Doric Neuroscience Studio

Manuel d’utilisation

Version 5.3.4

Table des matières

1 Présentation du logiciel **3**
1.1 Doric Neuroscience Studio ... 3
1.2 Configuration requise ... 3

2 Pour commencer **4**
2.1 Installation du logiciel ... 4
2.2 Lancement de Doric Neuroscience Studio ... 5
2.3 Organisation du logiciel ... 6
2.4 Onglets du système ... 7
2.5 Fonctionnalités du logiciel ... 8
2.6 Mise à jour du logiciel et du micrologiciel ... 8

3 Modules de l'appareil **10**
3.1 Sources lumineuses ... 10
3.2 Console de photométrie à fibre optique ... 19
3.3 Caméra de suivi du comportement ... 39
3.4 Microscope ... 42
3.5 Électrophysiologie synchronisée par optogénétique sans fibre optique et sans fil ... 47
3.6 Générateur d'impulsions TTL pour l'optogénétique ... 52

4 Modules d'analyse **58**
4.1 Analyseur d'images ... 58
4.2 Analyseur photométrique ... 66
4.3 Analyseur de suivi comportemental ... 70
4.4 Simulateur d'optrode ... 72
4.5 Module d'analyse électrophysiologique ... 77

5 Caractéristiques techniques **83**

6 Assistance **84**
6.1 Communiquez avec nous ... 84

1

Aperçu du logiciel

1.1 Doric Neuroscience Studio

Notre vaste gamme de produits permet aux utilisateurs de mettre au point différentes applications telles que l'optogénétique, la microscopie à fluorescence, l'électrophysiologie et la photométrie à fibre optique. Afin de mettre en œuvre les meilleures applications possibles, nos ingénieurs ont créé un logiciel intuitif qui permet de contrôler le matériel et d'acquérir des données.

Le logiciel gratuit Doric Neuroscience Studio intègre différents modules pour chaque appareil connecté. Les modules existants permettent :

- Le contrôle de nos pilotes de DEL programmables
- le contrôle de nos pilotes de modules à diodes laser
- le contrôle de nos pilotes de sources lumineuses à fibre Ce:YAG
- L'acquisition de la tension à l'entrée BNC d'une source lumineuse choisie
- L'acquisition de données à partir de notre console de photométrie à fibre
- Acquisition d'un flux en direct provenant de notre caméra de suivi comportemental
- Commande de notre pilote de microscope à fluorescence
- Commande de notre générateur d'impulsions TTL pour l'optogénétique (OTPG) afin de créer des protocoles d'impulsions complexes
- Commande de notre système d'électrophysiologie synchronisé par optogénétique
- Analyse des données d'image provenant du microscope.
- Analyse des données photométriques.
- Analyse des données électrophysiologiques.
- Analyser les données de suivi comportemental.
- Simuler des optrodes dans le tissu cérébral.

1.2 Configuration requise

Windows

- Système d'exploitation : Microsoft Windows 7, 8, 10; 64 bits
- Vitesse du processeur : 2 GHz et 4 cœurs au minimum, 3 GHz et 8 cœurs recommandés
- Mémoire : 4 Go de RAM au minimum, 8 Go de RAM recommandés
- Disque dur : 500 Mo d'espace libre sur le disque dur

2

Pour commencer

2.1 Installation du logiciel

1. **Lancez** le programme d'installation de Doric Neuroscience Studio à partir de la clé USB fournie ou téléchargez la dernière version du logiciel à partir de notre site Web. Consultez le tableau 5.2 pour connaître la configuration requise.
2. **Sélectionnez** la langue à utiliser pendant l'installation.
3. Dans la fenêtre du contrat de licence (fig. 2.1), acceptez les modalités et cliquez sur **Suivant** pour poursuivre le processus.

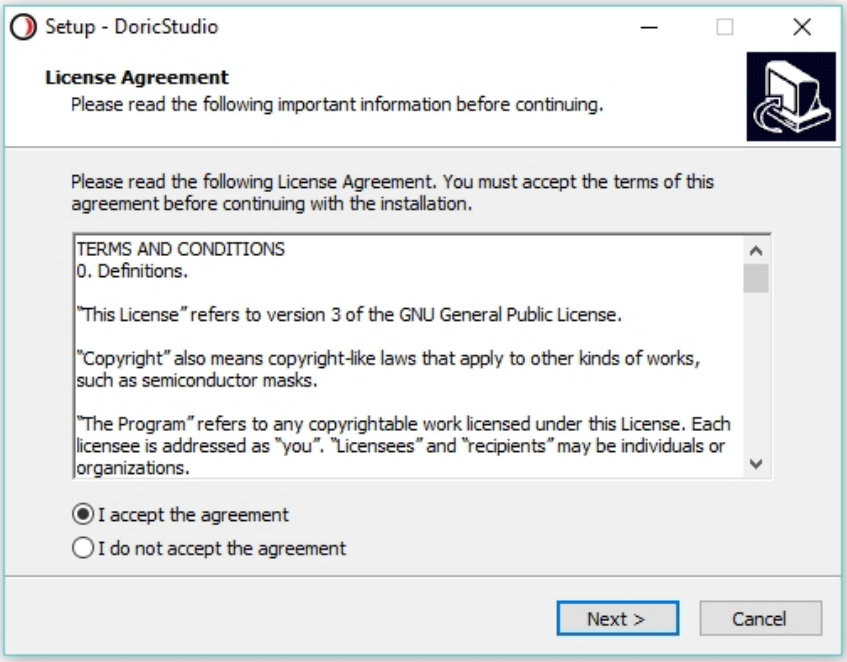


Figure 2.1 : *Contrat de licence de Doric Neuroscience Studio*

4. Cliquez sur « **Suivant »** dans la fenêtre d'information.
5. **Choisissez** l'emplacement d'installation du logiciel (fig. 2.2) et cliquez sur « **Suivant** ».

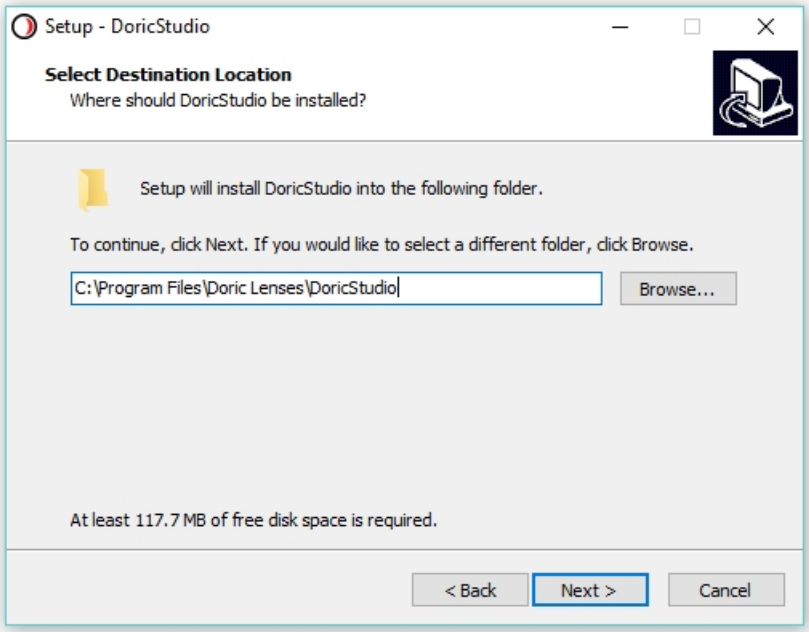


Figure 2.2 : *Sélection de l'emplacement de destination*

6. Si vous le souhaitez, **choisissez** de créer un raccourci dans le dossier « Menu Démarrer », puis cliquez sur **Suivant**.
7. Si vous le souhaitez, **cochez la case** pour créer une icône sur le bureau, puis cliquez sur **Suivant**.
8. Lorsque vous êtes prêt, cliquez sur **« Installer »** pour lancer le processus. Cela devrait prendre quelques instants. Une fois l'installation terminée, le message illustré à la figure 2.3 s'affichera.

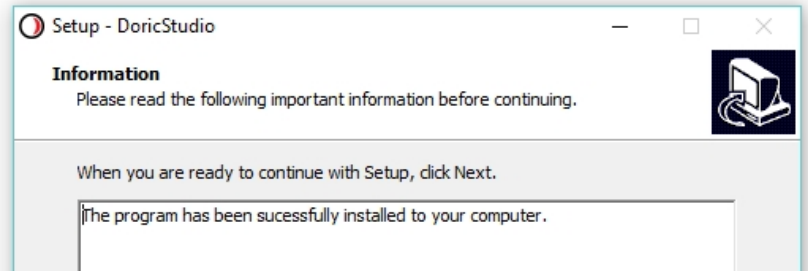


Figure 2.3 : *Installation réussie de Doric Neuroscience Studio*

9. Cliquez sur « **Suivant »**, puis sur **« Terminer »** pour quitter le programme d'installation.
10. Le logiciel est maintenant prêt à l'emploi.

2.2 Lancement de Doric Neuroscience Studio

Le fait de brancher les câbles à l'ordinateur avant de mettre le ou les appareils sous tension peut entraîner une installation incorrecte des pilotes.

Maintenant que le logiciel est correctement installé, le ou les nouveaux appareils peuvent être contrôlés à partir de l'ordinateur. Une fois le logiciel lancé et le ou les appareils Doric connectés, il est possible de créer une nouvelle configuration ou d'en charger une déjà enregistrée. Dès qu'un appareil est connecté, un **onglet « Appareil »** s'affiche. Ces onglets servent à configurer le comportement de chaque appareil. La

connexion est indiquée en bas à gauche de la fenêtre sous la forme « *L'appareil* est prêt », pour chaque appareil concerné. Les modules d'analyse peuvent également s'afficher sous forme d'onglets supplémentaires, permettant une analyse des données en temps réel. Les détails relatifs à chaque type d' d'onglet se trouvent à la section 2.3.

2.3 Organisation du logiciel

La figure 2.4 présente les différentes options de menu disponibles en tout temps dans le studio.

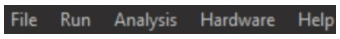
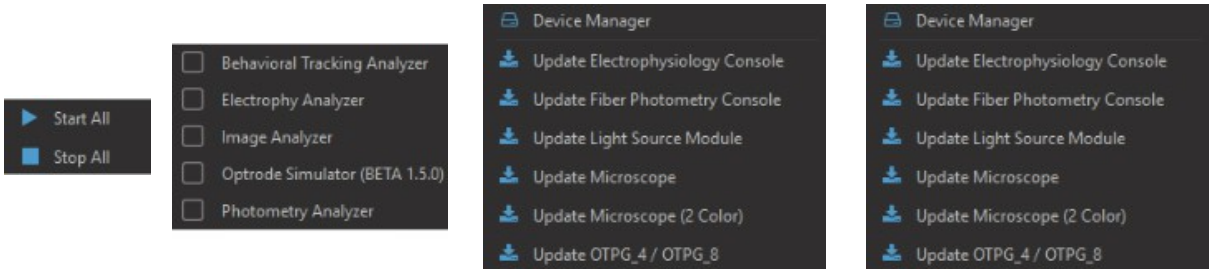


Figure 2.4 : *Options de menu*

- **Le menu Fichier** sert à quitter le logiciel
- **Exécuter** (fig. 2.5a) permet d'activer ou de désactiver tous **les onglets de périphériques** à l'aide des options « **Démarrer tout »** et « **Arrêter tout** ».



(a) *Exécuter* (b) *Analyse* (c) *Matériel* (d) *Aide*

Figure 2.5 : *Listes déroulantes du menu*

- **Le menu « Analyse** » (fig. 2.5b) sert à ouvrir les modules d'analyse. Ces modules sont décrits en détail au chapitre 4.
- **L'option Matériel** (fig. 2.5c) sert à gérer tous les appareils Doric connectés à l'ordinateur.

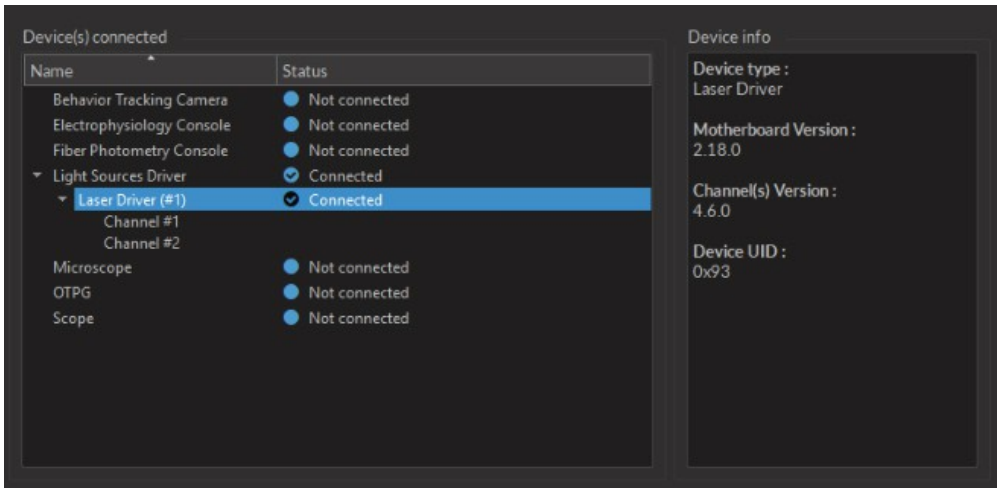
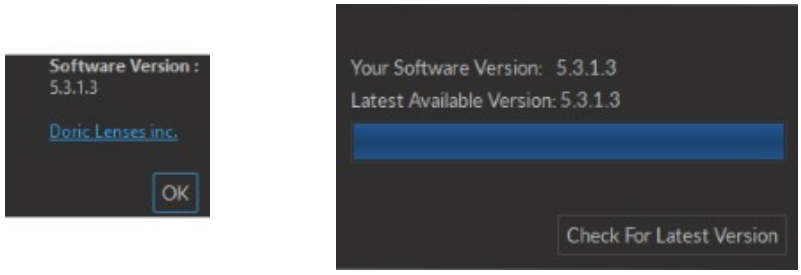


Figure 2.6 : *Fenêtre du Gestionnaire de périphériques*

- La sélection « **Gestionnaire de périphériques** » ouvre la fenêtre **du Gestionnaire de périphériques** (fig. 2.6). Cette fenêtre affiche les appareils connectés ainsi que leurs versions de micrologiciel respectives.
- Les options **de mise à jour** servent à mettre à jour le micrologiciel des appareils. En temps normal, il ne faut pas les utiliser.

- **L'option « Aide »** fournit des renseignements sur les différentes fonctionnalités incluses dans le logiciel.



