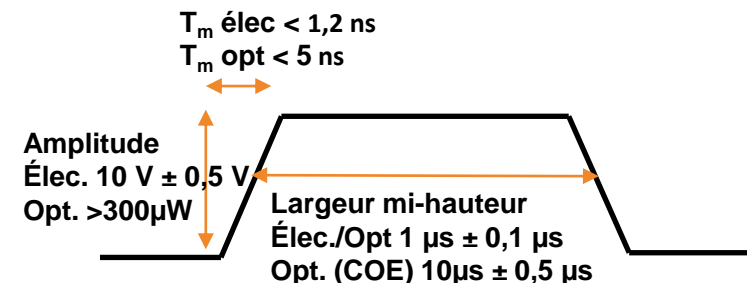
■ Performances

Classe de performance	Gigue rms	Dérive crête-à-crête			Exactitude	Dynamique
		24h	7 jours	3 mois		
Standard Electrique	< 100 ps	< 200 ps	< 500 ps	< 1 ns	< ± 1 ns	1s
Standard Optique	< 150 ps	< 200 ps	< 500 ps	< 1 ns	< ± 1 ns	1s
Précise	< 8 ps < 11 ps entre voies	< 10 ps	< 20 ps	< 50 ps	< ± 10/30/50 ps (≤ 20/100/> ns)	100 μs/1 s
LIL (Esc. réf.)	< 15 ps	< 15 ps (2h)	< ? ps	< ? ps	< ± 15 ps (± 0,05% ret.)	100 μs /1 s

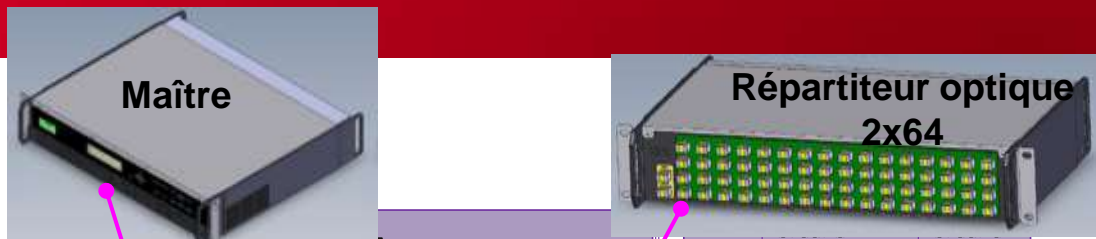
■ Principe de déclenchement et plages



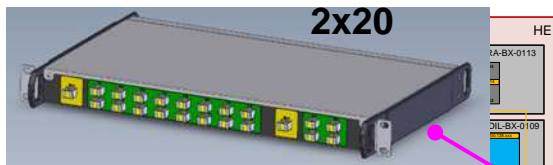
■ Gabarit impulsion(s)



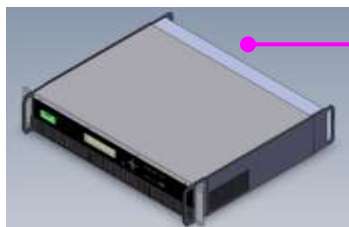
EXEMPLE DE DISTRIBUTION SYNCHRO POUR UNE 1 CL



