

# NOTE D'APPLICATION

## MESURER L'ÉNERGIE D'IMPULSION JUSQU'À 200 kHz PULSE-À-PULSE AVEC LES JOULEMÈTRES ULTRARAPIDES DE LA SÉRIE MACH



Il n'y a pas très longtemps, la seule option pour mesurer en temps réel la performance de l'énergie d'impulsion de votre laser 100 kHz était d'utiliser un détecteur de puissance, une photodiode rapide, un ensemble de filtres à densité neutre, un oscilloscope et un logiciel d'acquisition de données. Il fallait également avoir une expertise considérable et beaucoup de temps pour faire le travail de façon répétitive et, malgré tout, il était difficile d'obtenir de bons résultats.

Heureusement, les choses ont évolué. Nous avons terminé le développement de la première Série mondiale Mach de détecteurs à énergie de 130 kHz et 200 kHz. Ces produits offrent la meilleure précision pour la mesure en temps réel de lasers à fibre pulsé DPSS.

L'idée derrière notre série Mach provient de défis que nous ont lancés plusieurs de nos clients qui utilisaient des lasers pulsés DPSS de 30 kHz et 50 kHz et qui n'avaient pas de meilleure façon de mesurer leur énergie d'impulsion en temps réel que d'utiliser la méthode décrite précédemment. Pour plusieurs des applications avec ce type de laser, les utilisateurs avaient besoin de connaître la distribution précise de l'énergie pulse-à-pulse en plus de savoir si chaque pulse était au-dessus d'un certain seuil d'énergie et s'il n'en manquait aucun.

Nous nous sommes mis au travail pour relever ce défi. Nous avons débuté avec la conception et la vérification de la performance d'une famille de sondes pyroélectriques rapides. Il fallait qu'elles soient assez sensibles pour mesurer 10 nJ, assez rapides pour mesurer à plus de 100 kHz et précises à quelques pourcents pour une large plage de puissances moyennes et de longueurs d'ondes. Nous avons accompli cela en concevant trois sondes rapides, une intégrant

une photodiode PIN au Silicium, une intégrant une photodiode InGaAs et un détecteur pyroélectrique. Chacune d'elles a été combinée à une petite sphère intégratrice à réflectance spectrale monotone. Cela permet de garder les senseurs petits, d'améliorer l'uniformité spatiale et d'offrir une atténuation qui permet d'éviter la saturation et/ou les dommages causés par des puissances crêtes trop élevées. Nos sondes pyroélectriques contiennent un thermistor miniature qui permet de surveiller la température du senseur lorsqu'elle varie en fonction de la puissance moyenne. Cela permet à notre série Mach de compenser thermiquement la réponse du senseur.

Ensuite, nous avons développé une électronique digitale rapide qui permettait la capture de chaque pulse à 100 kHz (et maintenant à 200 kHz), la digitalisation et le traitement pour des mesures précises de crête, de période initiale et de température. Le nouvel instrument devait être capable d'emmagasiner un paquet

de données en temps réel, à peu près 40 millions de données en 40 secondes à 100 kHz.

Il devait être capable également de transférer rapidement ces données à un ordinateur afin de faire de la place pour le prochain paquet de données. Une connexion pleine vitesse USB 2.0 a été utilisée pour cela. Avant de commencer la comparaison des caractéristiques particulières de nos détecteurs, il est nécessaire de prendre un peu de temps pour donner de l'information technique générale à propos de leur constitution et de leur fonctionnement.

Finalement, nous voulions que la série Mach soit facile à utiliser tout en ayant une foule de puissants outils de diagnostic. Nous avons choisi d'écrire notre logiciel d'applications dans un langage de laboratoire universel, LabVIEW de National Instruments. Notre logiciel est autonome (on ne doit pas obligatoirement posséder LabVIEW) et il inclut les pilotes nécessaires à l'intégration du Mach 5 ou du Mach 6 à des configurations de tests déjà existantes.

# NOTE D'APPLICATION

Regardons maintenant comment il est possible d'utiliser la série de joulemètres Mach pour mesurer et analyser votre laser pulsé à haut taux de répétition. Voici une liste partielle des choses que vous pouvez faire :

- Mesurer précisément chaque pulse à plus de 200 000 Hz
- Acquérir et enregistrer plus de 4 millions de pulses, soit 40 secondes de données à 100 kHz
- Mesurer l'énergie d'impulsion, la fréquence et la fluctuation
- Mesurer le nombre d'impulsions qui sont au-dessus et en-dessous d'un niveau que vous avez préalablement déterminé
- Afficher vos données d'énergie dans un graph déroulant, un histogramme ou une fenêtre de statistiques
- Acheminer les données de test à un fichier pour analyse ultérieure
- Utiliser la fonction de transformée de Fourier rapide pour vérifier l'existence de phénomènes périodiques
- Mettre en place un test automatisé pour votre laser qui sera tout simplement activé par un bouton de démarrage
- Calibrer la sonde M5 ou M6 pour votre détecteur de puissance en quelques étapes simples