(a) *Fenêtre « À propos »* (b) *Fenêtre « Mises à jour »*

Figure 2.7 : *Fenêtres d'aide*

  - Lorsque la bouée **« Aide »** est sélectionnée, des renseignements supplémentaires s'affichent à l'apparition du *curseur d'aide* . Une petite fenêtre décrivant la fonctionnalité s'affiche. Si l'élément ne permet pas d'interaction, le curseur d'invalidité s'affiche. Ces curseurs varient en fonction du jeu de curseurs utilisé par l'ordinateur. Les directives standard relatives aux curseurs AERO de Windows sont utilisées pour les captures d'écran de ce manuel.
  - L'option « **Manuel de l'utilisateur »** ouvrira le manuel associé à cette version du logiciel.
  - L'option **« À propos »** ouvrira la fenêtre « **Renseignements sur le logiciel** » (Fig. 2.7a), qui affiche la version actuelle du logiciel.
  - L'option « **Vérifier les mises à jour** » ouvre la fenêtre (Fig. 2.7b) du même nom. Elle permet de vérifier si le logiciel peut être mis à jour. Cette fonction nécessite une connexion à Internet.

2.4 Onglets « Système »

Une fois qu'un appareil est connecté à l'ordinateur, les onglets suivants peuvent apparaître selon l'appareil.

1. **Les onglets « Appareil »** varient selon l'appareil connecté. L'onglet est nommé *« DX-Y : Titre »*, où *X* correspond au numéro de l'appareil, *Y* au numéro du module pour un appareil utilisant plusieurs onglets, et *« Titre »* au nom du module. C'est ici que l'application est configurée et contrôlée. Chaque type d'appareil correspond à un module différent. Chacun d'entre eux est décrit dans le chapitre suivant de ce document.

2. **Les onglets d'analyse** peuvent être activés à partir du menu « **Analyse** ». Ces onglets offrent divers modules d'analyse permettant d'effectuer un traitement supplémentaire des données issues des résultats obtenus grâce aux appareils Doric Lenses.

2.5 Fonctionnalités du logiciel

Le logiciel comporte plusieurs fonctionnalités destinées à améliorer la facilité d'utilisation.

2.5.1 Widgets

Plusieurs widgets de Studio peuvent être détachés en cliquant sur le symbole «  ». Un double-clic sur la barre de titre ramène la fenêtre à sa position initiale.

2.5.2 Graphiques, tracés et courbes

La plupart des affichages de tracés offrent des fonctions similaires. Le bouton **« Réinitialiser le zoom** » rétablit le format d'affichage par défaut du tracé. Les tracés actifs disposent souvent de la fonction « **Défilement automatique** », qui déplace les données tracées afin de maintenir une durée fixe de tracé. Le bouton **« Effacer les données »** efface les données du tracé. Une fois les données effacées, elles ne peuvent plus être récupérées.

Pour modifier l'échelle des axes d'un graphique, utilisez Maj **+ molette de la souris** pour l'axe Y et **Ctrl + molette de la souris** pour l'axe X. L'échelle change autour de la position du curseur de la souris, et elle ne peut être modifiée que si le curseur se trouve sur le graphique.

Cliquer et faire glisser les graphiques modifie leur position dans l'espace bidimensionnel. S'il y a plusieurs graphiques, l'axe X (représentant le temps) change de la même façon sur tous les graphiques, tandis que l'axe Y est modifié individuellement pour chaque graphique.

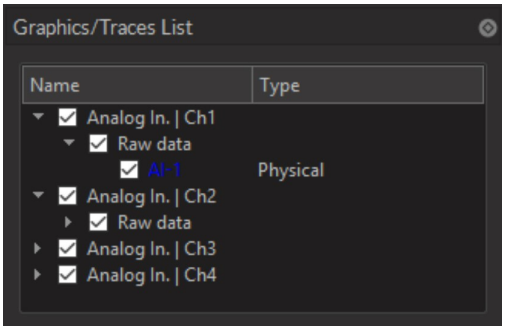


Figure 2.8 : *Liste des graphiques/traces*

La liste des graphiques/traces (fig. 2.8) se trouve sur la plupart des onglets d'entrée. Cette liste affiche les différentes traces associées à chaque graphique. Ces choix peuvent être développés en cliquant sur la flèche située à gauche du nom du graphique. En décochant des traces individuelles, celles-ci sont retirées du graphique.

2.5.3 Format .doric

Le format **.doric**, basé sur le format HDF5, est utilisé à la fois pour sauvegarder les données enregistrées par le logiciel et pour enregistrer des séquences d'impulsions se . Ce format est préférable pour les séquences de données volumineuses.

2.6 Mise à jour du logiciel et du micrologiciel

Les appareils électroniques Doric, tels que les pilotes et les consoles, nécessitent des mises à jour périodiques de leur micrologiciel pour des performances optimales. Le logiciel *Doric Neuroscience Studio* nécessite également des mises à jour périodiques pour intégrer de nouvelles fonctionnalités. La section suivante explique comment maintenir à jour vos appareils et logiciels Doric.

2.6.1 Mise à jour de Doric Neuroscience Studio

1. Veillez à mettre régulièrement le logiciel à jour. En sélectionnant **Aide — Vérifier les mises à jour**, la fenêtre « **Vérifier les mises à jour »** s'affichera.

2. Si la version installée est plus ancienne que celle disponible en ligne, un lien hypertexte apparaîtra pour vous permettre de télécharger la mise à jour à partir de notre site Web.

3. Débranchez tous les appareils Doric de l'ordinateur avant de lancer la mise à jour.

4. Une fois le fichier téléchargé, exécutez-le. Il détectera immédiatement la version précédente et vous proposera de la désinstaller (fig. 2.9). **Cliquez sur « Oui »**.

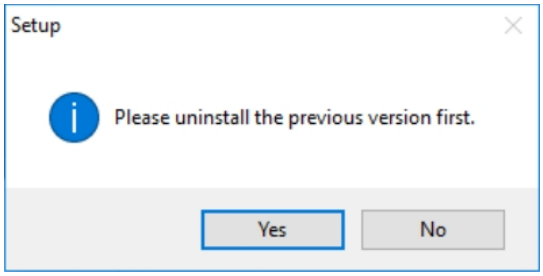


Figure 2.9 : *Fenêtre de désinstallation*

5. Lorsque le programme vous demande si vous êtes certain (fig. 2.10), **cliquez sur « Oui »**.

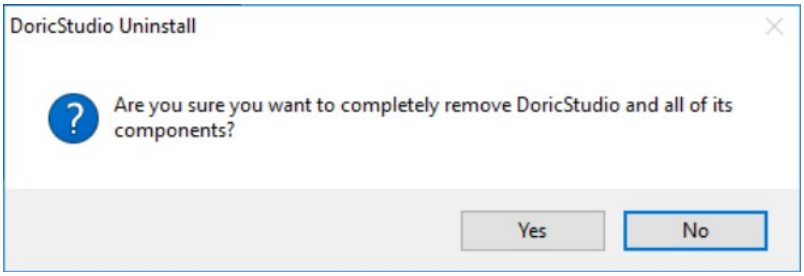


Figure 2.10 : *Confirmation de la désinstallation*

6. Une fois la version précédente désinstallée, l'écran suivant (fig. 2.11) s'affichera. **Cliquez sur « OK »**; l'installation de la nouvelle version du logiciel devrait alors démarrer, comme indiqué à la section 2.2.

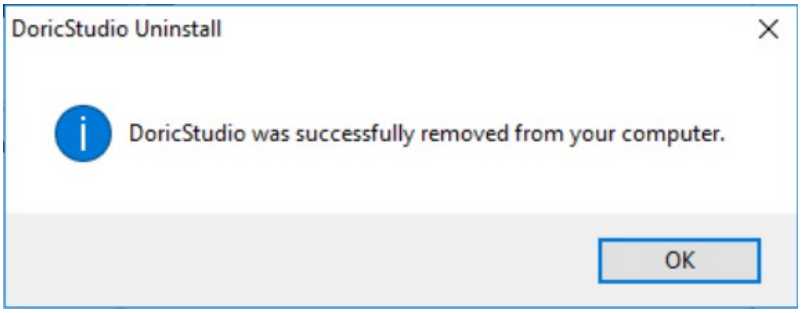


Figure 2.11 : *Fin de la désinstallation*

7. Une fois l'installation terminée, la mise à jour est terminée.

2.6.2 Mise à jour du micrologiciel

Pour mettre à jour le micrologiciel de l'appareil, communiquez avec nous à l'adressesales@doriclenses.com . Des instructions et les fichiers de micrologiciel vous seront fournis.

3

Modules de l’appareil

3.1 Sources lumineuses

Les sources lumineuses Doric peuvent être contrôlées par le logiciel Doric Neuroscience Studio. Elles comprennent *des modules à DEL, des modules à diodes laser* et *une source lumineuse à fibre Ce:YAG*. L’interface est divisée en deux sections principales : « **Contrôle et paramètres** » et « **Vue d’acquisition** ». Chaque pilote de source lumineuse comporte plusieurs **canaux**, chacun contrôlant une source lumineuse de son type respectif. Ces canaux, accessibles à l’aide de la fonction **« Ajouter un canal »**, seront décrits en premier lieu.

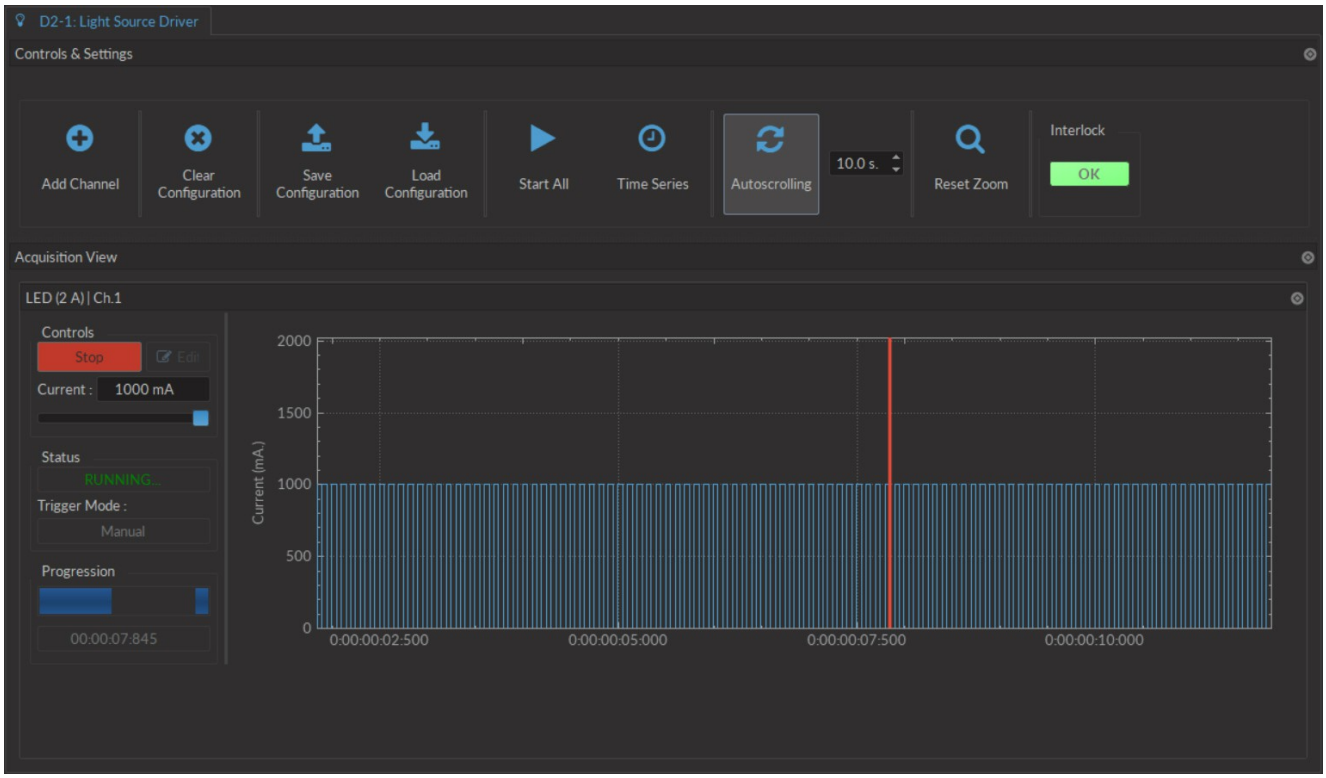


Figure 3.1 : *Onglet « Pilote de source lumineuse »*

3.1.1 Canaux

Chaque pilote de source lumineuse est divisé en plusieurs **canaux**. Chaque canal contrôle une seule source lumineuse. Bien que chaque canal puisse être contrôlé en mode **autonome** par le pilote, des fonctions supplémentaires sont accessibles pour ces canaux lorsque le pilote est connecté au Doric Neuroscience Studio. Ces fonctions s’utilisent via la fenêtre **« Configuration des canaux »** (Fig. 3.2).

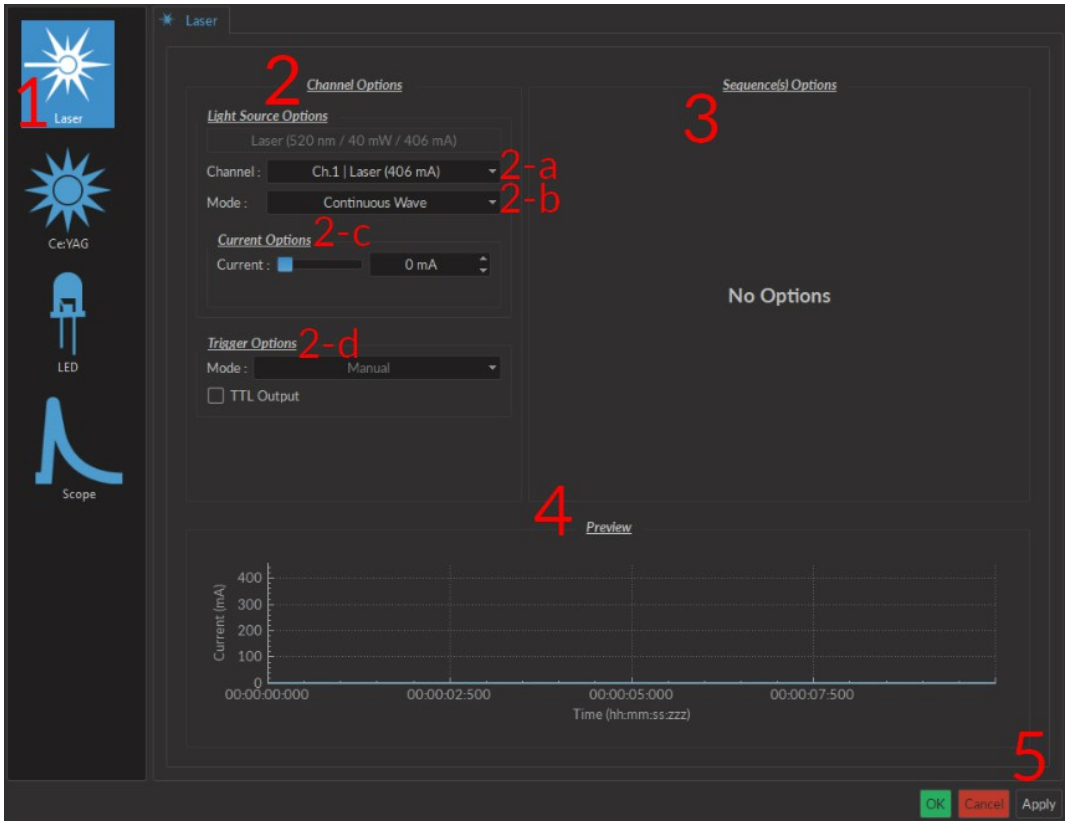


Figure 3.2 : *Fenêtre de configuration des canaux de source lumineuse*

1. **Les types de canaux** (fig. 3.2) sont affichés sur le côté gauche de la fenêtre. Ceux-ci comprennent les sources lumineuses **laser**, les sources lumineuses **Ce:YAG** et les sources lumineuses **DEL**, ainsi que **l'oscilloscope** permettant de mesurer le signal à l'aide du contrôleur.