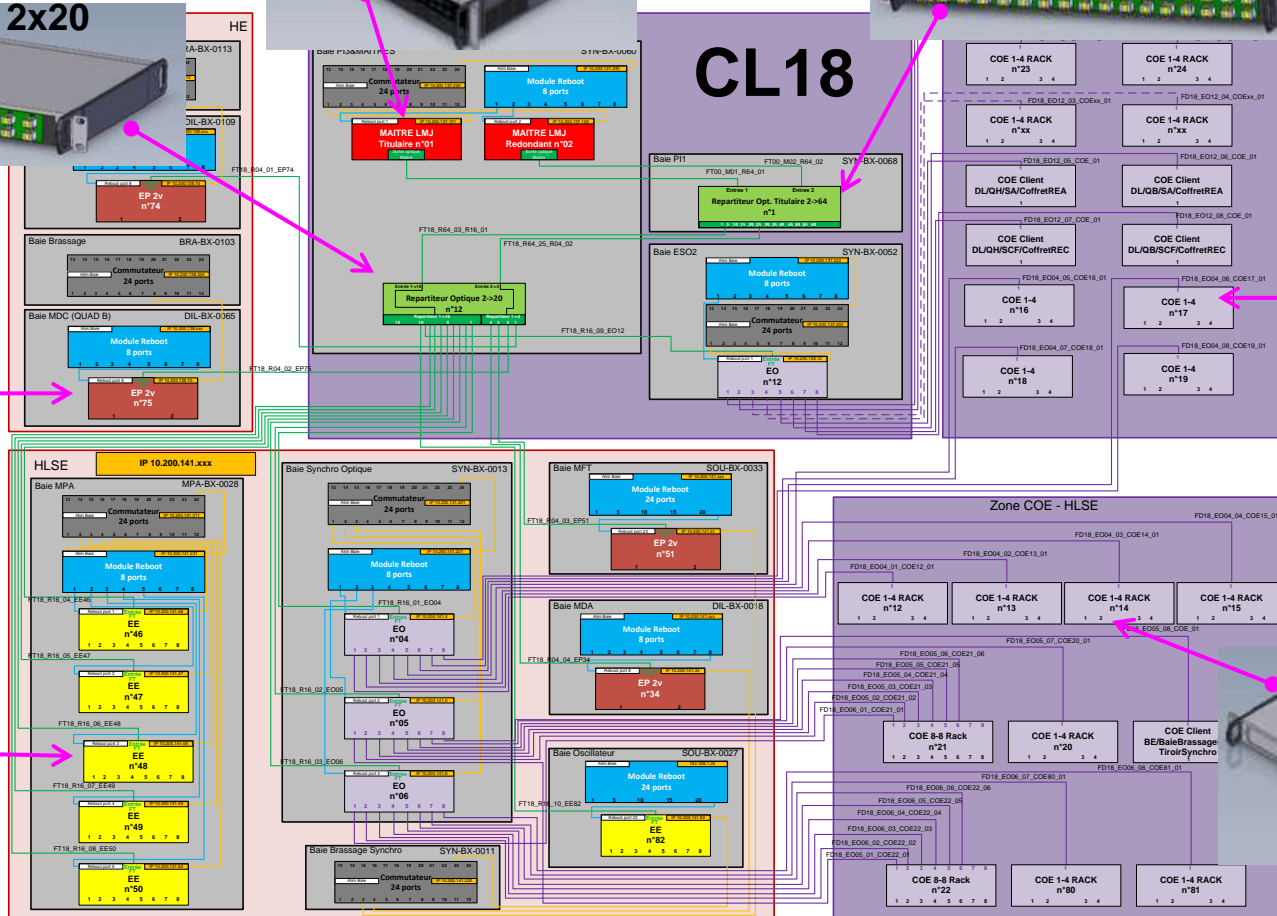
Equipements
Répartiteur optique



Esclave Précis



Esclave Standard



Convertisseur Optique 1x1



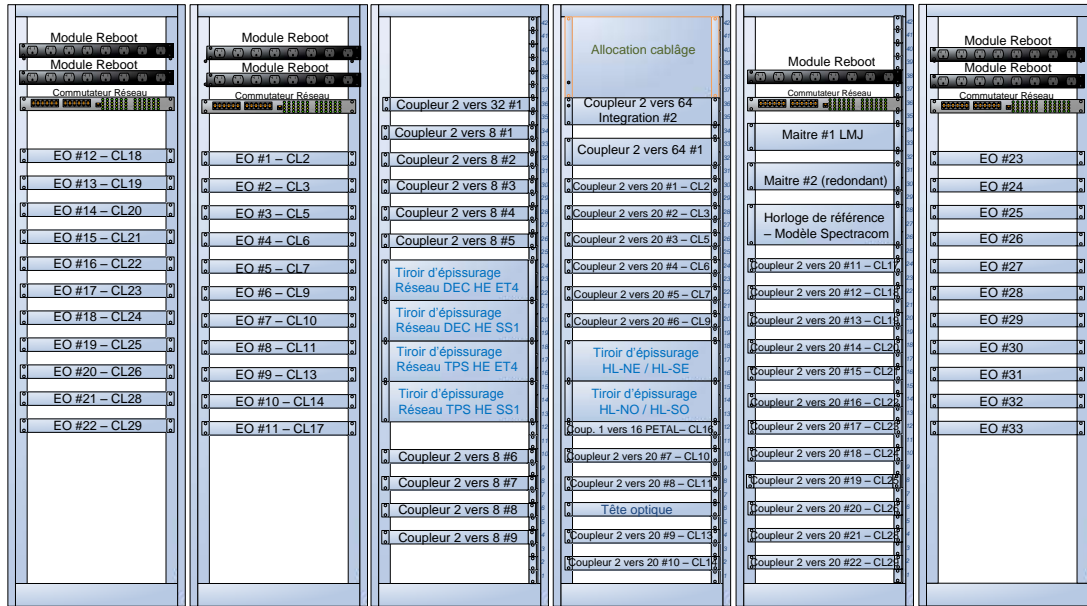
Convertisseur Optique Rack 1x4