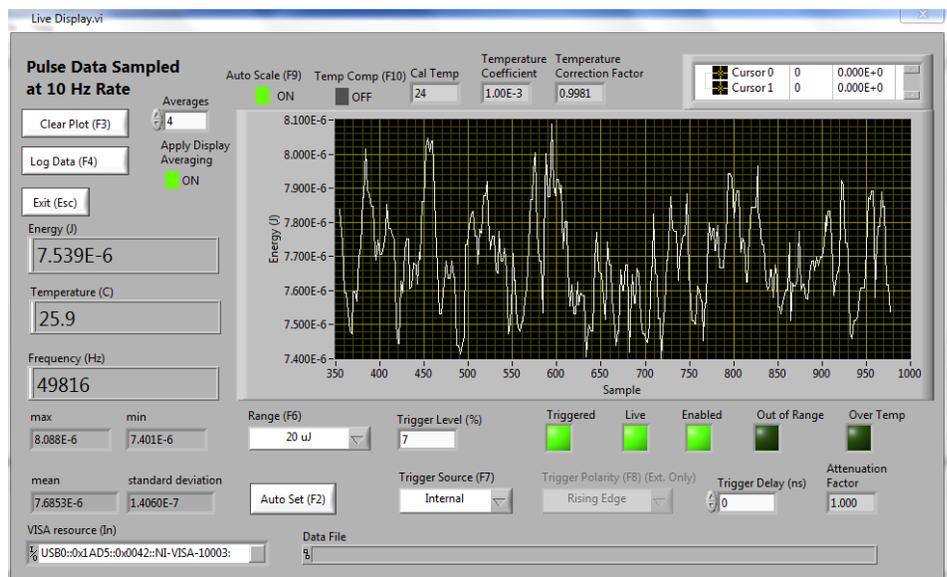
# NOTE D'APPLICATION

Regardons maintenant quelques exemples d'applications du Mach 5 et du Mach 6 pour l'analyse de la performance de notre laser pulsé à 100 kHz (Nd:YLF laser).

## EXEMPLE 1.

LORS DE LA CONFIGURATION DU MACH 5 OU DU MACH 6, IL EST PRÉFÉRABLE DE COMMENCER DANS LE MODE D'AFFICHAGE EN TEMPS RÉEL (LIVE DISPLAY)

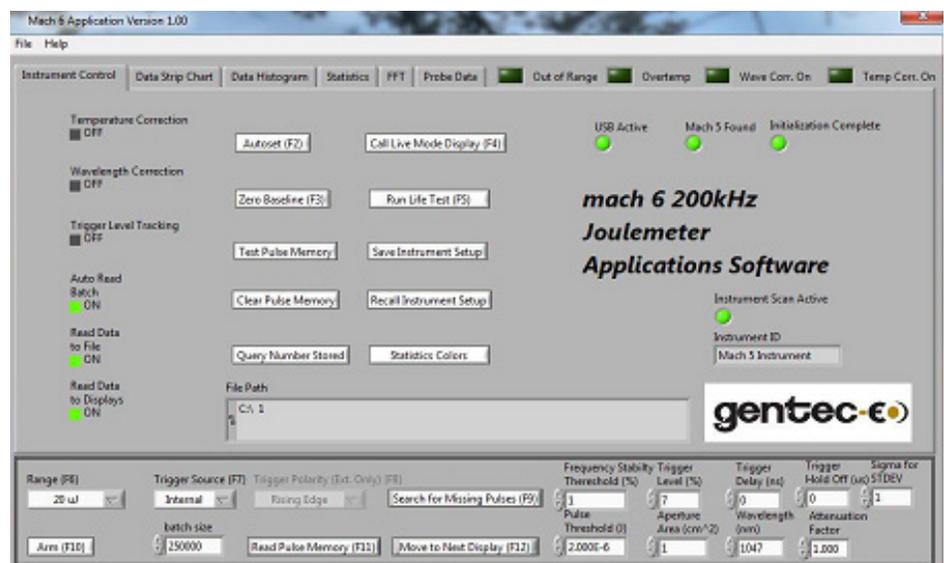
Dans le mode d'affichage en **temps réel**, vous pourrez voir les mesures prises à un taux de répétition de 10 Hz. Ceci permet l'affichage de l'énergie d'impulsion en fonction du temps lors de l'optimisation de la configuration du laser et lors de la préparation de la prise d'un échantillon de données. La fonction d'**ajustement automatique** (Auto Set) rend l'utilisation rapide et très facile. Un simple clic sur ce bouton et le joulemètre Mach configure le niveau de déclenchement et la plage qui sont requis les mesures.