2. La zone **« Options de canal** » (Fig. 3.2) comprend **les options de source lumineuse** et **les options de déclenchement** pour le canal en question.

   a) La liste déroulante « **Canal** » (Fig. 3.2) indique quel canal du pilote est en cours de modification, dans le cas d'un pilote à canaux multiples.

   b) La liste déroulante **Mode** (fig. 3.2) répertorie tous les modes possibles du contrôleur. Ceux-ci servent à contrôler les séquences d'impulsions émises par la source lumineuse. Les options liées à ce mode sont détaillées dans les **options de séquence**.

   c) Les **« Options de courant** » (Fig. 3.2) comprennent le curseur servant à contrôler le courant envoyé à la source lumineuse.

   - Lorsque vous utilisez un module *de commande de DEL*, la case à cocher **« Overdrive »** s'affiche. Lorsqu'elle est cochée, cette option permet au système de dépasser la limite de courant de sécurité normale de la source lumineuse. **CETTE OPTION NE DOIT ÊTRE UTILISÉE QU'AVEC DES SIGNAL PULSÉS, CAR ELLE PEUT SINON ENDOMMAGER LA SOURCE LUMINEUSE.**
   - Lorsque vous utilisez un *module LEDD*, la case à cocher **« Low-Power » (Faible puissance)** apparaîtra. Lorsqu'elle est cochée, cette option permet une transmission de signaux à puissance réduite pour une même tension. Ce mode n'est disponible que pour les modules *CLED*. Cela permet aux signaux à faible puissance d'être plus stables dans le temps. Le courant maximal est réduit à un dixième du courant maximal normal de la source lumineuse. Si la **sortie BNC** est utilisée, la tension du signal est proportionnelle au courant traversant la source lumineuse, et non à la tension qui lui est appliquée. Par exemple, un circuit d'attaque dont le courant maximal normal est de 2 000 mA pour un signal de 5 V (400 mA/V) aura un courant maximal de 200 mA pour un signal de 5 V (40 mA/V). La **sortie BNC** du circuit d'attaque continuera de relier le courant de la DEL à un facteur de conversion de 400 mA/V.

   d) **Les options de déclenchement** (fig. 3.2) permettent de sélectionner plusieurs modes de déclenchement pour activer une séquence d'impulsions.

   - Le mode de déclenchement **manuel** est le mode par défaut et permet une activation directe par l'utilisateur.
   - Le mode de déclenchement **« Triggered »** est actif lorsqu'un signal d'entrée supérieur à 4 V est détecté sur l'entrée BNC. Les impulsions d'entrée suivantes seront ignorées pendant l'exécution de la séquence. La séquence redémarrera à l'arrivée de la première impulsion d'entrée après la fin de la séquence.

- Le mode de déclenchement **« Gated »** est actif tant qu'un signal TTL haut (4 V ou plus) est présent sur la prise BNC de modulation d'entrée. Ce signal provient d'une autre source lumineuse ou d'un pilote de périphérique. Lorsque le signal TTL est bas (0,4 V ou moins), la séquence s'arrête et attend un autre signal TTL haut pour reprendre.
- Si l'option **« Sortie TTL »** est cochée, le canal de sortie BNC peut servir de générateur TTL. Le signal de surveillance fournira un signal TTL au lieu d'une tension de sortie analogique proportionnelle au courant de la DEL. La sortie émettra un signal de 5 V chaque fois que le courant d'entrée sera *supérieur à* 0 mA. Cette fonction peut être utilisée même si aucune source lumineuse n'est branchée.

3. La boîte de dialogue **« Options de séquence »** (Fig. 3.2) permet de définir les options de séquence en fonction du mode. Les modes « **Onde continue », « TTL externe »** et **« Analogique externe »** ne comportent aucune option de séquence supplémentaire.



Figure 3.3 : *Signal du circuit d'attaque en mode courant constant*

a) Le mode « **Onde continue** » (fig. 3.3) produit un signal continu au courant choisi. Ce mode ne peut être déclenché que manuellement. Lorsque ce mode est actif, le canal du circuit d'attaque affiche **« CW »** sous **MODE**. Ce mode ne comporte aucune option de séquence supplémentaire.

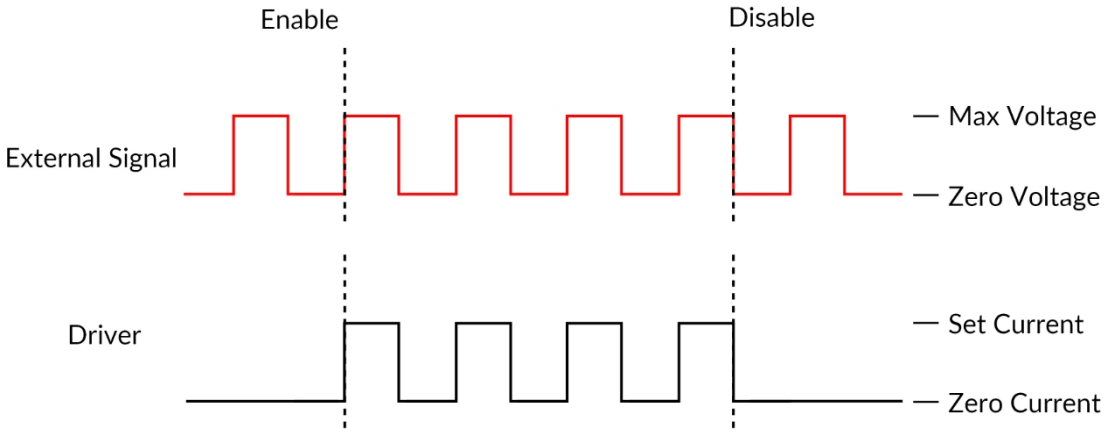


Figure 3.4 : *Réponse du signal du pilote à une source externe en mode TTL externe*

b) En mode **TTL externe** (fig. 3.4), la source lumineuse suit un signal TTL fourni par une source externe connectée à **l'entrée BNC**. Lorsque ce mode est actif, le canal du circuit d'attaque affiche **« TTL »** sous **MODE**. Ce mode ne propose aucune option de séquence supplémentaire.

c) Le mode « **External Analog** » (Fig. 3.5) est similaire au mode « External TTL », sauf que le courant est déterminé par la tension présente sur l'entrée BNC (Fig. 3.5, en haut). Sur l'entrée BNC, un signal de tension maximale correspond à un courant de commande maximal. Si le courant réglé sur la source lumineuse est inférieur au courant maximal, toute tension correspondant à un courant plus élevé provoquera une écrêtage de la forme d'onde de sortie (fig. 3.5, en bas). Pour éviter tout écrêtage de la forme d'onde de sortie, le réglage du courant maximal doit être égal ou supérieur à la tension d'entrée analogique maximale correspondante. Consultez le manuel de la source lumineuse correspondante pour connaître la relation tension/courant. Ce mode ne comporte aucune option de séquence supplémentaire.

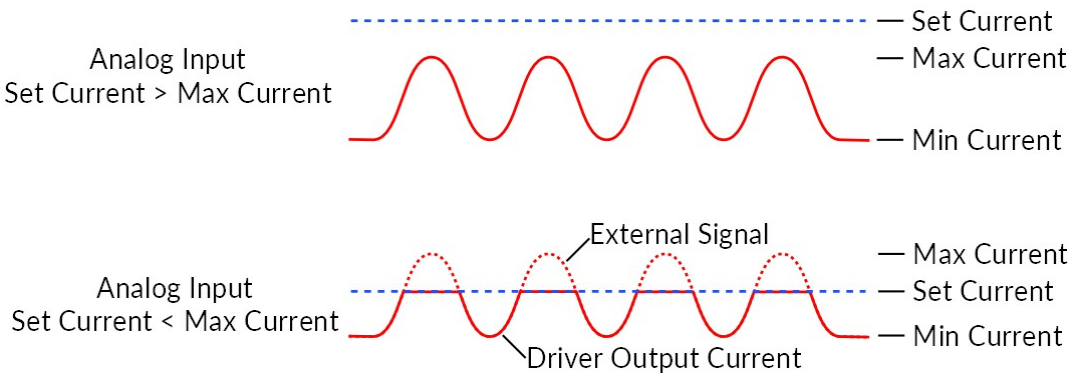


Figure 3.5 : *Contrôleur et source lumineuse en mode analogique externe*

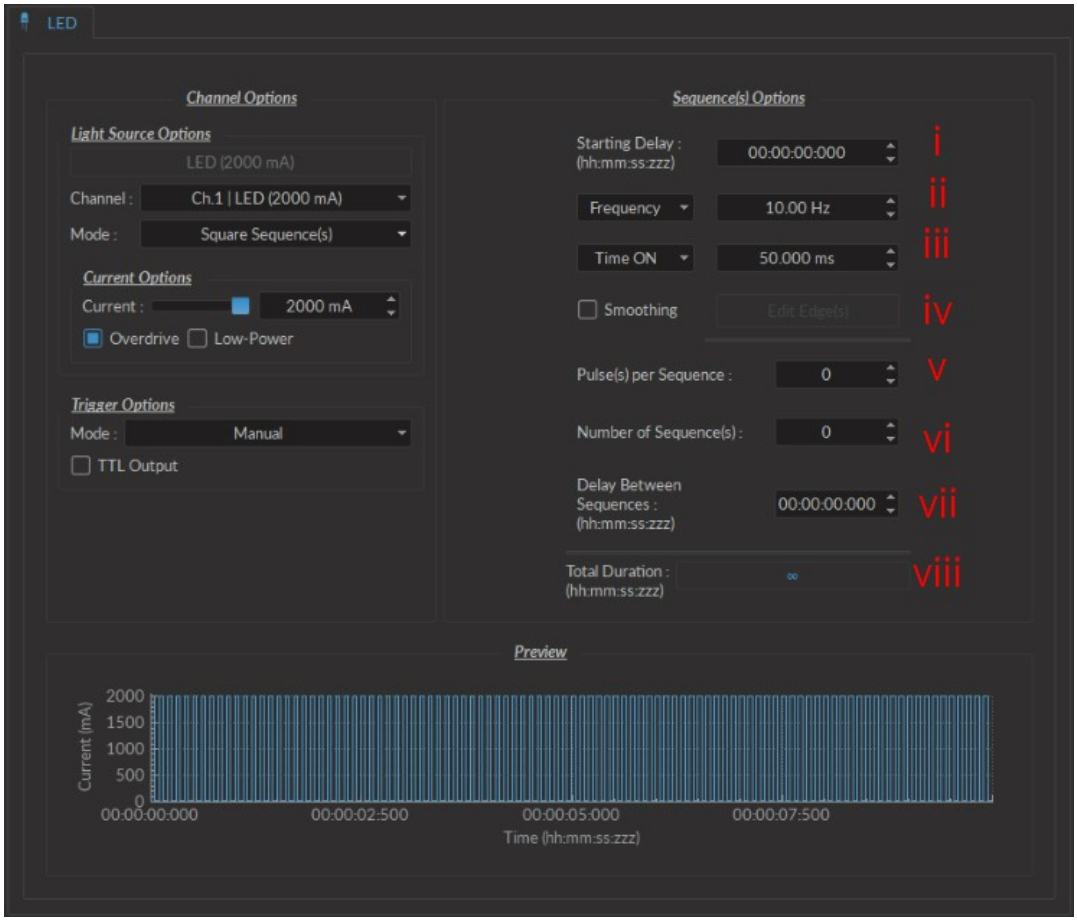


Figure 3.6 : *Fenêtre de configuration du canal de la source lumineuse, options de séquence carrée*

d) En mode « **Séquences carrées** », la source lumineuse suit une séquence d'impulsions carrées.

i. Le paramètre « **Délai de démarrage** » (fig. 3.6) définit le délai (au format hh:mm:ss:zzz) avant la première impulsion.

ii. La **fréquence/période** (fig. 3.6) définit la fréquence (en Hz) ou la période (en ms) de la séquence d'impulsions. Par exemple, un signal à 10 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 100 ms (période), tandis qu'une séquence d'impulsions à 0,5 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 2 000 ms (période).

iii. Le paramètre « **Durée d'activation/rapport cyclique** » (fig. 3.6) définit la durée (en ms) ou le rapport cyclique (en %) de chaque impulsion. La **durée d'activation** doit être inférieure à (1/fréquence) + 0,005 ms, tandis que le **rapport cyclique** doit être inférieur à 100 %. Ces cases s'afficheront en rouge si une **fréquence ou une durée d'activation** impossible est sélectionnée. Si l'option **Lissage** est sélectionnée, cette fonctionnalité devient inaccessible.

iv. L'option **« Lissage** » sert à modifier la pente des impulsions dans les séquences d'impulsions carrées. Le bouton **« Modifier les fronts »** ouvre la fenêtre **« Lissage des fronts** » (fig. 3.60).