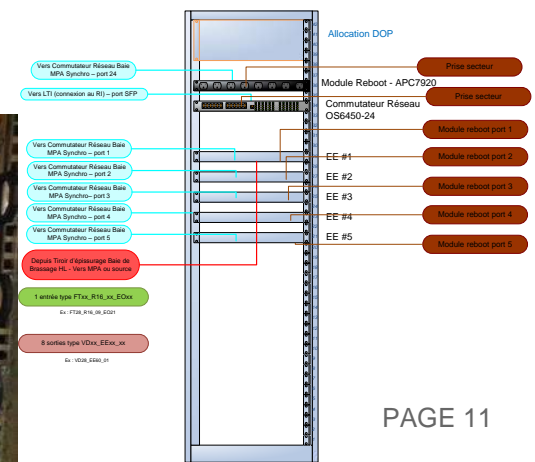
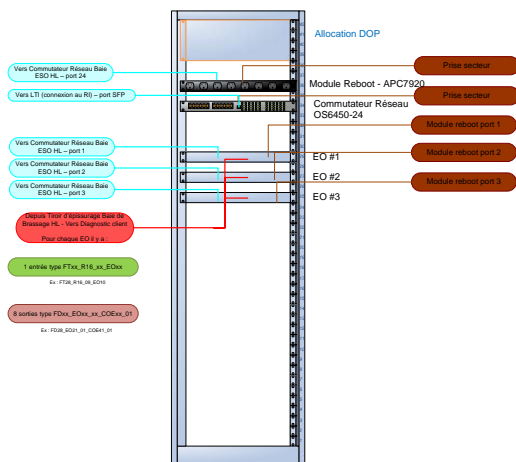
Total d'affectation : 2428 voies réparties sur :

- 2 maîtres
- 32 coupleurs
- 410 esclaves
- 335 convertisseurs optique-Electrique