## EXEMPLE 2.

UTILISER L'ÉCRAN DE CONTRÔLE D'INSTRUMENT POUR CONFIGURER LA TAILLE DE L'ÉCHANTILLON ET POUR ARMER L'INSTRUMENT

L'écran de **contrôle de l'instrument** permet de **configurer de la taille de l'échantillon** ainsi que d'**armer** l'instrument (c'est-à-dire de préparer le début de la prise des données). C'est dans cet écran également que l'on retrouve d'autres fonctions importantes comme la **longueur d'onde**, la **correction en température**, le **test de longue durée** (Life Test), la **mise à zéro** (Zero Baseline) et beaucoup plus.

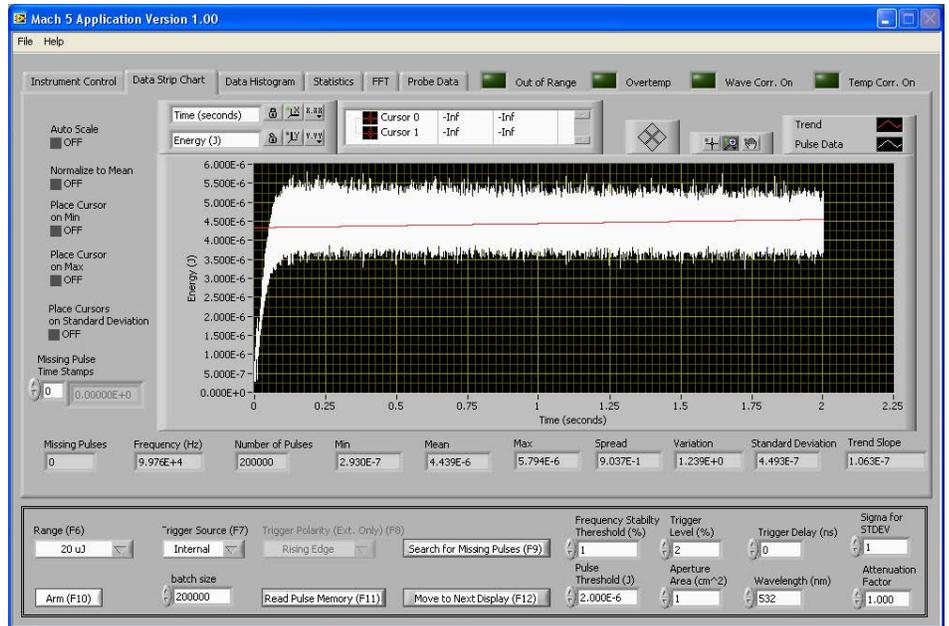


# NOTE D'APPLICATION

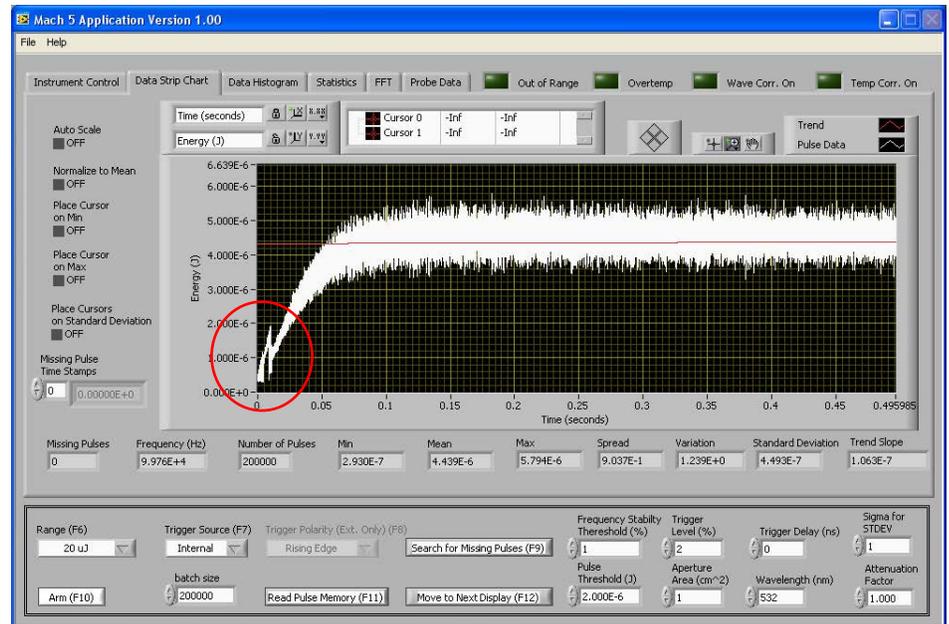
## EXEMPLE 3.

### MESURER L'ÉNERGIE D'IMPULSION LORSQUE LE LASER SORT DE L'ÉTAT DE VEILLE

On configure l'instrument pour une acquisition de 200 000 pulses avec le laser roulant à 100 kHz. On **arme** l'instrument et on met le laser en veille. En quelques secondes, l'énergie des 200 000 pulses est capturée et affichée sur le **graph déroulant**. Il est possible de voir la rampe de l'énergie des pulses sur les 100 premières millisecondes. À l'aide de la fonction **zoom** du logiciel LabVIEW, on peut maintenant regarder de plus près la pente montante.