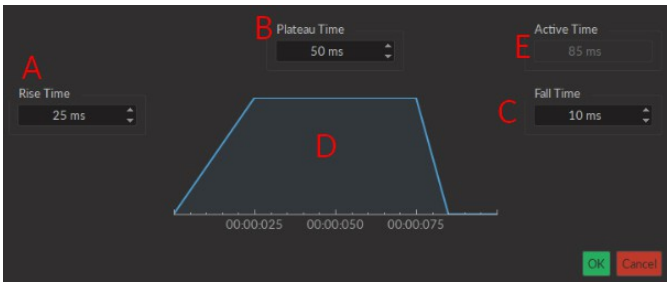


Figure 3.7 : *Fenêtre « Lissage des fronts » de la source lumineuse*

A. Le champ « **Temps de montée** » sert à définir la durée nécessaire pour passer de 0 au maximum de l'impulsion.
B. La zone « **Temps de plateau** » sert à définir la durée pendant laquelle l'impulsion reste à sa valeur maximale.
C. La zone « **Temps de descente** » sert à définir la durée nécessaire pour redescendre du maximum de l'impulsion à 0.
D. **Le graphique d'impulsion** affiche la forme de l'impulsion.
E. La zone **« Durée active** » affiche la durée totale de l'impulsion. Lorsque l'option « **Lissage »** est activée, la « **Durée d'activation »** est fixée à cette valeur.

v. Le paramètre « **Impulsions par séquence** » (Fig. 3.6) définit le nombre d'impulsions par séquence. S'il est réglé sur 0, l'impulsion sera répétée indéfiniment.

vi. Le paramètre « **Nombre de séquences** » (fig. 3.6) définit le nombre de fois où la séquence sera répétée. S'il est réglé sur 0, la séquence sera répétée indéfiniment.

vii. Le « **Délai entre les séquences** » (fig. 3.6) définit le délai (au format hh:mm:ss:zzz) entre chaque séquence si le « **Nombre de séquences »** est supérieur à 1.

viii. La **« Durée totale** » (fig. 3.6) affiche la durée totale de l'expérience. Les différentes valeurs possibles sont *« Inf »* pour une durée infinie, une valeur de temps valide ou *« Err »* si la valeur **de la « Durée d'activation »** est supérieure à 1/fréquence.

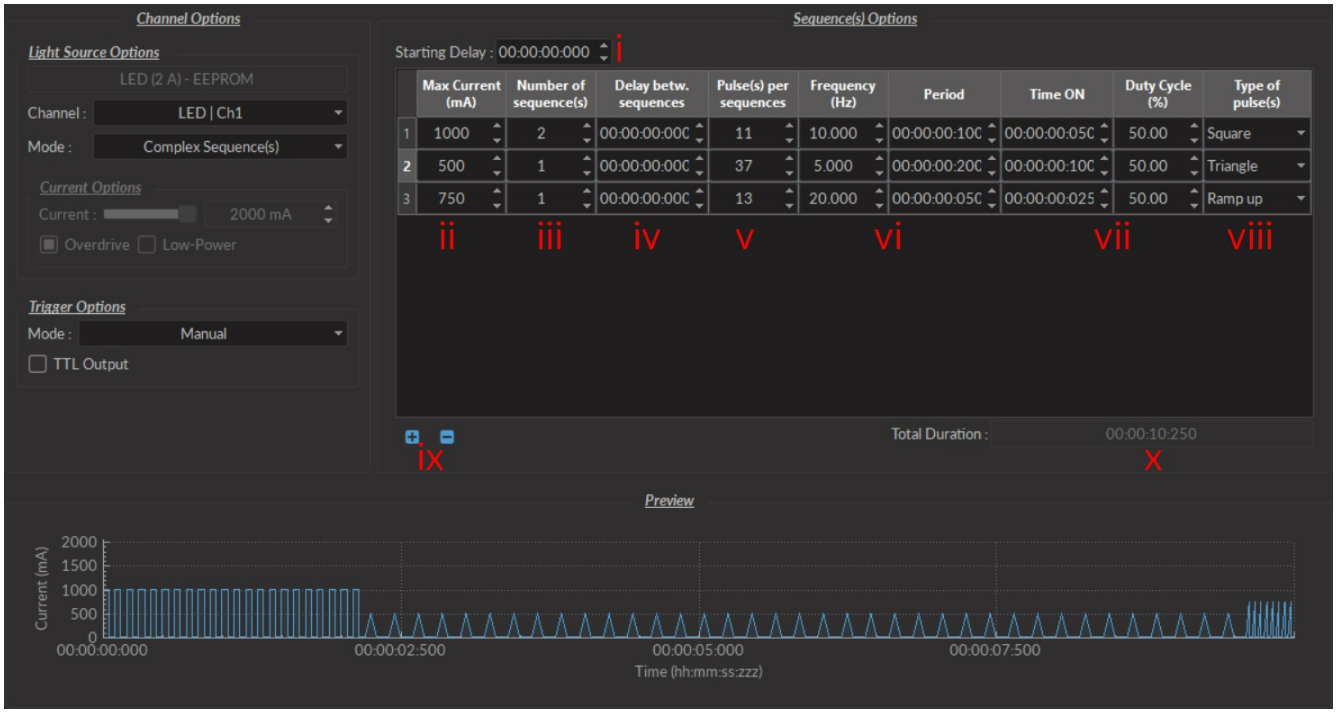


Figure 3.8 : *Fenêtre « Séquences complexes »*

e) Le mode « **Séquences complexes** » permet de concevoir des séquences d'impulsions complexes. Plusieurs séquences peuvent être combinées pour créer une séquence d'impulsions plus élaborée. Celles-ci sont affichées sous forme de feuille de calcul.

i. Le paramètre « **Délai de démarrage** » (fig. 3.8) définit le délai (au format hh:mm:ss:zzz) avant la première séquence d'impulsions.

ii. Le paramètre « **Courant maximal** » (fig. 3.8) définit le courant maximal (en mA) pour la séquence donnée.

iii. Le « **Nombre de séquences** » (fig. 3.8) définit le nombre de fois où la séquence sera répétée, avec un minimum de 1.

iv. Le paramètre « **Impulsions par séquence** » (fig. 3.8) définit le nombre d'impulsions par séquence, avec un minimum de 1.

v. Le **délai entre les séquences** (fig. 3.8) définit le délai (au format hh:mm:ss:zzz) entre chaque séquence si le **nombre de séquences** est supérieur à 1.

vi. La **fréquence/période** (fig. 3.8) définit la fréquence (en Hz) ou la période (en ms) de la séquence d'impulsions. Ces deux valeurs sont liées; lorsqu'on modifie l'une, l'autre s'ajuste automatiquement. Par exemple, un signal à 10 Hz (fréquence) émettra une impulsion toutes les 100 ms (période), tandis qu'une séquence d'impulsions à 0,5 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 2 000 ms (période).

vii. Le paramètre **« Temps d'activation/rapport cyclique »** (fig. 3.8) définit la durée (en ms) ou le rapport cyclique (en %) de chaque impulsion. Ces deux valeurs sont liées : lorsque l'une est modifiée, l'autre s'ajuste automatiquement. Le **temps d'activation** doit être inférieur à (1/fréquence) + 0,005 ms, tandis que le **rapport cyclique** doit être inférieur à 100 %.

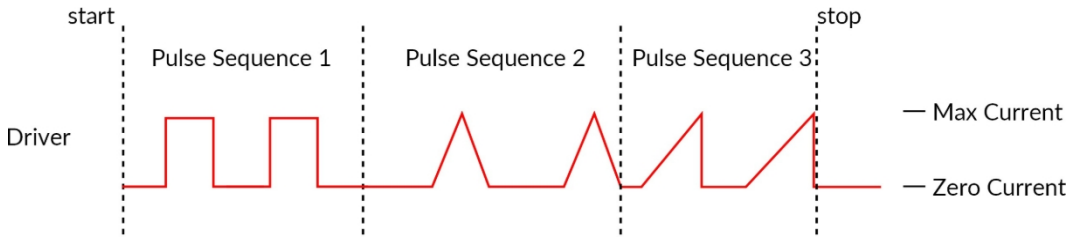


Figure 3.9 : *Séquences d'impulsions en mode complexe interne*

viii. Les **« Types d'impulsions »** (fig. 3.8) permettent de définir le type d'impulsion. Les impulsions peuvent être **carrées**, triangulaires (**Triangle**), **en montée progressive, en descente progressive** ou **à retard** (fig. 3.9). Le type d'impulsion **« Retard »** sert à créer un délai entre différentes séquences

ix. **Les commandes de séquence** (fig. 3.8) permettent d'ajouter (**+**) ou de supprimer (**-**) des séquences de la feuille de calcul.

x. La **« Durée totale »** (fig. 3.8) affiche la durée totale de l'expérience. Les différentes valeurs possibles sont *« Inf »* pour une durée infinie, une valeur de temps valide ou *« Err »* si la valeur **du temps d'activation** est supérieure à 1/fréquence.

f) Le mode **Oscilloscope** permet de mesurer un signal électrique à l'aide du contrôleur (fig. 3.10). Le signal est reçu par la prise BNC d'entrée du canal sélectionné sur le contrôleur de la source lumineuse.

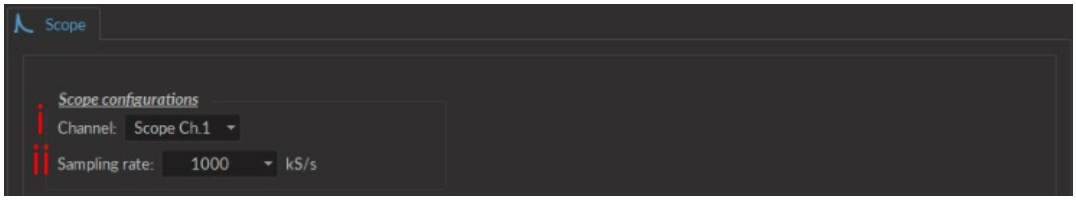


Figure 3.10 : *Oscilloscope*

i. La liste déroulante « **Canal** » indique quel canal du contrôleur sera utilisé pour recevoir le signal. Le canal choisi peut servir à commander une source lumineuse tout en faisant office d'oscilloscope.

ii. La liste déroulante « **Taux d'échantillonnage** » permet de sélectionner la fréquence (en kiloéchantillons par seconde) à laquelle les mesures sont effectuées.

4. La zone **d'aperçu** (fig. 3.2) affiche un aperçu de la séquence choisie dans les modes « **Onde continue** », « **Séquences carrées** » et « **Séquences complexes** ».

5. Le bouton **« Appliquer »** (fig. 3.2) permet de générer la chaîne définie OU de mettre à jour une chaîne déjà configurée en y intégrant les modifications apportées.

3.1.2 Commandes et paramètres

La section « **Commandes et paramètres »** sert à contrôler la source lumineuse. Elle comprend les éléments suivants.



Figure 3.11 : *Commandes et paramètres*

1. Le bouton **« Ajouter un canal** » (Fig. 3.11) ouvre la fenêtre **« Configuration des canaux »** 3.2. Voir la section 3.1.1 pour plus de détails.
2. Le bouton **« Effacer la configuration** » (Fig. 3.11) efface tous les canaux de configuration. Les canaux effacés ne peuvent être récupérés que s'ils ont été préalablement sauvegardés.
3. Le bouton « **Enregistrer la configuration »** enregistre tous les canaux actuellement configurés au format **.doric**.
4. Le bouton « **Charger la configuration »** charge un fichier au format **.doric** contenant un ensemble de canaux configurés précédemment sauvegardés.
5. Le bouton **« Démarrer tout** » (fig. 3.11) démarre tous les canaux actuellement configurés.
6. Le bouton « **Série chronologique »** ouvre la fenêtre « **Série chronologique** ». Cet outil permet à tous les canaux de partager la même synchronisation.

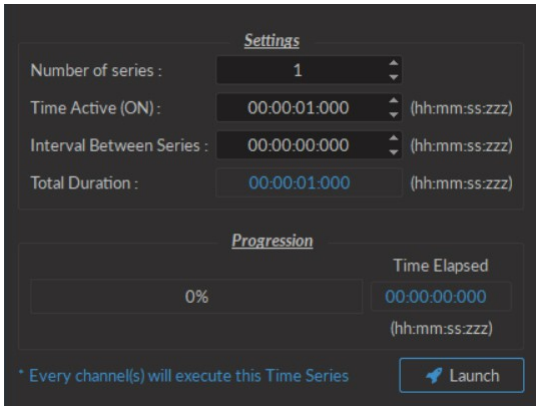


Figure 3.12 : *Contrôle et paramètres, fenêtre « Série chronologique »*

- Le champ « **Nombre de séries** » (fig. 3.12) permet de définir le nombre de fois où la séquence sera répétée, avec un minimum de 1.
- Le paramètre **« Durée active »** définit la durée de chaque série au format hh:mm:ss:zzz. Si la « **Série temporelle »** est utilisée en combinaison avec une séquence, la « **Durée active »** doit être supérieure à la « **Durée totale »** de la séquence. Si la **« Durée active »** est plus courte, la séquence s'arrêtera à la fin de la « **Durée active** ».
- L'« **Intervalle entre les séries** » définit la durée entre chaque série au format hh:mm:ss:zzz.
- La « **Durée totale** » affiche la durée totale de la séquence au format hh:mm:ss:zzz.
- La barre **de progression** affiche la progression de la séquence en %, tandis que le compteur **de temps écoulé** affiche la progression au format hh:mm:ss:zzz.
- Le bouton **« Lancer »** démarre la séquence.

7. Le bouton **« Défilement automatique »** active la fonction de défilement automatique. Lorsqu'elle est active, le **graphique** de la **vue d'acquisition** suivra une section dont la largeur correspond à la durée définie à côté du bouton.

8. Le bouton **« Réinitialiser le zoom »** réinitialise les axes du **graphique** à leurs valeurs par défaut.

9. L'indicateur **d'interverrouillage** affiche « OK » lorsque l'interverrouillage est correctement connecté, et « OPEN » lorsqu'il est déconnecté.

10. L'indicateur **de température Ce:YAG** affiche la température de la *source Ce:YAG* en temps réel. Cet indicateur n'apparaîtra que lorsqu'un *pilote Ce:YAG* est branché à l'ordinateur. Si la température est trop élevée, elle s'affichera en rouge. Si la température est trop basse, elle s'affichera en bleu.

3.1.3 Vue « Expérience »

La zone **« Vue de l'expérience »** sert à afficher des renseignements relatifs à l'utilisation de chaque canal. Cette section permet un contrôle limité de la source lumineuse lorsqu'elle est active.

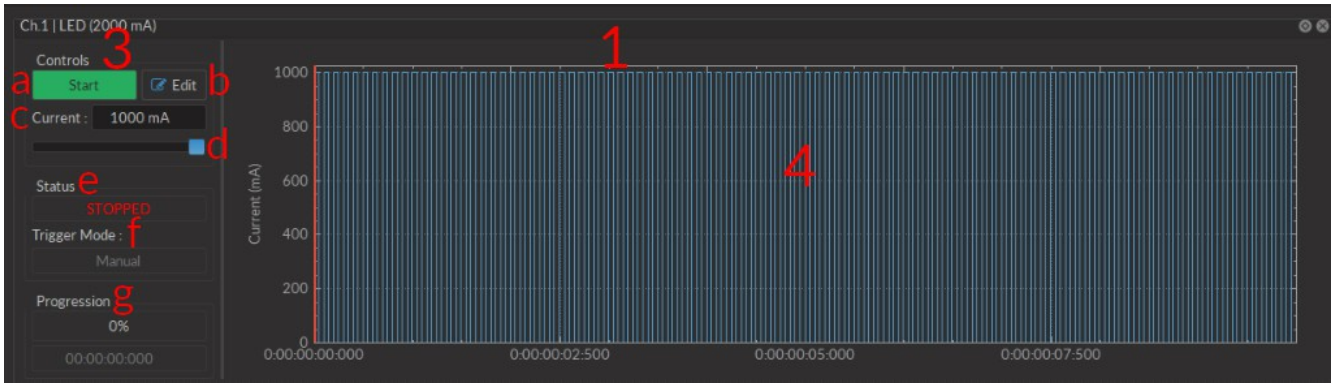


Figure 3.13 : *Vue de l'expérience, canal de la source lumineuse*

1. La zone « **Canal de source lumineuse** » (fig. 3.13) contient tous les éléments relatifs à un seul canal de source lumineuse.