Salle principale



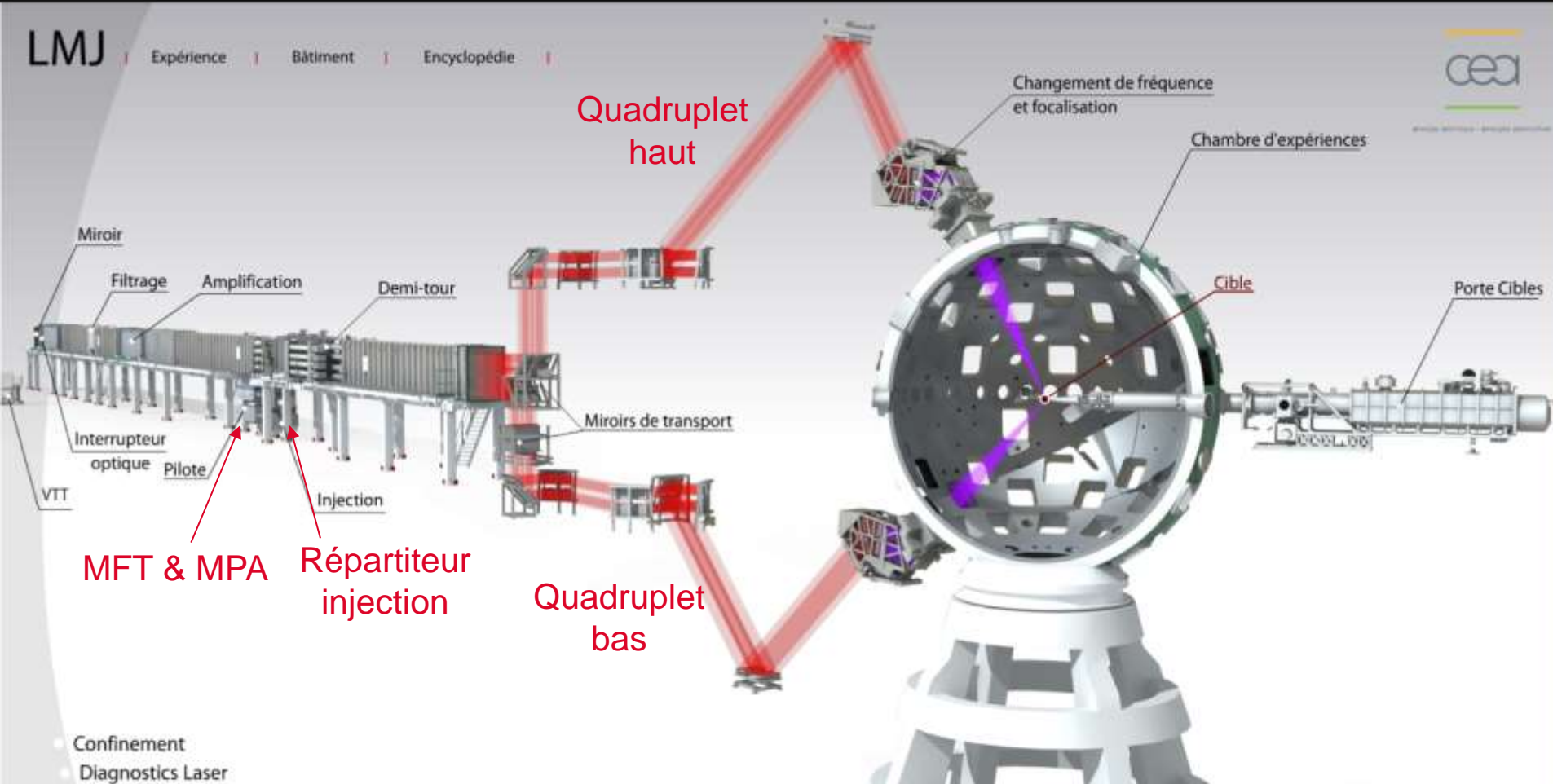
Halls Laser



- Equipe synchro : 2 Ingénieurs et 2 techniciens dédiés
- Intervention/dépannage sur site
- Test en laboratoire des équipements
- Maintenance 1^{er} niveau et réparation des équipements
- Métrologie des FO réseau temps et réseau déclenchement
- Assistance technique pour mise en œuvre des nouvelles chaînes laser et diagnostics
- Mise en œuvre du système informatique lié au pilotage des équipements de synchronisation (maitrise configuration)
- Suivi des évolutions (interne CEA et industriel 'Greenfield Technology/Fedd')
 - Réduction de la gigue,
 - Diminution de la dérive...



- Présentation du laser MégaJoule (LMJ)
- Architecture de synchronisation et performances requises
- Principe de réglage de la synchronisation
- Conclusion

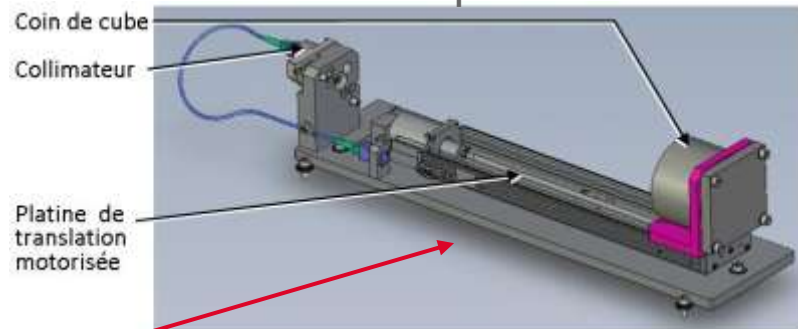


- Le LMJ comporte 44 quadruplets
- Chaque quadruplet est alimenté par une MFT (mise en forme temporelle) puis 2 MPA (Module Préamp.)
- Le faisceau issu d'un MPA est dédoublé dans l'injection

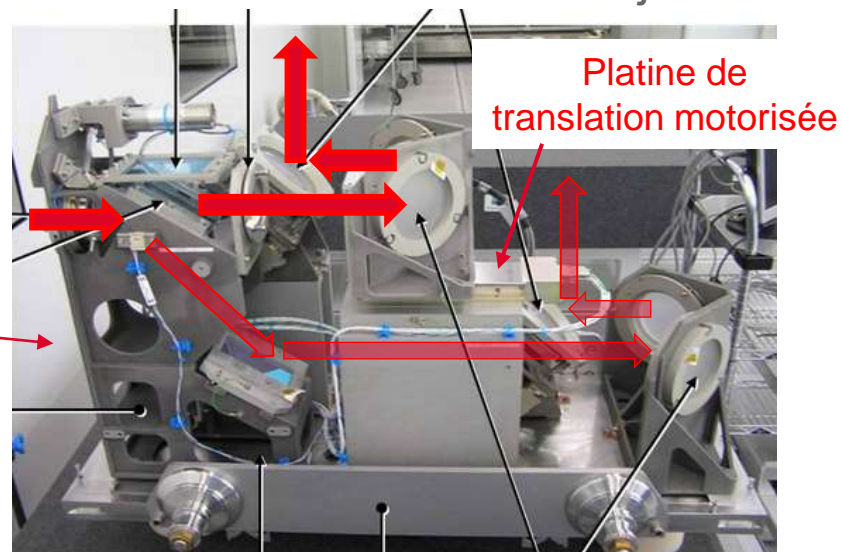
Lignes à Retard Optique (LRO) du MPA et de l'injection