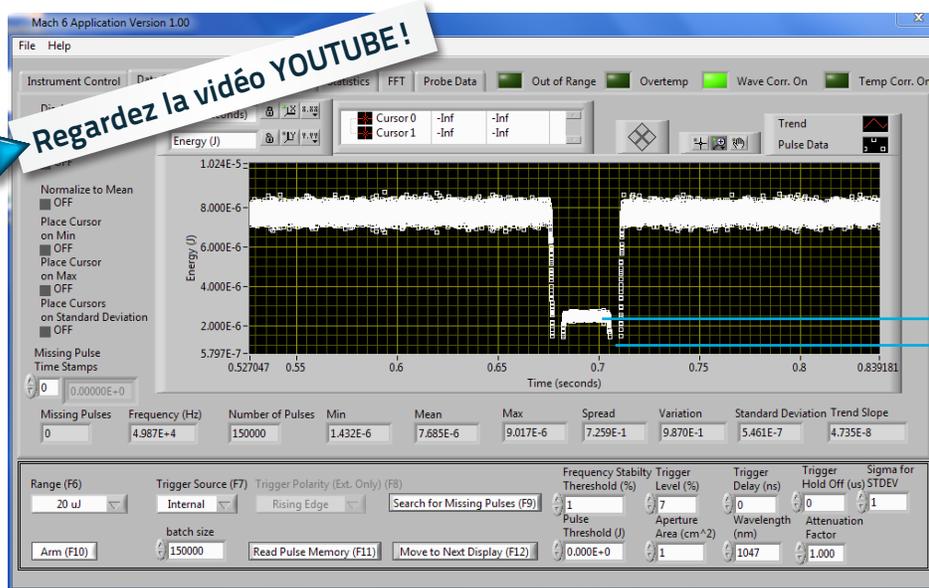
Ce n'est pas une rampe lisse. Il y a des oscillations temporelles au début de la rampe. Cela n'aurait pas été visible si on avait utilisé un détecteur de puissance ou n'importe quel autre détecteur d'énergie.



# NOTE D'APPLICATION

## EXEMPLE 4.

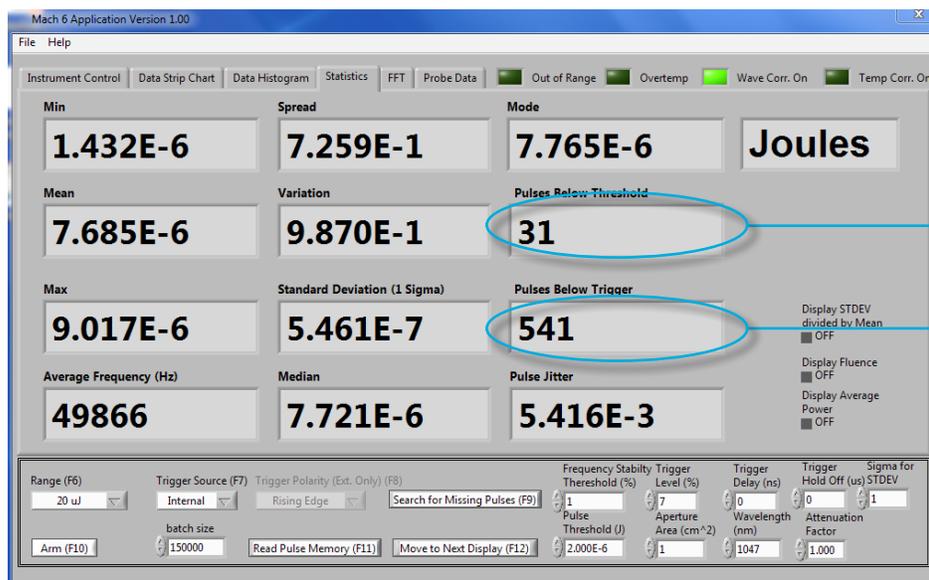
LES PULSES MANQUANTS PEUVENT ÊTRE CRITIQUES POUR UN PROCESSUS LASER, LE TEST DU FILTRE ND



● Filtre ND  
● Monture

On configure le laser et on introduit des pulses manquants pour voir comment le Mach 5 ou le Mach 6 peut gérer cela.

Avec le laser pulsé qui roule à 50 kHz et l'instrument configuré pour enregistrer les données pendant 3 secondes (soit 150 000 pulses au total), on laisse tomber un filtre ND0.3 à travers le faisceau. Dans le **graph déroulant**, on peut voir à quel moment le faisceau a été totalement bloqué ou partiellement transmis alors que le filtre passait à travers celui-ci. Ces données correspondent aux pulses manquants et aux pulses qui sont en-dessous du seuil minimum.