2. La zone « **Canal d'oscilloscope** » (fig. 3.14) sert à contrôler et à configurer un **oscilloscope** actif.

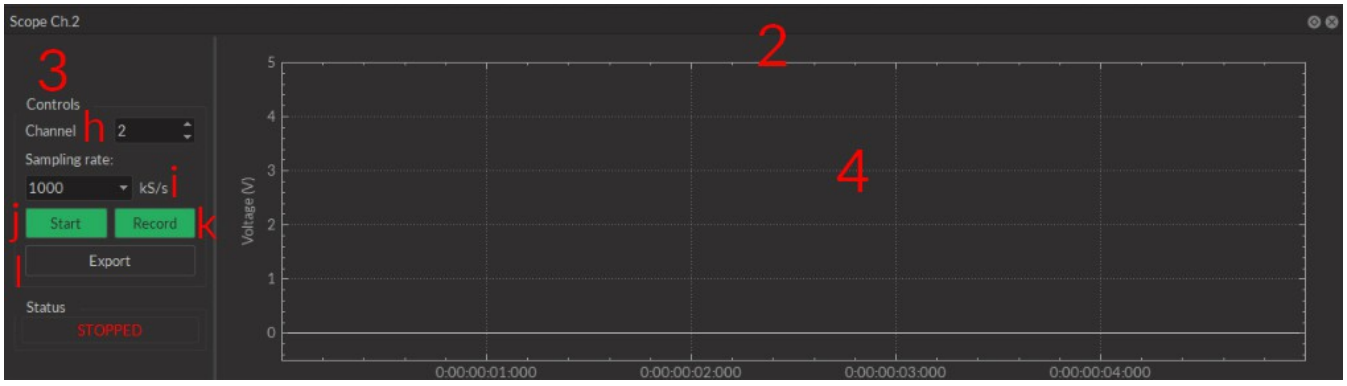


Figure 3.14 : *Vue de l'expérience, canal d'oscilloscope*

3. **La vue** « **Commandes »** affiche tous les éléments permettant de contrôler ou de configurer le canal.

   a) Le bouton **Démarrer/Arrêter** active ou désactive la source lumineuse reliée au **canal de source lumineuse**.

   b) Le bouton **« Modifier »** ouvre la fenêtre **de configuration du canal** pour modifier la séquence d'impulsions. Ce bouton n'est accessible que lorsque le canal est désactivé.

   c) La zone « **Current Box** » permet de modifier le courant avec précision (en mA).

   d) **Le curseur « Courant »** permet de régler le courant de la source lumineuse.

   e) La zone **« État** » affiche l'état du canal (**source lumineuse** ou **oscilloscope**). **L'état** affiche « EN COURS... » lorsque le canal est actif et « ARRÊTÉ » lorsqu'il est désactivé.

f) **Le mode de déclenchement** de la source lumineuse est affiché dans cette zone.

g) La zone « **Progression** » affiche la progression de la séquence d'impulsions. L'avancement de la séquence est indiqué en % sur la **barre de progression** et au format hh:mm:ss:zzz dans la zone « **Temps écoulé** ».

h) La liste déroulante « **Canal** » permet de choisir le canal utilisé comme oscilloscope.

i) La liste déroulante « **Taux d'échantillonnage** » permet de sélectionner le taux (en kiloéchantillons par seconde) auquel les mesures sont effectuées.

j) Le bouton **« Démarrer** le canal de l'oscilloscope » active une séquence de mesure en temps réel. Il est déconseillé d'effectuer des mesures importantes en temps réel, car celles-ci ne conservent qu'une petite quantité (60 s) de données.

k) Le bouton « **Enregistrer** le canal de l'oscilloscope » lance une séquence de mesure enregistrée.

l) Le bouton « **Exporter** le canal de l'oscilloscope » permet d'enregistrer une séquence de mesure en temps réel sur l'oscilloscope.

4. **La vue graphique** affiche soit un aperçu de la séquence d'impulsions pour **les canaux de source lumineuse,** soit le signal reçu pour le **canal de l'oscilloscope**.

3.2 Console de photométrie par fibre

Le module « Console de photométrie par fibre » contrôle la *console de photométrie par fibre*, une unité d'acquisition de données basée sur un FPGA qui synchronise le contrôle de la sortie et les données d'entrée de l'acquisition. L'interface orientée photométrie offre différentes fonctionnalités pour les expériences multicanaux. Elle permet de contrôler les impulsions de lumière d'excitation ou le déclenchement par forme d'onde sinusoïdale d'une source externe (p. ex. le contrôleur de DEL Doric) grâce à 4 **entrées/sorties numériques** et 4 **sorties analogiques**, ce qui permet de créer des séquences d'impulsions. L'interface du module affiche les enregistrements en temps réel de jusqu'à 4 signaux d'entrée et effectue un traitement de base des signaux. Le système est contrôlé à l'aide de 3 onglets « **Contrôle » et « Paramètres** ». Des fenêtres de canal distinctes sont utilisées pour définir les spécifications de sortie et d'entrée.

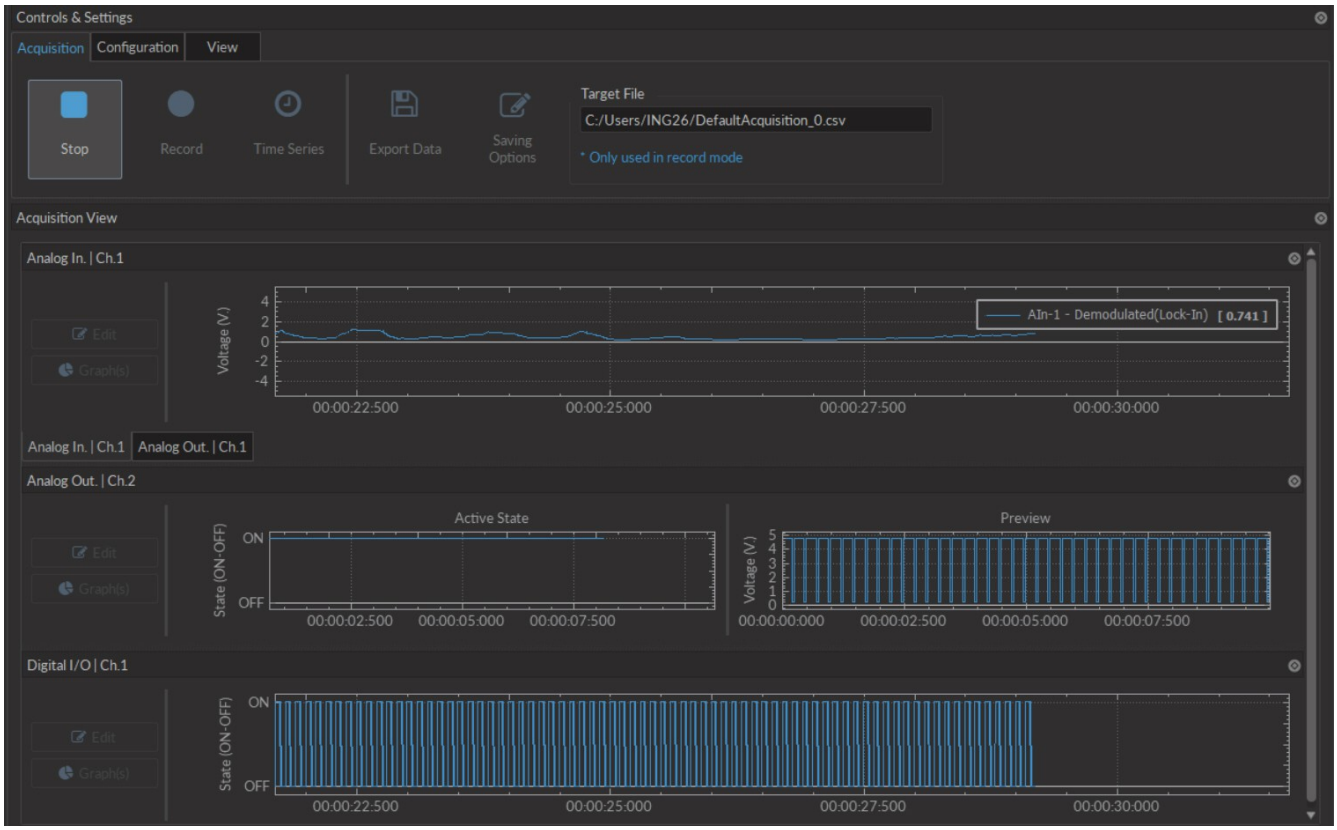


Figure 3.15 : *Interface utilisateur de la console*

3.2.1 Canaux

La console comporte trois types de canaux différents. Les canaux **d'E/S numériques** (section 3.2.1) permettent l'entrée et la sortie de signaux TTL. Les canaux **de sortie analogique** (section 3.2.1) permettent la sortie de signaux analogiques. Les canaux **d'entrée analogique** (section 3.2.1) permettent l'entrée de signaux analogiques. Il est possible d'ajouter autant de canaux que souhaité à l'aide du bouton **« Ajouter un canal »** de l'onglet **« Configuration »** (section 3.2.2). La fenêtre **de configuration des canaux** contient les éléments suivants, communs à la plupart des types de canaux.

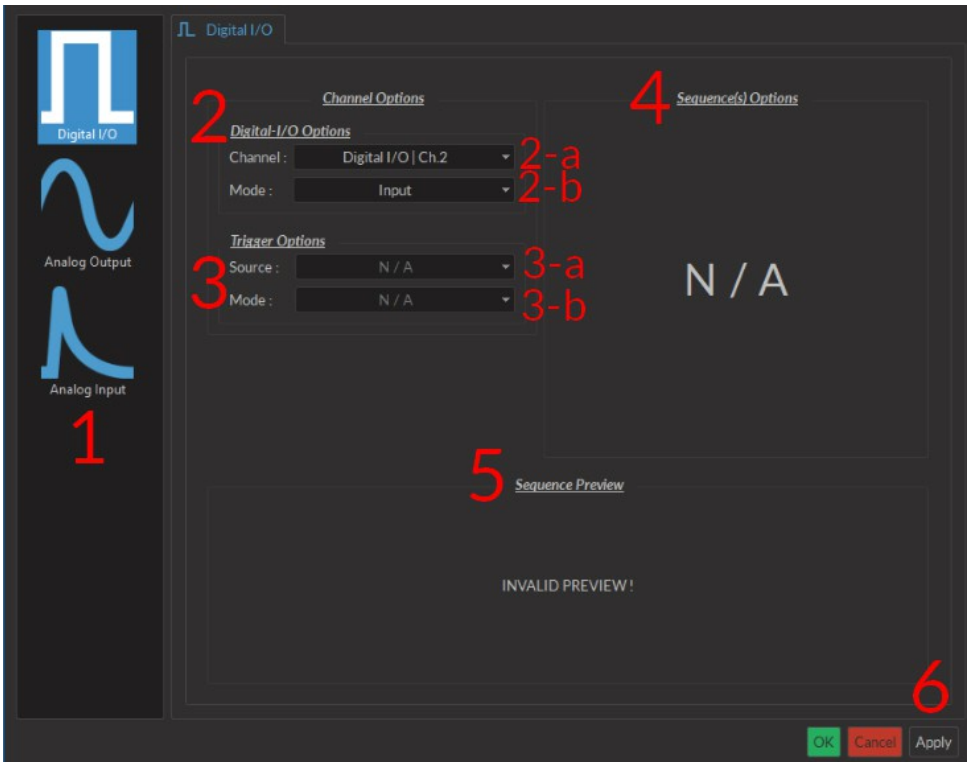


Figure 3.16 : *Fenêtre de configuration des canaux, entrée d'E/S numérique*

1. **Les types de canaux** (fig. 3.16) sont sélectionnés dans la zone située à gauche de la fenêtre. La sélection des icônes « **E/S numériques** », **« Sortie analogique »** ou **« Entrée analogique »** affiche les paramètres correspondant à chaque **type de canal** respectif à droite de la fenêtre.

2. **Les options de canal** (fig. 3.16) comprennent la liste déroulante « **Canal »** et la liste « **Mode »** du canal.

    a) Le **canal** indique lequel des quatre canaux disponibles pour chaque type de canal est en cours de modification. Il est possible de changer de canal en en sélectionnant un nouveau dans la liste déroulante.

    b) Le **« Mode »** identifie le type de signal émis (pour les canaux de sortie) ou la manière dont le signal est mesuré (pour les canaux d'entrée). Les détails de ces choix sont définis dans la section consacrée à chaque type de canal.

3. **Les options de déclenchement** (fig. 3.16) définissent les méthodes de déclenchement. Ces options comprennent la **source** et **le mode** de déclenchement.

    a) L'option de déclenchement **« Source »** permet de choisir entre un **déclenchement manuel** (activé par l'utilisateur) ou un déclenchement **d'entrée**, provenant d'une entrée sur un canal **d'E/S numériques**.

    b) Le **mode** définit la façon dont le déclenchement active une séquence. Cela inclut les séquences d'entrée, qui peuvent être déclenchées ou activées par une source externe.

    - En mode **« Déclenché »**, la séquence est lancée manuellement ou par une source de déclenchement provenant d'un autre canal d'entrée numérique. Une fois la source de déclenchement reçue, la séquence se poursuivra jusqu'à la fin ou jusqu'à ce que l'on appuie sur « **Arrêt** ».
    - En **mode « Gated »**, la séquence sera jouée tant qu'un signal TTL haut (4 V ou plus) est présent sur la prise BNC de modulation d'entrée. Ce signal provient d'une source lumineuse distincte ou d'un pilote de périphérique. Lorsque le signal TTL est

bas (0,4 V ou moins), la séquence s'arrête et attend un autre signal TTL haut pour reprendre. Ce mode interrompt les impulsions; une nouvelle impulsion redémarre dès le retour du signal haut.

4. **Les options de séquence** (fig. 3.16) définissent les paramètres de chaque séquence d'impulsions pour les canaux de sortie. Ces paramètres sont définis en fonction du type de chaque canal. Si un paramètre choisi ne peut pas être appliqué à une séquence (par exemple, une **durée d'activation** supérieure à **1/fréquence**), la couleur des cases d'option deviendra **ROUGE**.