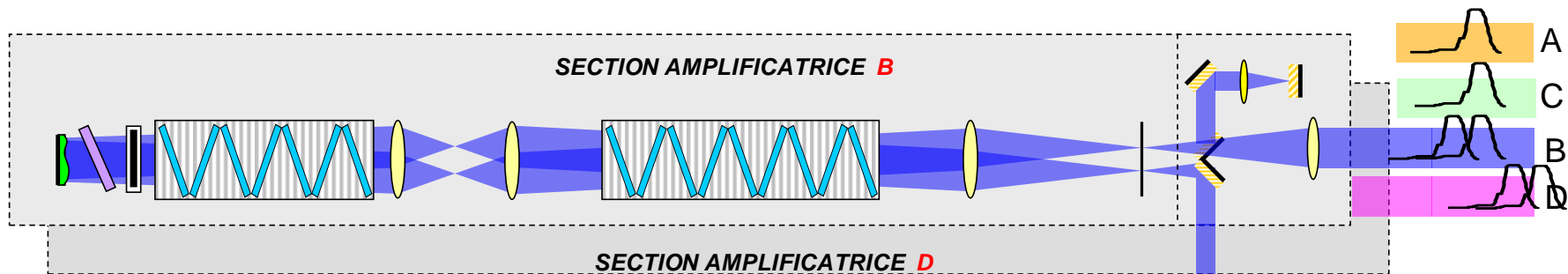
1 LRO par MPA



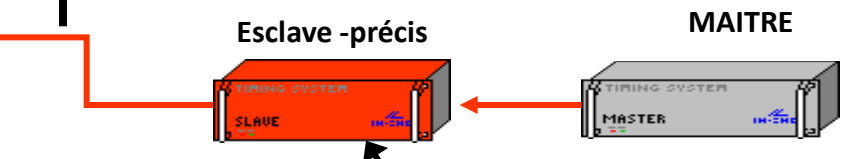
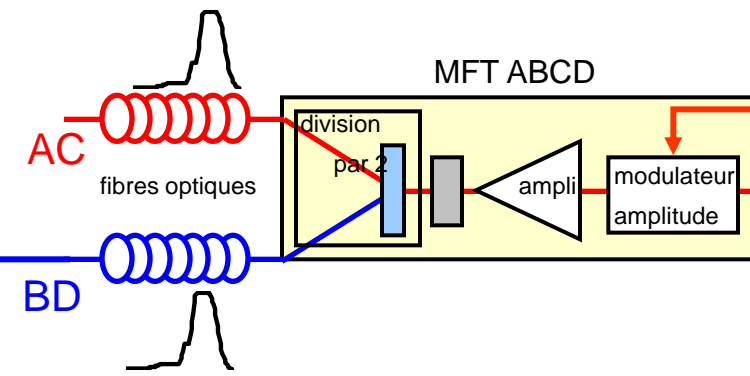
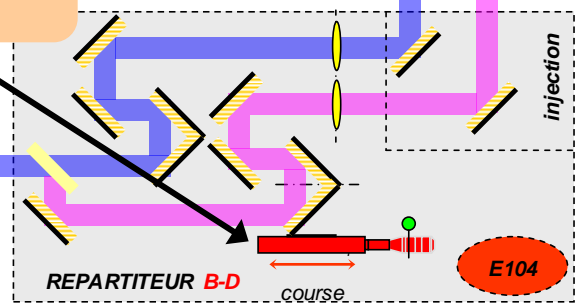
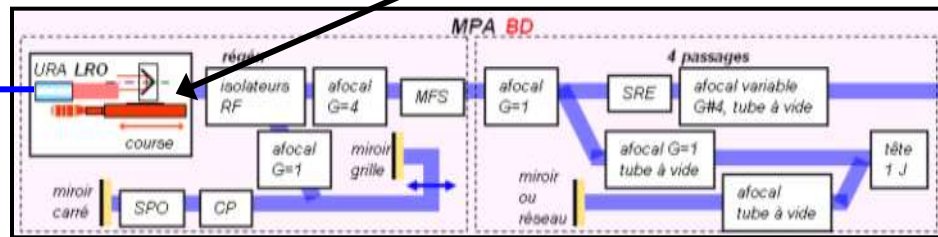
1 LRO / 2 faisceaux dans l'injection