● Filtre ND  
● Monture

Maintenant, dans l'écran des **statistiques**, on clique sur le bouton de **Recherche des pulses manquants** (Search for Missing Pulses) pour voir qu'il y a 541 pulses qui sont en-dessous du déclenchement et 31 pulses qui sont en-dessous du seuil. Le seuil en énergie avait été configuré à 2.0.10<sup>-6</sup> joules. Prenez note des autres valeurs présentées dans l'écran des statistiques, soient le **minimum**, le **maximum**, la **moyenne**, l'**étendue** (Spread), etc.

# NOTE D'APPLICATION

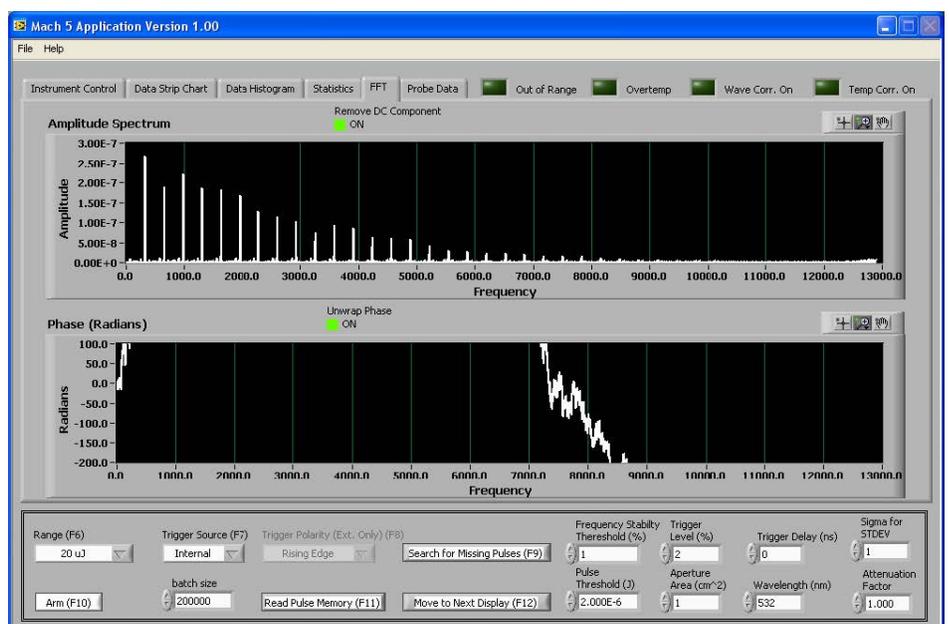
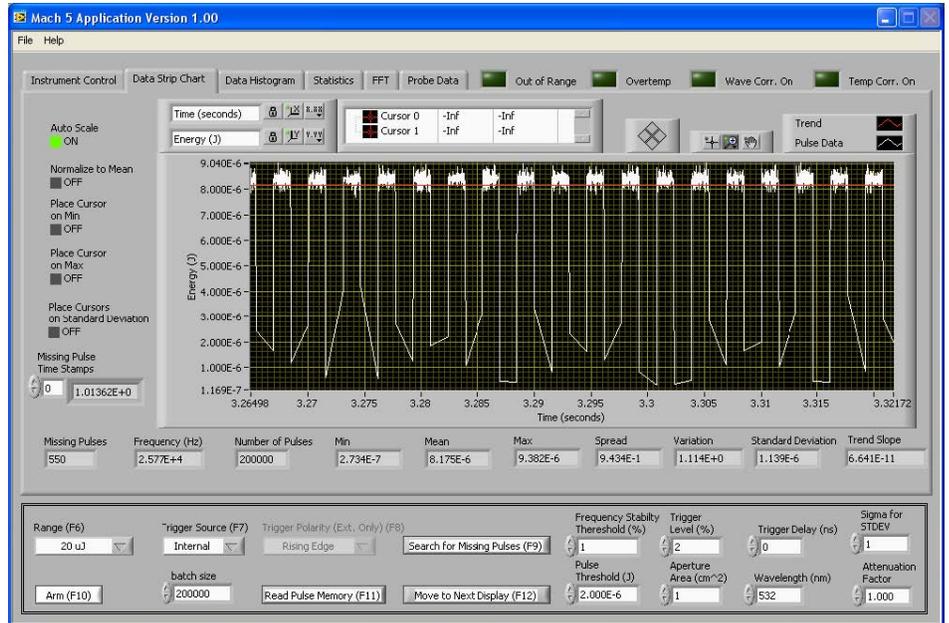
## EXEMPLE 5.

L'ÉCRAN FFT MONTRE LES FLUCTUATIONS PÉRIODIQUES QUI SONT CACHÉES DANS L'ÉNERGIE D'IMPULSION

Si vous êtes préoccupés par les effets des fluctuations de l'alimentation électrique sur les performances de votre laser pulsé (par exemple, les ondulations à 60 Hz) ou par les modulations électroniques du déclenchement de votre laser (Q-Switch), vous serez heureux de savoir que notre Série Mach comprend un mode **FFT** (Transformée de Fourier rapide). Dans cet exemple, le laser roule à 50 kHz et le logiciel est configuré pour prendre des données pendant 2 secondes. On introduit un découpeur optique qui tourne à 327 Hz afin d'introduire une énergie d'impulsion contrôlée.