5. La section « **Aperçu** de **la séquence** » (Fig. 3.16) permet de visualiser la séquence de sortie qui sera reproduite en sélectionnant le canal dans le graphique.

6. Le bouton **« Appliquer »** (Fig. 3.16) génère le canal défini OU met à jour un canal déjà configuré en y intégrant les modifications apportées.

Canaux d'E/S numériques

Avec les canaux **d'E/S numériques**, chaque canal numérique peut être configuré en sortie ou en entrée et générer des séquences d'impulsions TTL (marche/arrêt). Chaque canal numéroté correspond au canal numérique portant le même numéro sur la console. Les séquences d'impulsions présentent des paramètres différents selon le **mode du canal**, qui peut être **« Continu »** ou **« Carré »** pour les séquences de sortie et **« Entrée »** pour les signaux d'entrée. La fenêtre **de configuration des canaux** contient les éléments suivants pour un canal d'E/S numérique.

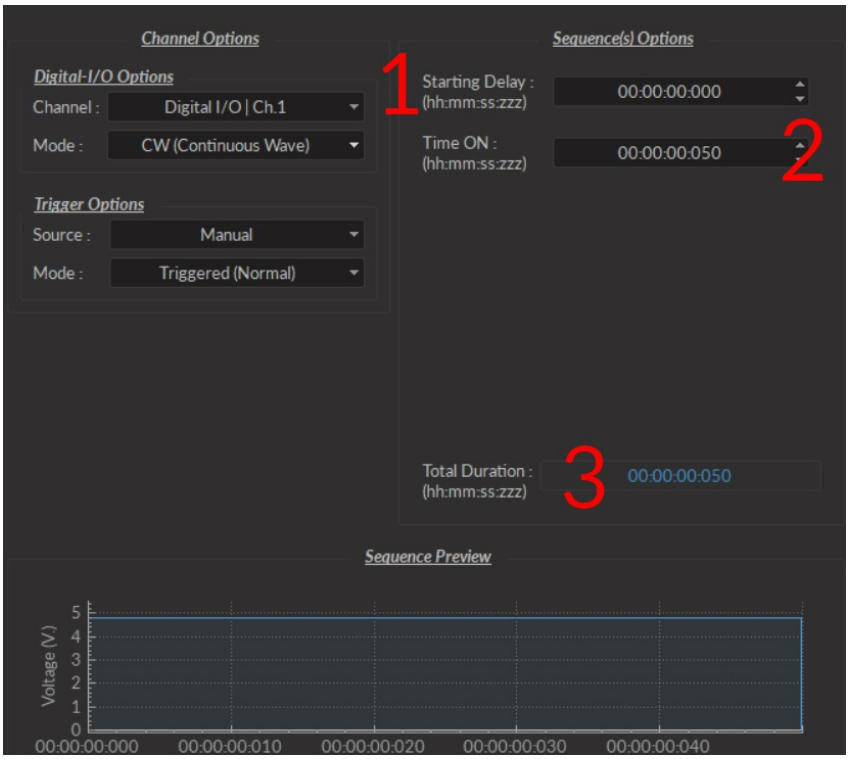


Figure 3.17 : *Fenêtre de configuration des canaux, E/S numériques CW*

- Le mode de canal **CW (onde continue)** (fig. 3.17) permet de créer une séquence d'impulsions TTL continue. Les éléments suivants apparaissent dans la zone « **Options de séquence** ».

    1. Le « **Délai de démarrage** » définit le temps qui s'écoule entre l'activation de la séquence d'impulsions et le début du signal.
    2. La **durée d'activation** définit la durée pendant laquelle le signal continu est actif. Si la durée choisie est 0, le signal se poursuivra jusqu'à ce que la séquence d'impulsions soit arrêtée manuellement.
    3. La **« Durée totale** » indique la durée totale prévue de la séquence d'impulsions. Si la durée est infinie, la boîte affichera ∞. En cas d'erreur dans la sélection des paramètres, cette boîte affichera **N/A**.

- Le mode de canal **« Square »** (Fig. 3.18) permet de créer une séquence d'impulsions TTL carrées. Il inclut toutes les options de séquence du mode **CW**, avec les ajouts suivants.

    1. La **fréquence** définit la fréquence (en Hz), qui correspond au nombre d'impulsions par seconde. La fréquence peut également être convertie en **période**. Par exemple, un signal à 10 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 100 ms (période), tandis qu'un signal à 0,5 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 2 secondes (période).
    2. Le « **Temps d'activation »** définit la durée d'une impulsion unique. Ce temps peut également être converti en « **rapport cyclique** », qui indique le pourcentage de la période correspondant à la durée de l'impulsion.
    3. Le paramètre **« Impulsions par séquence »** définit le nombre d'impulsions par séquence. S'il est réglé sur 0, le nombre d'impulsions sera infini.
    4. Le **« nombre de séquences »** définit le nombre de fois où la séquence sera répétée.
    5. Le « **Délai entre les séquences »** définit le délai entre chaque séquence.

- Le mode **d'entrée** (Fig. 3.16) reçoit un signal qui est converti en 0 (**désactivé**) ou en 1 (**activé**). Le canal peut alors servir de source de déclenchement pour tous les autres canaux de la console. Aucune **option de séquence** ni aucun **aperçu de séquence** n'est disponible pour ce mode.

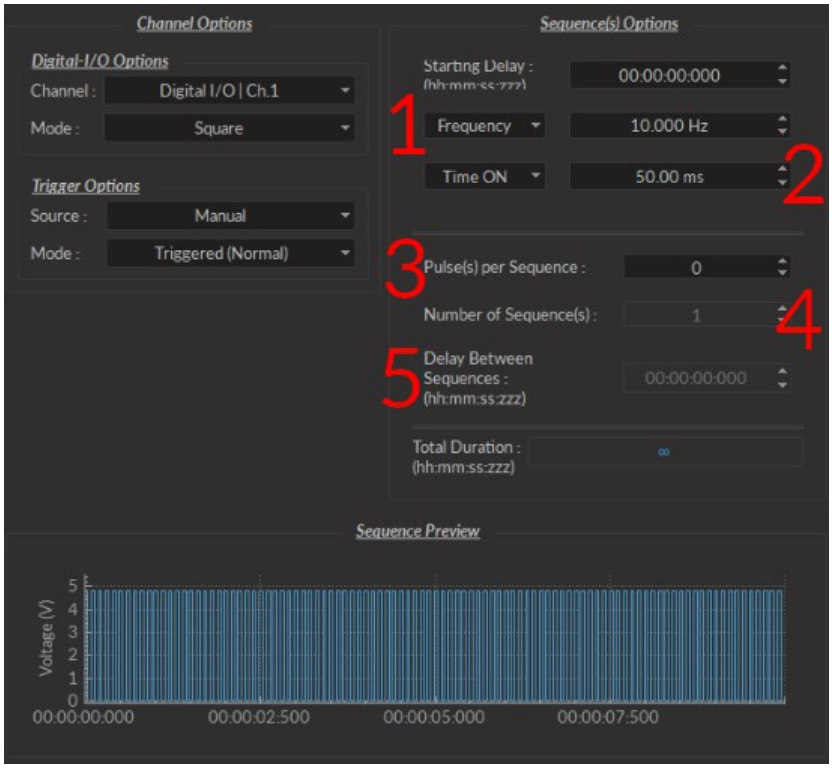


Figure 3.18 : *Fenêtre de configuration des canaux, bloc E/S numériques*

Sortie analogique



Figure 3.19 : *Fenêtre de configuration des canaux, sortie analogique CW*

Le type de canal « **Sortie analogique** » génère des séquences d'impulsions analogiques. Chaque canal numéroté correspond au canal analogique portant le même numéro sur la console. Les séquences d'impulsions présentent des paramètres différents selon le **mode** du canal, qui peut être « **Continu »**, « **Carré** » ou « **Sinusoïdal** ». La fenêtre **de configuration des canaux** contient les éléments suivants pour un canal analogique.

- Le mode de canal **CW (onde continue)** (fig. 3.19) permet de créer un signal analogique continu. Les éléments suivants apparaissent dans la zone **Options de séquence**.

    1. **Le délai de démarrage** (Fig. 3.19) définit le temps qui s'écoule entre l'activation de la séquence d'impulsions et le début du signal.
    2. Le paramètre **« Time ON** » (fig. 3.19) définit la durée pendant laquelle le signal continu reste actif. Si la durée choisie est égale à 0, le signal se maintiendra jusqu'à ce que la séquence d'impulsions soit arrêtée manuellement.
    3. **La tension** (fig. 3.19) définit la tension du signal continu, en volts. Le signal ne peut pas dépasser ±4,75 V.
    4. La **« Durée totale** » (fig. 3.19) indique la durée totale prévue de la séquence d'impulsions. Si la durée est infinie, la case affichera ∞. En cas d'erreur dans la sélection des paramètres, cette case affichera **N/A**.

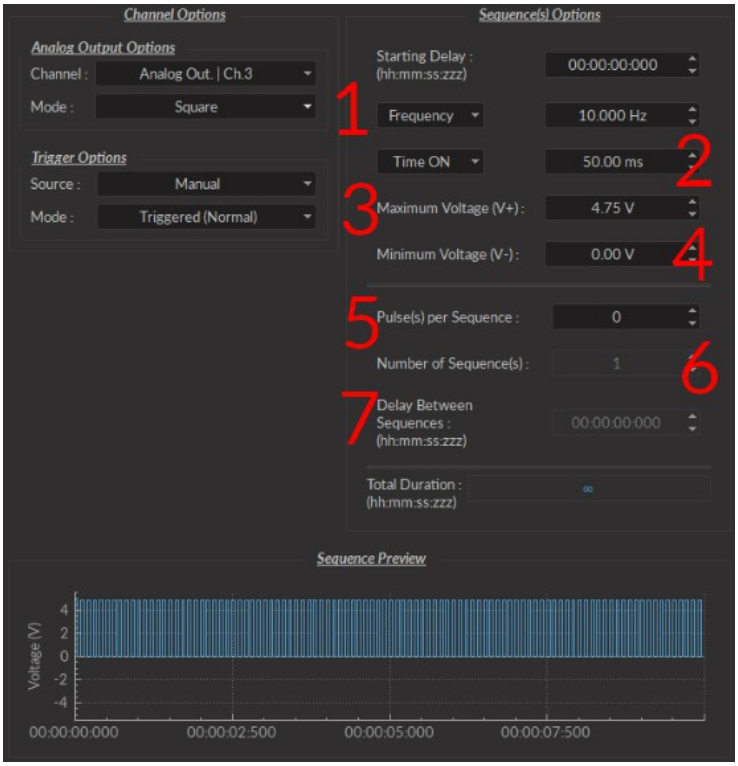


Figure 3.20 : *Fenêtre de configuration des canaux, sortie analogique carrée*

- Le mode de canal **« Carré »** (fig. 3.20) génère une séquence d'impulsions dont le niveau minimal est à **V-** et le niveau maximal à **V+**. Ce mode inclut toutes les options de séquence du mode **CW**, avec les ajouts suivants.

    1. La **fréquence** (fig. 3.20) définit la fréquence (en Hz), qui correspond au nombre d'impulsions par seconde. La fréquence peut également être exprimée en **période**. Par exemple, un signal à 10 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 100 ms (période), tandis qu'un signal à 0,5 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 2 secondes (période).
    2. Le **temps d'activation** (fig. 3.20) définit la durée d'une impulsion. Ce temps peut également être converti en rapport **cyclique**, qui indique le pourcentage de la période correspondant à la durée de l'impulsion.
    3. **La tension maximale (V+)** (fig. 3.20) définit la tension maximale de chaque impulsion, en volts. Le signal ne peut pas dépasser +4,75 V.
    4. **La tension minimale (V-)** (fig. 3.20) définit la tension minimale de chaque impulsion, en volts. Le signal ne peut pas dépasser -4,75 V.
    5. Le paramètre « **Impulsion(s) par séquence** » (fig. 3.20) définit le nombre d'impulsions par séquence. S'il est réglé sur 0, le nombre d'impulsions sera infini.
    6. Le **« Nombre de séquences** » (fig. 3.20) définit le nombre de fois où la séquence sera répétée.
    7. Le « **Délai entre les séquences** » (Fig. 3.20) définit le délai entre chaque séquence.

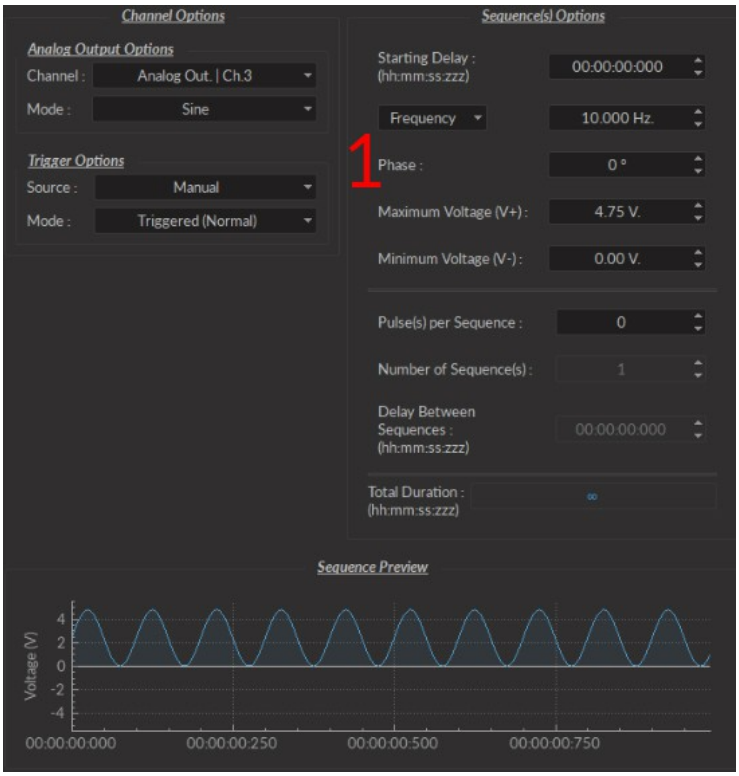


Figure 3.21 : *Fenêtre de configuration des canaux, sortie analogique sinusoïdale*

- Le mode **« Sinusoïdal »** (fig. 3.21) génère une séquence d'impulsions sinusoïdales dont les crêtes correspondent à **V+** et **V**-. Il inclut toutes les options de séquence disponibles dans les modes **« CW »** et **« Carré »**, à l'exception des suivantes.

  – L'option **« Temps d'activation** » est remplacée par l'option **« Phase »** (fig. 3.21). Cela permet de choisir la phase de l'onde sinusoïdale, en degrés.

Entrée analogique

Les canaux **d'entrée analogiques** (fig. 3.22) effectuent l'acquisition à partir des ports de connexion BNC **d'entrée analogique**. Pour ces canaux, **les options de séquence** sont remplacées par **des options globales** relatives à l'acquisition des données. Ces **options globales** s'appliquent à tous les canaux **d'entrée analogiques**. Elles utilisent différents **modes de canal** propres aux canaux **d'entrée analogiques**.