Les actionneurs de la synchronisation

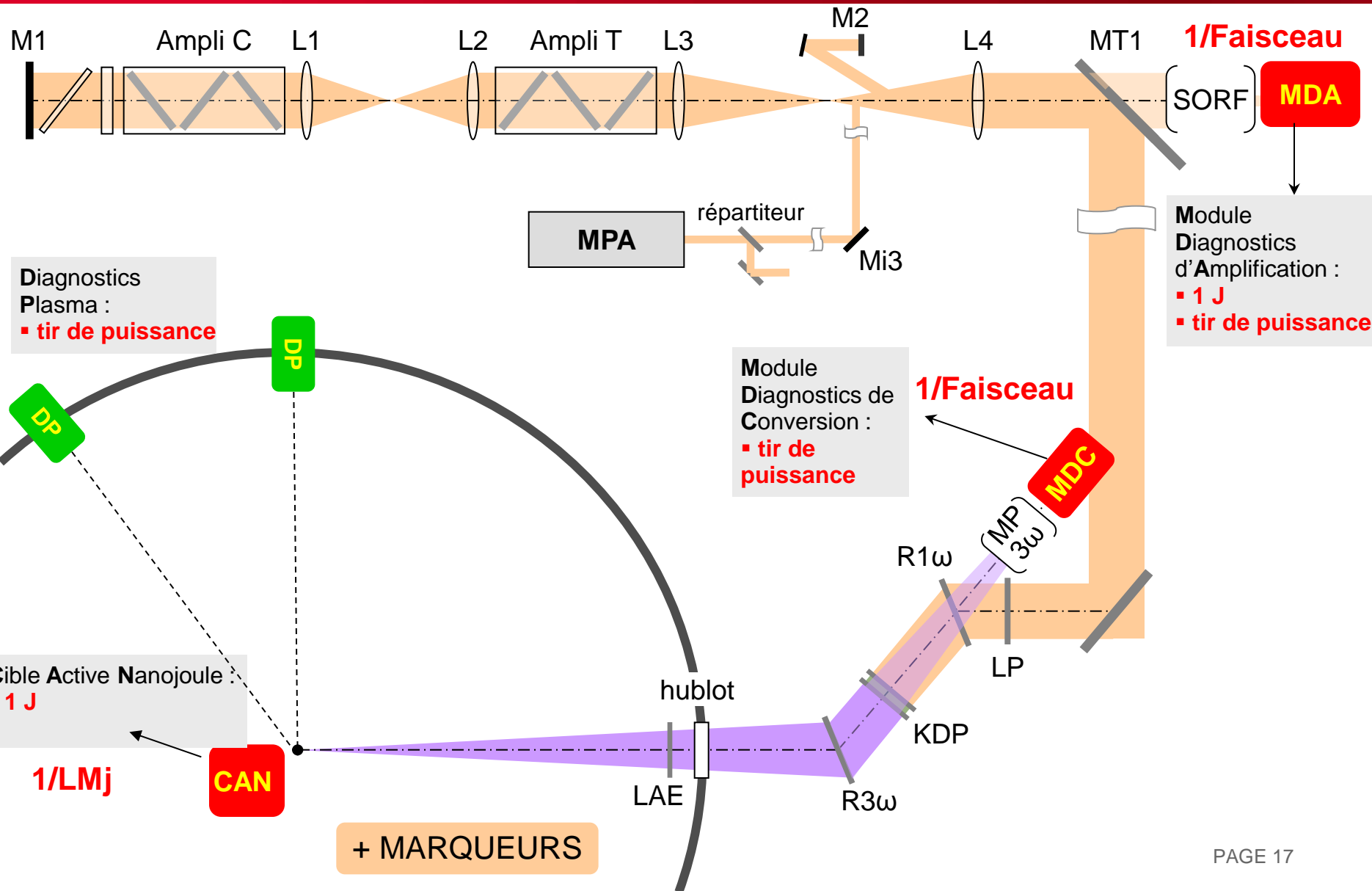


Réglage synchronisme **intra-quadruplet** effectué en jouant sur les lignes à retard optique du MPA et de l'injection



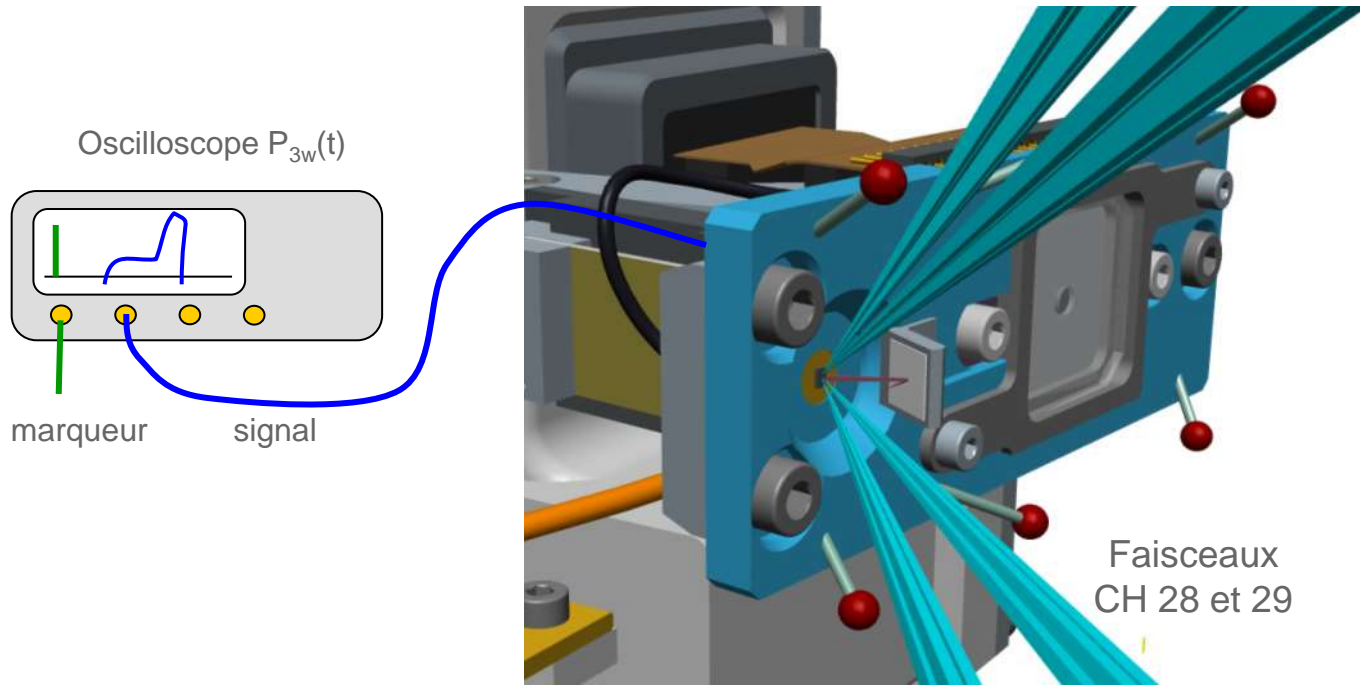
Réglage synchronisme **inter-quadruplet** effectué en jouant sur le retard de déclenchement de la MFT