Dans le mode **graph déroulant** (zoomé), il est possible de voir l'effet du découpeur. Les pulses sont bloqués ou bien passent en fonction de la position de la lame (ouverte ou fermée).

Ce que l'on voit dans la fenêtre **FFT** d'amplitude est la transformée de Fourier d'une onde carrée qui a une fréquence fondamentale de 327 Hz. Ceci constitue un outil de diagnostic incroyable lorsque votre laser ne performe pas comme prévu.



# NOTE D'APPLICATION

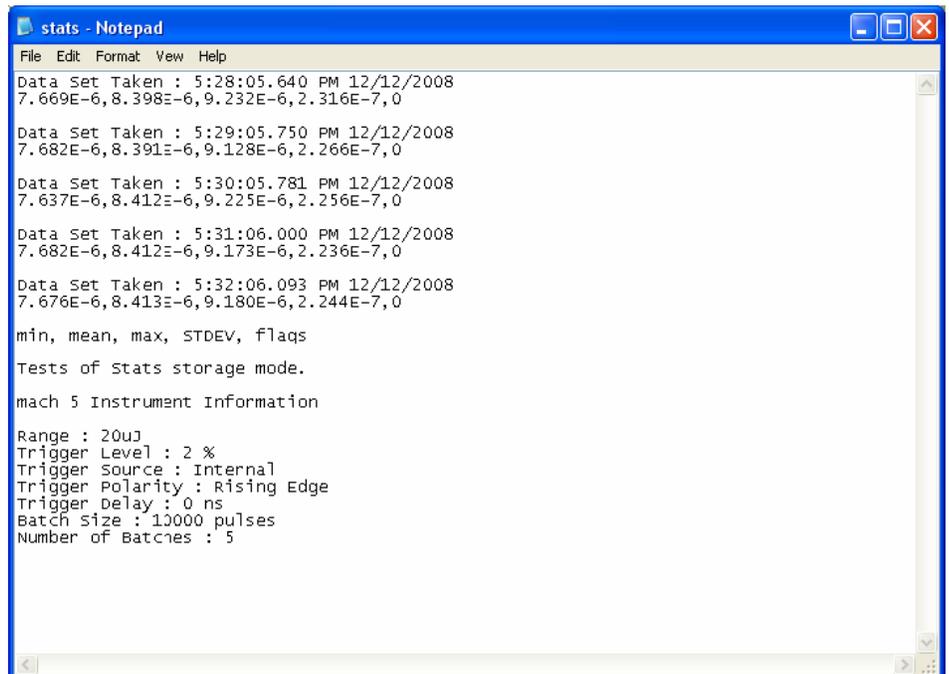
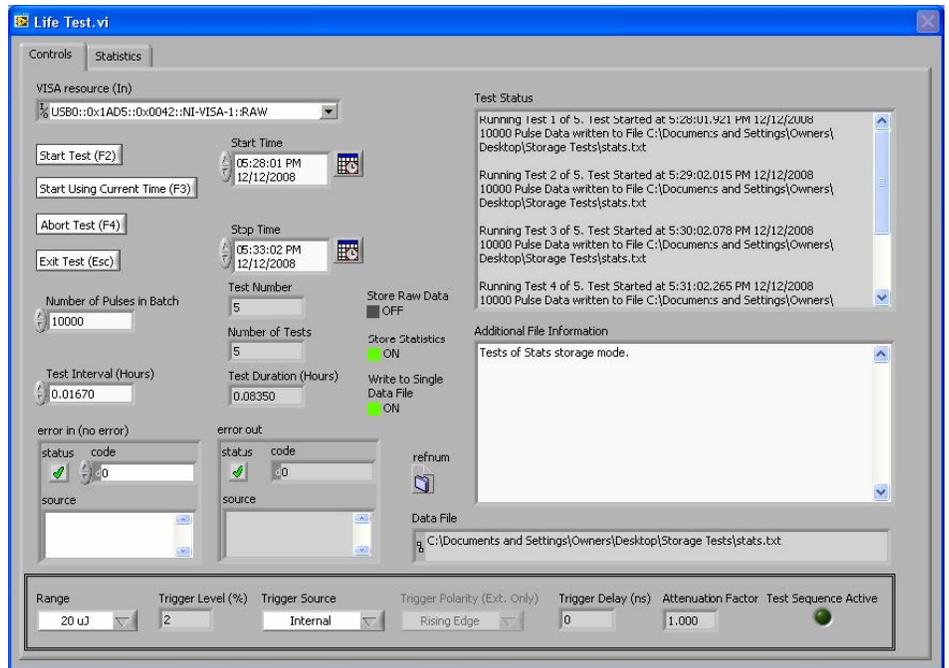
## EXEMPLE 6.