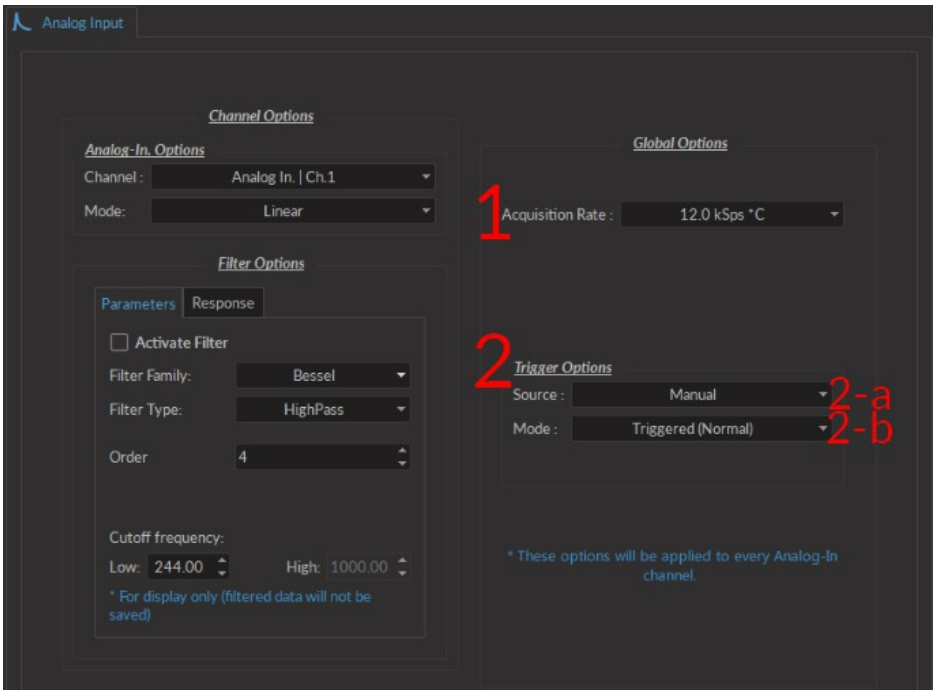


Figure 3.22 : *Fenêtre de configuration des canaux, entrée analogique linéaire*

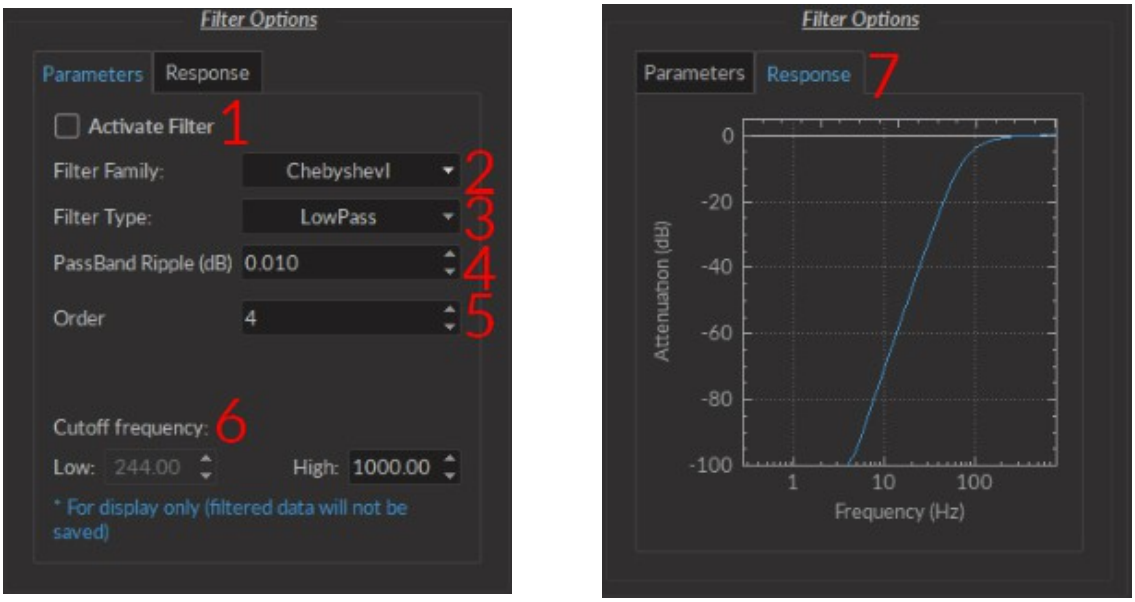
Deux **options globales** sont disponibles pour tous **les modes d'entrée analogique**.

1. **La fréquence d'acquisition** (Fig. 3.22) est mesurée en kiloéchantillons par seconde. Une fréquence de 1 kSps permettra d'acquérir 1 000 échantillons par seconde par canal. Lors d'une acquisition, un volume maximal de 3,6 * fréquence [en kSps] Mo/min de données est généré.
2. **Les options de déclenchement** définissent la source et le mode de déclenchement.
    a) **La source de déclenchement** est **soit « Manuel »,** soit un canal **d'E/S numérique**.
    b) **Le mode de déclenchement** est soit « **Déclenché »,** soit « **Par porte** ». Le mode « **Par porte »** n'est disponible que lorsque la source de déclenchement n'est pas « **Manuel** ».

Chaque **mode d'entrée analogique** dispose d'un ensemble spécifique de paramètres. Le fonctionnement de chaque **mode** est décrit ici.

- Le mode de canal **linéaire** (fig. 3.22) permet la mesure directe du signal reçu par un canal. Le mode linéaire offre l'option d'un filtre de fréquence, accessible dans la boîte **de dialogue « Options de filtre** ».

    1. Lorsque la case **« Activer le filtre »** est cochée, le filtre défini est appliqué à toutes les données d'entrée et affiché sur une nouvelle courbe. Les données filtrées sont présentées à titre indicatif uniquement et ne seront pas sauvegardées.
    2. La liste déroulante « **Famille de filtres** » sert à choisir le type de filtre. Elle comprend les filtres **de Bessel, de Butterworth** et **de Tchebychev (I et I)**.
    3. La liste déroulante « **Type de filtre** » permet de choisir un type de filtre parmi les filtres **passe-haut**, **passe-bas**, **passe-bande** et **coupe-bande**.
    4. La case « **Ondulations** » n'est disponible que pour les filtres **de Tchebychev**. L'ondulation (soit dans la bande passante, soit dans la bande d'arrêt) définit les ondulations acceptables de la réponse du filtre. Plus les ondulations sont élevées, plus la réponse du filtre est nette.
    5. Le sélecteur **« Ordre »** est lié à la netteté du filtre; un ordre plus élevé donnera un filtre plus net.
    6. Les champs « **Fréquence de coupure** » servent à définir les valeurs de coupure basse et haute du filtre, selon le type utilisé. La fréquence de coupure doit être inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage.



(a) *Onglet « Filtre »*

(b) *Onglet Réponse*

Figure 3.23 : *Options du filtre en mode linéaire*

7. **L'onglet Réponse** affiche la réponse du filtre (atténuation) en fonction de la fréquence.

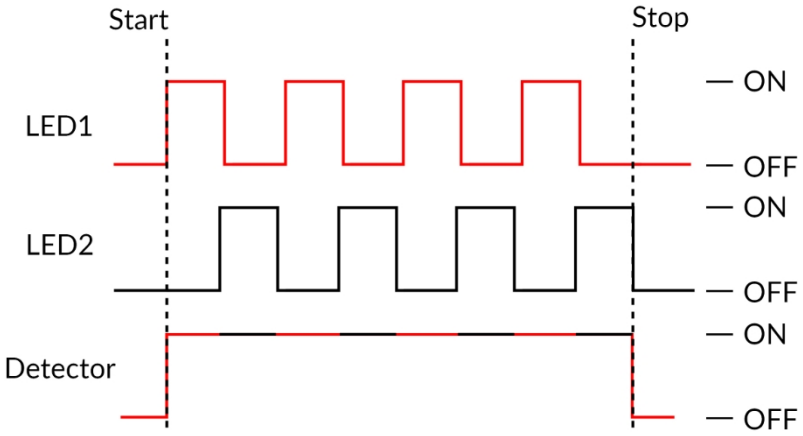


Figure 3.24 : *Diagramme de synchronisation de l'acquisition entrelacée*

- Le mode de canal **entrelacé** permet à deux canaux d'émettre un signal pulsé alterné de phase opposée pour deux sources lumineuses distinctes. Chaque source peut exciter un fluorophore différent, ce qui permet de détecter deux signaux de fluorescence distincts provenant du même échantillon à l'aide d'un seul canal (fig. 3.24). Une procédure plus détaillée concernant l'utilisation de cette modalité est présentée à la section 3.2.4.

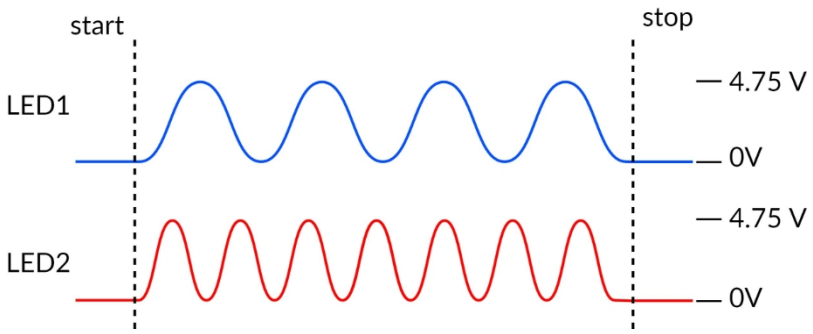


Figure 3.25 : *Diagramme de synchronisation de l'acquisition en mode « Lock-in »*

- En mode « **Lock-In** », l'entrée n'enregistre que les signaux à une fréquence de référence donnée, filtrés par un filtre passe-bas. Cela permet de détecter plusieurs signaux différents si chacun d'entre eux est à sa propre fréquence de référence (fig. 3.25). Une procédure plus détaillée pour l'utilisation de cette modalité est présentée à la section 3.2.5.

3.2.2 Onglets « Contrôle » et « Paramètres »

Les trois **onglets « Contrôle et paramètres »** servent à gérer les différentes parties du logiciel. Il existe trois onglets : « **Acquisition** », « **Configuration** » et « **Affichage** ».

Onglet « Acquisition »

L'onglet **« Acquisition »** permet d'activer les séquences d'impulsions et d'enregistrement. Trois boutons — « **En direct** », « **Enregistrer** » et « **Série chronologique »** — servent à l'activation et ne fonctionneront pas si aucun canal n'est configuré. Cela inclut l'enregistrement des données accumulées par ces séquences d'impulsions.

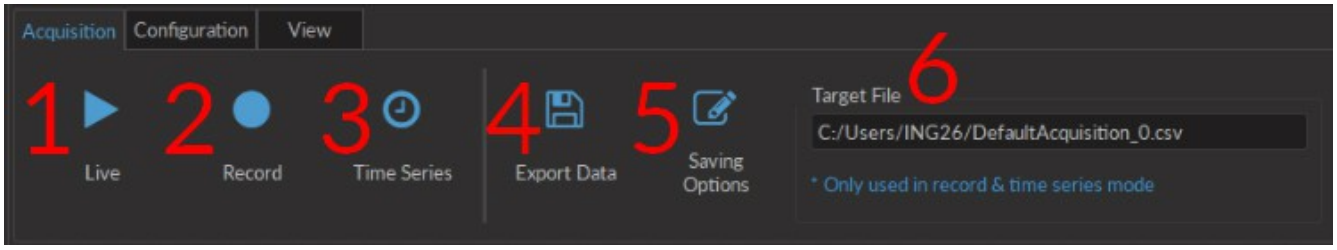


Figure 3.26 : *Onglet « Acquisition »*

1. Le bouton **« En direct »** (fig. 3.26) active tous les canaux préparés. Ce mode n'enregistre pas automatiquement les données, ne conservant en mémoire que les 700 000 points de données les plus récents. Ce mode n'est pas recommandé pour les séquences de mesure longues ou critiques.

2. Le bouton **« Record »** (fig. 3.26) active tous les canaux préparés tout en sauvegardant périodiquement les données enregistrées sur le disque. Ce mode est recommandé pour les longues séquences de mesure.

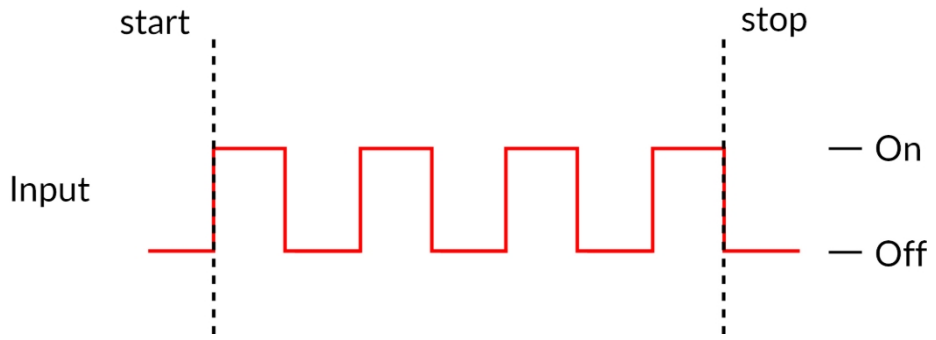


Figure 3.27 : *Diagramme de synchronisation de l'acquisition de séries chronologiques*

3. Le bouton **« Série chronologique »** (fig. 3.26) ouvre la **fenêtre « Série chronologique »** (fig. 3.28). Cette fenêtre permet d'organiser l'activation temporisée à l'aide des paramètres suivants. Chaque séquence **de série chronologique** est automatiquement enregistrée dans le même fichier .csv défini dans **les options d'enregistrement**.

   - La zone **« Paramètres »** contient les paramètres de la série.
     - Le « **Nombre de séries** » définit le nombre de fois où la série est répétée.
     - **La durée d'activation** définit la durée de la série.
     - L'« **Intervalle entre les séries** » définit le temps qui s'écoule entre chaque série, si le « **Nombre de séries »** est supérieur à 1.
     - La « **Durée totale »** affiche la durée totale de toutes les séries.
   - La zone **« Progression »** comprend la **barre de progression**, qui indique la progression de la série (en %), tandis que le compteur « **Temps écoulé »** indique la progression de la série.