Les diagnostics de la synchronisation



Réglage du synchronisme sur la Cible Active Nanojoule

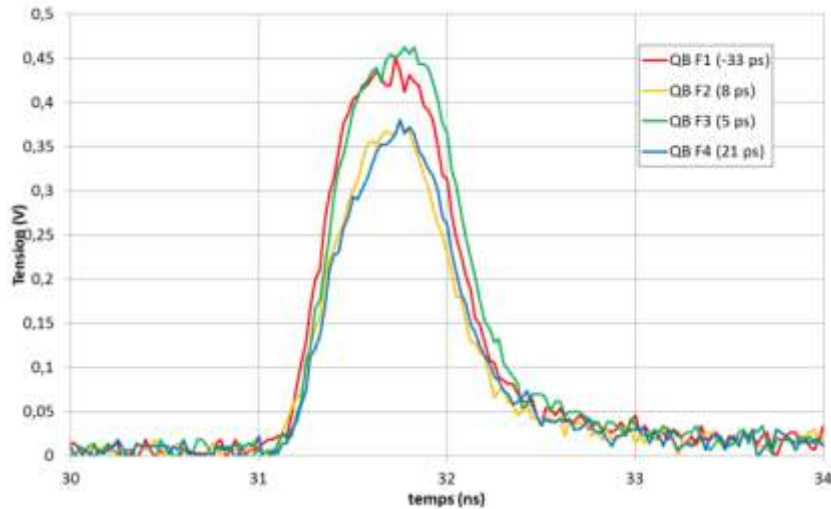
- La mesure du synchronisme des faisceaux est effectuée sur une cible disposant d'une photodiode rapide capable de mesurer les impulsions produites lors de tir bas flux



- La mesure de synchronisme s'effectue faisceau par faisceau en se référant à chaque fois au marqueur. Les écarts observés sont corrigés en jouant sur les LRO et les retards de déclenchement des Mises en Forme temporelle
- L'utilisation d'un diagnostic unique placé en centre chambre permet de minimiser la chaîne de cote