### LE MODE DE TEST DE LONGUE DURÉE (LIFE TEST MODE), UNE FONCTION INCROYABLEMENT UTILE

Cet exemple est particulièrement important pour les ingénieurs industriels qui sont responsables des tests finaux. Le mode de **test de longue durée** (Life Test Mode) est formidablement utile et commode pour ce type de tests. Il n'est pas nécessaire d'utiliser beaucoup d'équipement, seulement le mesureur de notre série Mach et la sonde appropriée.

Dans l'écran Mach au-dessus, il est possible de voir que la configuration du mode longue durée d'un laser est facile. Entrez le nombre de **pulses par échantillon** (10 000 pulses), choisissez l'**intervalle de test** (0,0167 heures) et appuyez sur **démarrer** (F2). Il est possible également de configurer un **temps de départ** et un **temps de d'arrêt**. Le test de longue durée se complètera de lui-même et les données brutes ou bien les statistiques sélectionnées seront sauvegardées tel que montré ci-dessous.

Le fichier de données du **test de longue durée** montré ici inclut les statistiques choisies par l'utilisateur (**minimum, moyenne, maximum et déviation standard**) pour chacun des 5 tests effectués sur une période de 4 minutes. Il donne également la liste complète des conditions de configuration du Mach 5 ainsi que tout fichier additionnel de description que l'utilisateur a rajouté. Que vos test durent quelques minutes, quelques heures ou quelques jours, vous trouverez le **test de longue durée** incroyablement utile pour le développement de produit ou les tests de production.

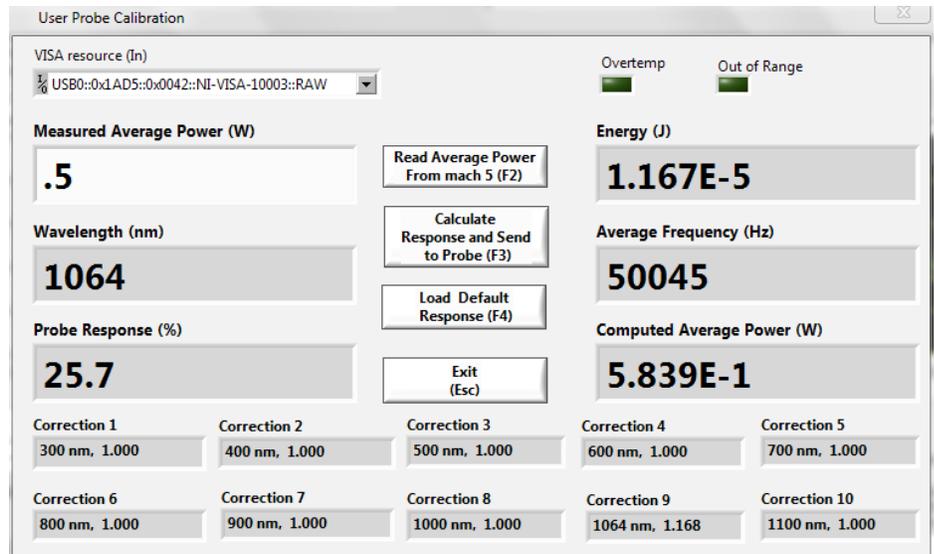


# NOTE D'APPLICATION

## EXEMPLE 7.

### CALIBRATION PAR L'USAGER (USER PROBE CALIBRATION) : UNE FONCTION TRÈS PRATIQUE

Cet exemple explique comment utiliser la fonction la plus récente de notre logiciel : la calibration par l'utilisateur (User Probe Calibration). Ce mode permet la calibration de la sonde Mach 5 ou Mach 6 pour une longueur d'onde particulière en fonction de votre détecteur de puissance. Il est possible d'accéder à cette fonction lorsque le Mach est activé en sélectionnant l'onglet **Données de la sonde** (Probe Data) puis en cliquant sur le bouton **Calibration par l'utilisateur** (User Probe Cal). L'écran montré ci-dessous va s'ouvrir.



Voici une explication simple du fonctionnement de cette auto-calibration. Mesurez la puissance moyenne de votre laser avec votre wattmètre, en supposant que vous travaillez à 1064 nm. Entrez la puissance moyenne mesurée dans la fenêtre **Puissance moyenne mesurée** (Measured Average Power) (dans notre exemple, 0,5 W), puis cliquez sur le bouton **Lire la puissance moyenne** (Read Average Power) (F2) qui **arme** le joulemètre Mach pour une mesure de puissance (énergie d'impulsion multipliée par la fréquence moyenne). Appuyez maintenant sur le bouton **Calculer la réponse de la sonde** (Calculate Probe Response) (F3) afin que le joulemètre Mach puisse calculer le nouveau facteur de réponse spectrale pour l'écrire dans la mémoire de la sonde Mach. La réponse de la sonde est alors calculée et affichée (25,7% dans notre cas) et le nouveau **Facteur de correction** (#9) de 1,168 est montré pour une longueur d'onde de 1064 nm. Le joulemètre Mach est maintenant programmé pour la réponse du détecteur de puissance à 1064 nm.

Il faut simplement appuyer sur **Sortir** (Exit) pour interrompre cette opération. À n'importe quel moment vous pourrez accéder à cet écran et appuyer sur le bouton **Charger une réponse spectrale par défaut** (Load a Default Probe Response) (F4) pour revenir aux paramètres par défaut.

# NOTE D'APPLICATION

## EXEMPLE 8.

ÉNERGIE D'IMPULSION, ÉTAMPE TEMPORELLE, TEMPÉRATURE DE LA SONDÉ ET SIGNAL D'ERREUR

```
1.612E-4,1.998730406E+1,15.000,0
1.611E-4,1.998732399E+1,15.000,0
1.614E-4,1.998734397E+1,15.000,0
1.613E-4,1.998736395E+1,15.000,0
pulse energy, time stamp, probe temperature, flags

Test 1 of 1. Test Started at 10:26:33.421 AM 8/31/2009

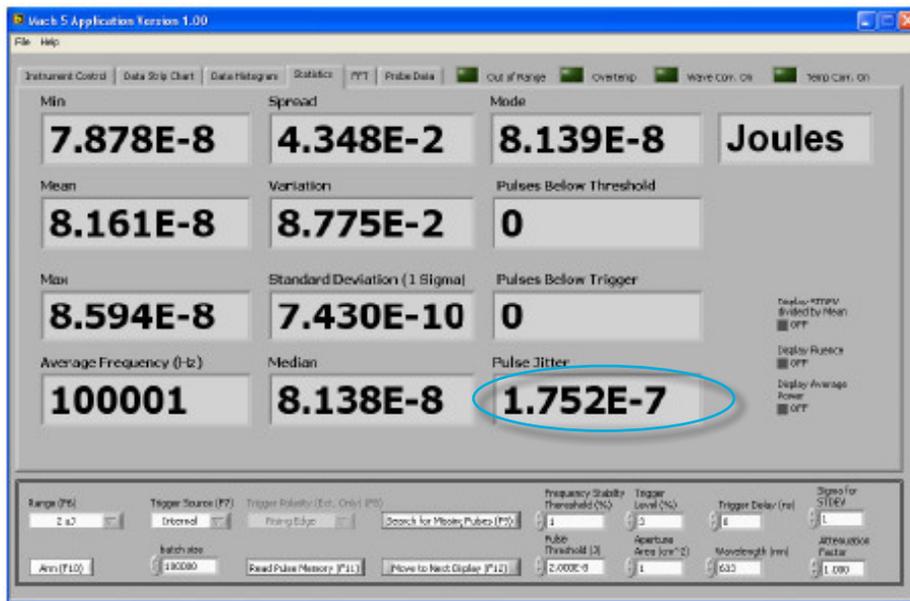
mach 5 Instrument Information

Range : 200uJ
Trigger Level : 5 %
Trigger Source : Internal
Trigger Polarity : Rising Edge
Trigger Delay : 0 ns
Batch Size : 1000000 pulses
Number of Batches : 1
```

Lors de la sauvegarde de données dans un fichier, les éléments qui sont enregistrés sont les suivants : l'énergie d'impulsion (J), l'étampe temporelle (sec), la température de la sonde (°C) et un signal d'erreur (si requis). Lors de la récupération du fichier des données de test (lorsque le logiciel de la série Mach n'est pas ouvert), il sera affiché tel que montré ci-dessous, dans un format bloc-notes Windows. En plus des données du pulse, il y a une description complète de la configuration du joulemètre Mach, de la taille de l'échantillon, de la date et de la durée de l'acquisition

## EXEMPLE 9.

MESURER LES FLUCTUATIONS DU PULSE AVEC UNE RÉOLUTION DANS LES NANOSECONDES



Le logiciel de la série Mach a été modifié récemment afin qu'il puisse tirer avantage de l'étampe temporelle haute résolution (10 nanosecondes) qui est enregistrée avec chaque pulse. Le logiciel calcule maintenant la fluctuation moyenne du pulse pour la configuration des données choisie et l'affiche dans la fenêtre de **Variation de la fréquence d'impulsion** (Pulse Jitter) dans l'écran des **Statistiques** (montré dans l'exemple ci-dessous comme étant 175,2 nanosecondes).

Pour conclure, nos joulemètres ultrarapides Mach 5 et Mach 6 sont des outils de diagnostic pour lasers pulsés qui vont sans aucun doute améliorer votre capacité à caractériser entièrement vos lasers à fibre ou DPSS à haut taux de répétition. Que vous soyez concepteur, fabricant, intégrateur ou tout simplement testeur de lasers à haut taux de répétition, vous voudrez définitivement avoir un système Mach 5 ou Mach 6 sur votre banc de tests.