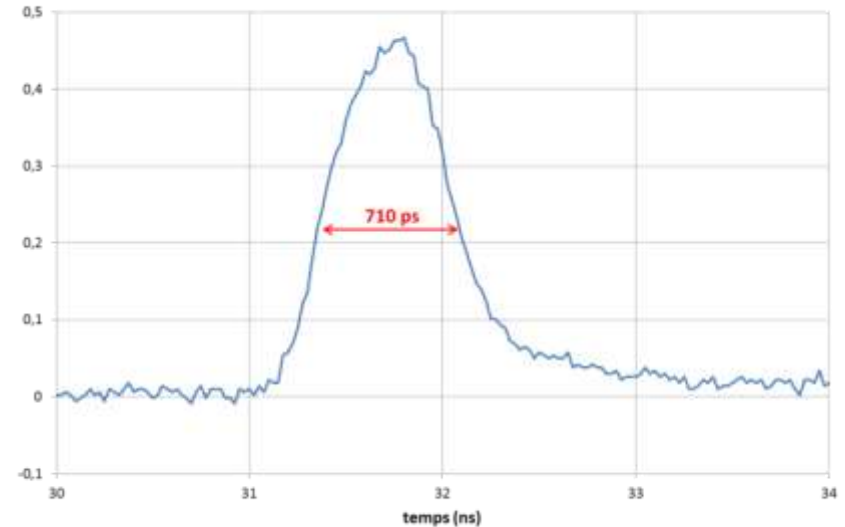
Performances typique de réglage

Après réglage synchronisme



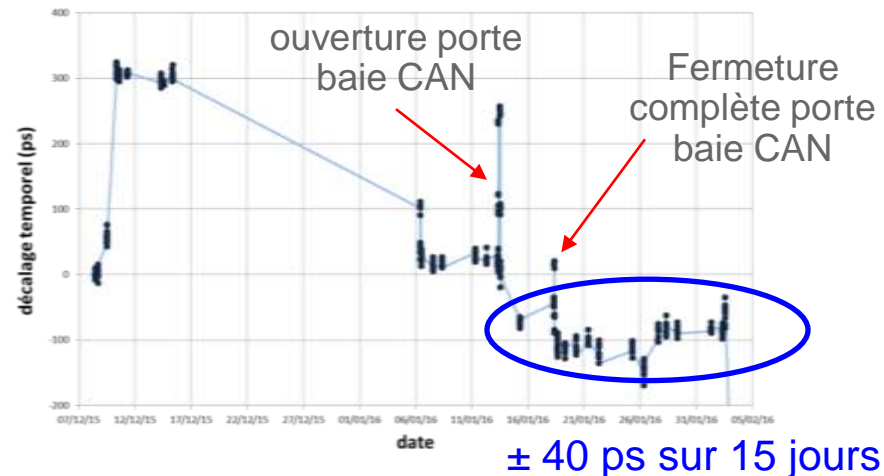
Synchronisme intra quad 23 ps rms

Tir 2 quad CH 28



Synchronisme inter quad 18 ps

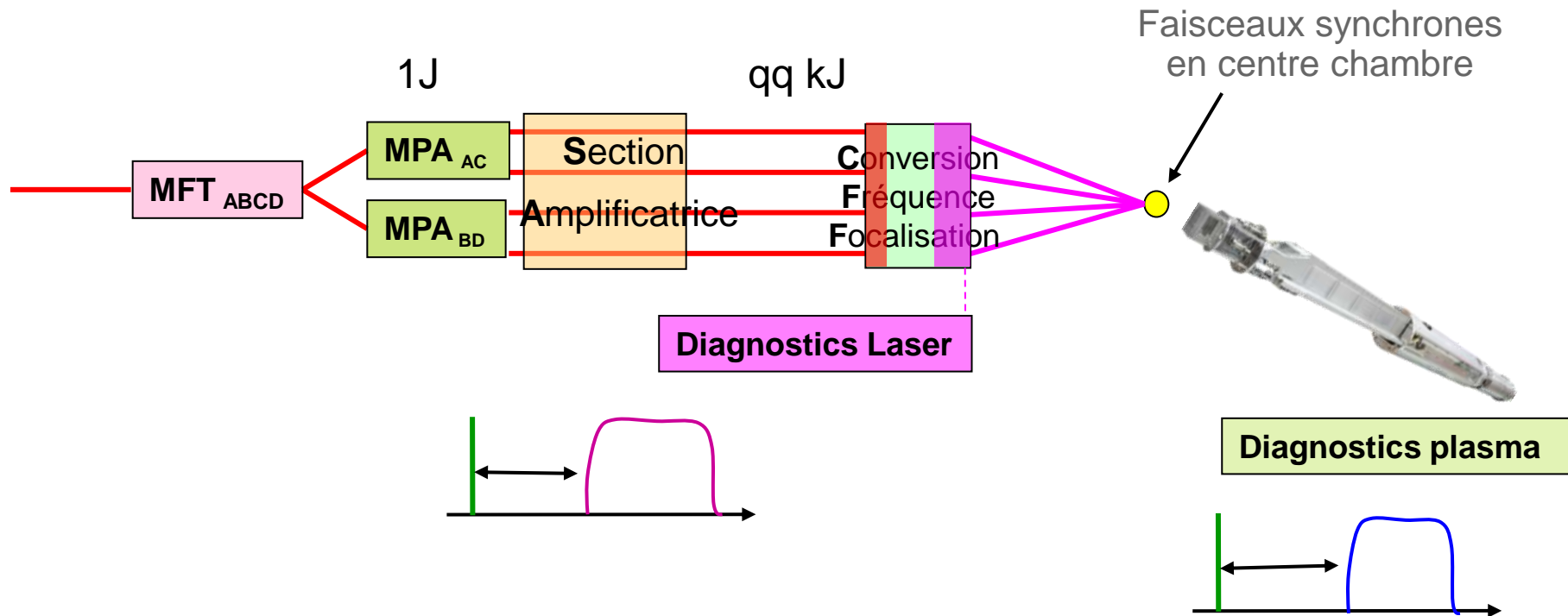
- Résultats très encourageants car on travaille avec les esclaves ancienne génération qui ont maintenant 15 ans.
- Attention à la dérive des esclaves qui est sensible à la température. Les nouveaux esclaves le seront moins.



± 40 ps sur 15 jours

Acquisition du référentiel de synchronisation haut flux

- Une fois les faisceaux synchronisés en centre chambre on procède à un tir de puissance pour enregistrer les instants de passage des impulsions les diagnostics



- Ces tirs permettent de mémoriser l'instant de passage de l'impulsion laser sur les diagnostics laser et plasma par rapport au marqueur.

- Le système de synchronisation actuel du LMJ permet d'assurer un synchronisme des faisceaux à mieux que 100 ps rms (besoin des physiciens dans la phase actuelle). Les anciens esclaves de synchronisation ont une gigue qui est déjà satisfaisante mais les dérives sont trop importantes.
- La mise en œuvre des nouveaux équipements de synchronisation va nous permettre d'améliorer les performances et d'atteindre les 40ps rms recherchés .