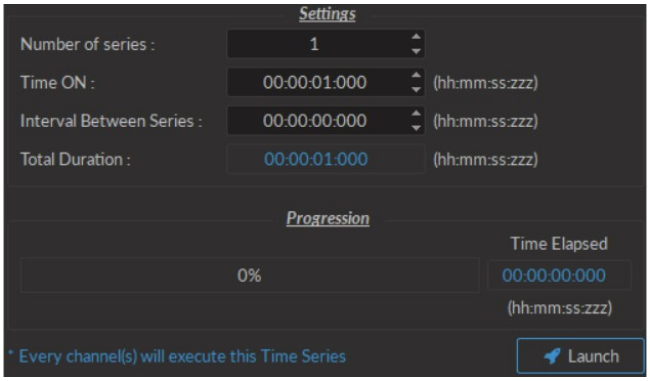


Figure 3.28 : *Fenêtre « Série temporelle »*

- Le bouton **« Lancer »** démarre la série. Tant que la série est active, il est impossible d'ajouter des canaux ou de modifier la configuration, bien que les paramètres **d'affichage** puissent être modifiés.

4. Le bouton **« Exporter les données »** (fig. 3.26) exporte toutes les données de la **vue « Acquisition »** dans un fichier .csv. C'est la seule façon d'exporter les données obtenues à l'aide du mode d'acquisition **en temps réel**.

5. Le bouton **« Options d'enregistrement »** (fig. 3.26) ouvre la fenêtre « **Menu d'enregistrement** » (fig. 3.29).

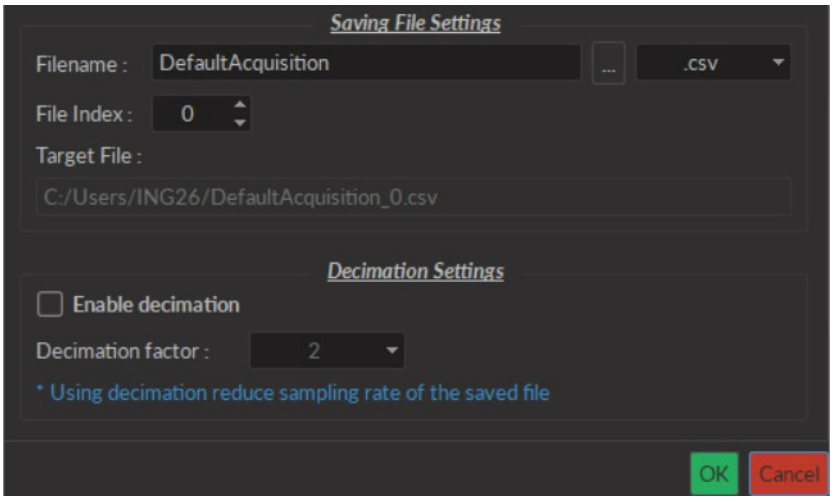


Figure 3.29 : *Fenêtre du menu d'enregistrement*

- La zone **« Paramètres d'enregistrement du fichier »** sert à définir comment et où le fichier est enregistré. Le nom provient de la zone **« Nom de fichier »**, tandis que l'emplacement d'enregistrement peut être choisi en cliquant sur le bouton « **...** ». La zone **« Index du fichier »** sert à définir le numéro d'indexation actuel utilisé pour les fichiers multiples enregistrés au cours d'une même séance de mesure. Toutes ces informations sont résumées dans la zone « **Fichier cible** ».
- **Les paramètres de décimation** permettent de réduire la taille des fichiers. Cette méthode conserve les points moyennés sur un nombre de points de données égal au **facteur de décimation**[1]. Lorsque la case à cocher **« Activer la décimation »** est sélectionnée, la zone **« Facteur de décimation »** sert à définir le nombre de points moyennés.

6. La zone « **Fichier cible** » (Fig. 3.26) affiche l'emplacement d'enregistrement et le nom utilisés pour les fichiers obtenus à l'aide de **la fonction « Enregistrer** ».

Onglet « Configuration »

L'onglet **« Configuration »** sert à configurer les canaux utilisés, ainsi qu'à enregistrer et à charger la configuration du logiciel de la console.

[1] Pour un ensemble de données de 10 points, enregistré avec un **facteur** de **décimation** de 2, les deux premiers points (1, 2) seront moyennés, puis les deux points suivants (3, 4)... Cela produit un fichier contenant 5 points de données

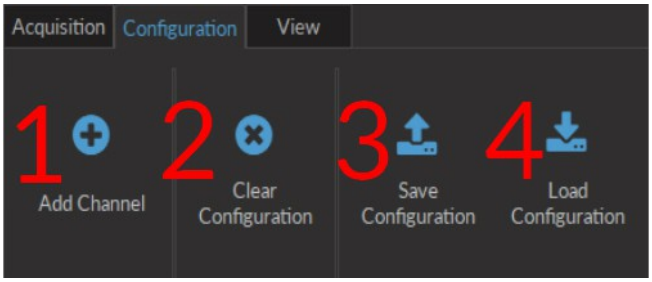


Figure 3.30 : *Onglet « Configuration »*

1. Le bouton **« Ajouter un canal »** (fig. 3.30) ouvre la fenêtre **de configuration des canaux**. Cette fenêtre est décrite en détail à la section 3.2.1.
2. Le bouton **« Effacer la configuration »** (fig. 3.30) réinitialise la vue d'acquisition et tous les autres paramètres définis. Toute configuration déjà définie sera perdue.
3. Le bouton **« Enregistrer la configuration »** (fig. 3.30) permet d'enregistrer une configuration de console au format **.doric**. Ce fichier ne conservera que la configuration de chaque canal actuel.
4. Le bouton **« Charger la configuration »** (fig. 3.30) permet de charger une configuration de console au format **.doric**.

Onglet « Affichage »

L'onglet « Affichage » (Fig. 3.31) sert à modifier la présentation des graphiques dans la **vue d'acquisition**.



Figure 3.31 : *Onglet Affichage*

1. Le bouton **« Défilement automatique »** (Fig. 3.31), lorsqu'on clique dessus, fait défiler les graphiques à mesure que de nouvelles données apparaissent. La durée (en secondes) pendant laquelle les données restent affichées est définie dans la zone située à côté du bouton.
2. Le bouton **« Réinitialiser le zoom »** (Fig. 3.31) règle le zoom du graphique sur une valeur prédéfinie. Cette valeur est définie à l'aide du **menu « Zoom »** (Fig. 3.32), accessible via le bouton **en forme d'engrenage**.

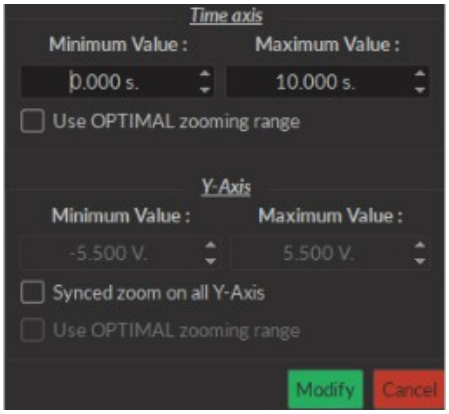


Figure 3.32 : *Fenêtre du menu « Zoom »*

- La zone « **Axe du temps** » sert à définir les valeurs minimales et maximales de l'axe horizontal. Si la case « **Utiliser la plage de zoom OP-TIMAL »** est cochée, ces valeurs seront définies de manière à afficher toutes les données actuellement en mémoire.
- La zone « **Axe Y** » sert à définir les valeurs minimale et maximale de l'axe vertical. Si la case **« Zoom synchronisé sur tous les axes Y** » est cochée, ces valeurs peuvent être modifiées. Cela permet uniquement de modifier les axes **de tension**, en leur attribuant la même valeur à tous. L'option **« Utiliser la plage de zoom OPTIMAL** » réglera les axes sur une valeur permettant d'afficher tous les points de données en mémoire.
- Le bouton « **Modifier »** appliquera toutes les modifications apportées aux valeurs des axes. Le bouton « **Annuler »** annule toutes les modifications.

3. Le bouton **« Afficher la légende** » (Fig. 3.31) ouvre la fenêtre **« Légende »** (Fig. 3.33). Cette fenêtre affiche chaque **canal** configuré, ainsi que son **nom**, son **mode de canal**, **son mode de déclenchement** et **sa source de déclenchement**, le cas échéant. Cliquer sur ce bouton alors qu'une fenêtre est ouverte fermera celle-ci.

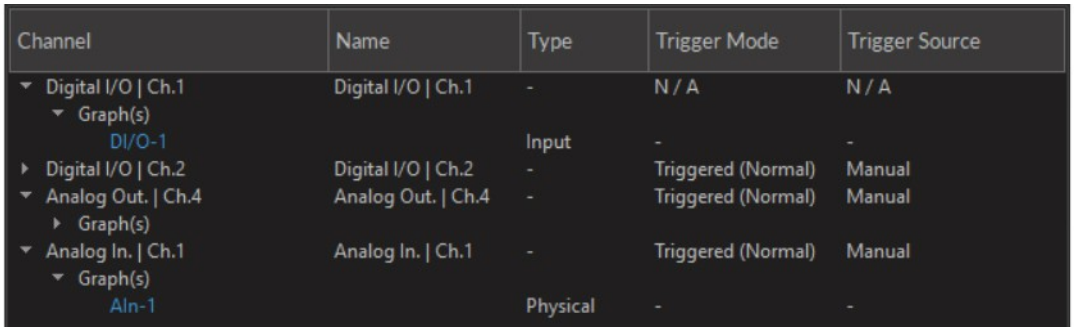


Figure 3.33 : *Fenêtre « Légende »*

4. Le bouton **« Afficher les notes** » (Fig. 3.31) ouvre la fenêtre **« Visionneuse de notes** » (Fig. 3.34). Si vous cliquez sur ce bouton alors qu'une fenêtre est ouverte, celle-ci se fermera.

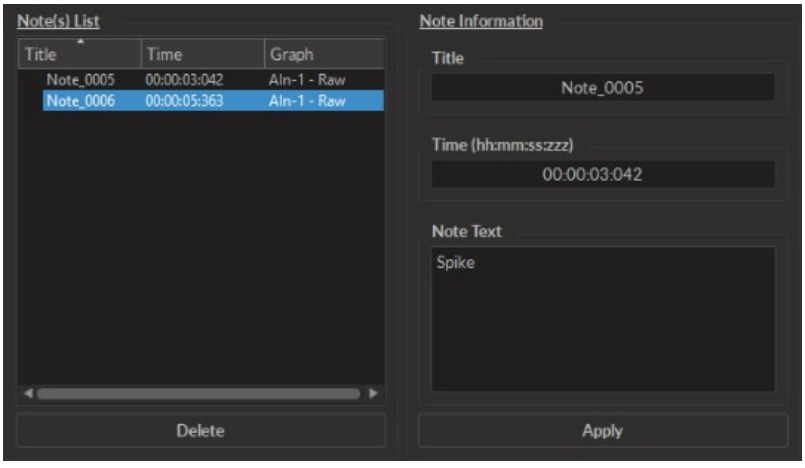


Figure 3.34 : *Fenêtre « Visualiseur de notes »*

- **La liste des notes** affiche le **titre**, **l'heure** et **le graphique** sur lequel une note est marquée. Cliquer sur le bouton **« Supprimer »** supprimera toute note sélectionnée dans la liste.
- La zone **d'information sur la note** affiche les détails de la note sélectionnée dans la **liste des notes**. Le **titre**, **l'heure** et **le texte de la note** peuvent être modifiés. Le bouton **« Appliquer »** applique ces modifications au graphique.

3.2.3 Vue d'acquisition

La zone **« Vue d'acquisition »** affiche toutes les informations concernant les canaux actifs. Chaque canal sélectionné à l'aide de la fonction **« Ajouter un canal »** s'affiche dans cette fenêtre, occupant une zone rectangulaire.

Chaque **boîte de canal** affiche les éléments de base suivants, ainsi que des éléments supplémentaires disponibles pour certains types de canaux.

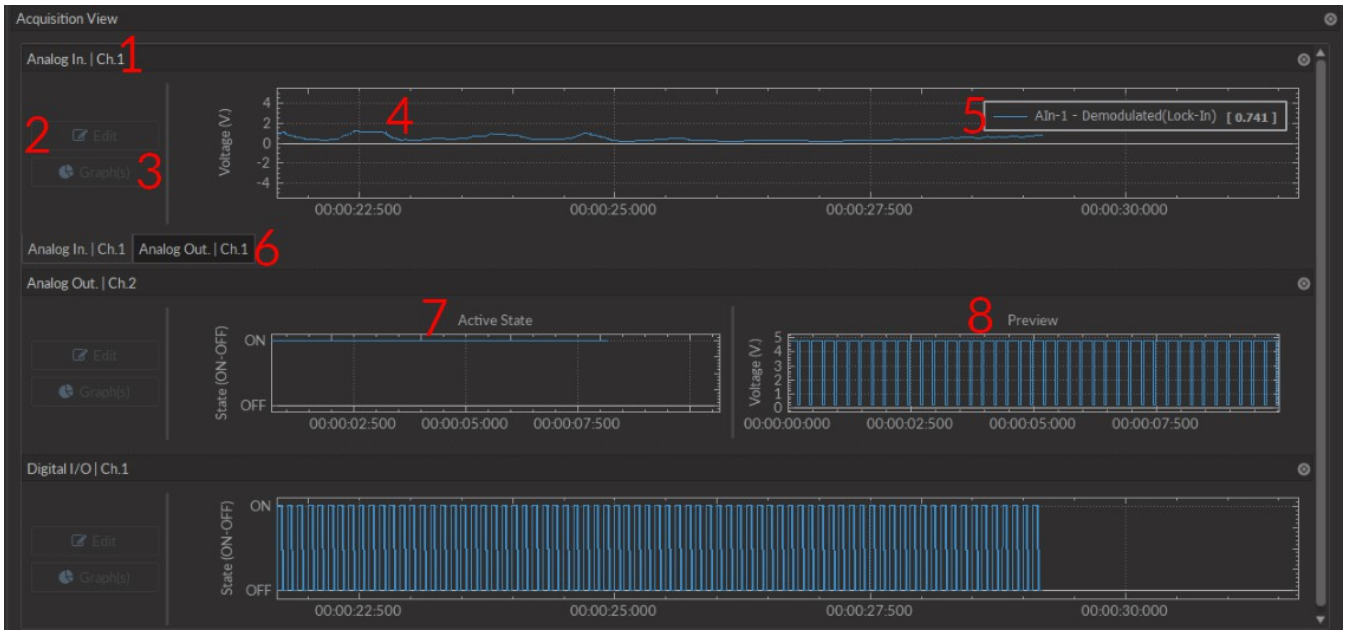


Figure 3.35 : *Boîte de dialogue « Vue d'acquisition »*

1. **Le nom du canal** se trouve en haut à gauche de la **boîte « Canal »** (fig. 3.35); il identifie le type de canal et son numéro, qui correspond à celui de la console. Ce nom peut être modifié dans la fenêtre « **Options du graphique** ».

2. Le bouton **« Modifier »** (fig. 3.35) permet de modifier les paramètres du canal en ouvrant les fenêtres de configuration du canal. Pour plus d'informations, voir la section 3.2.1.

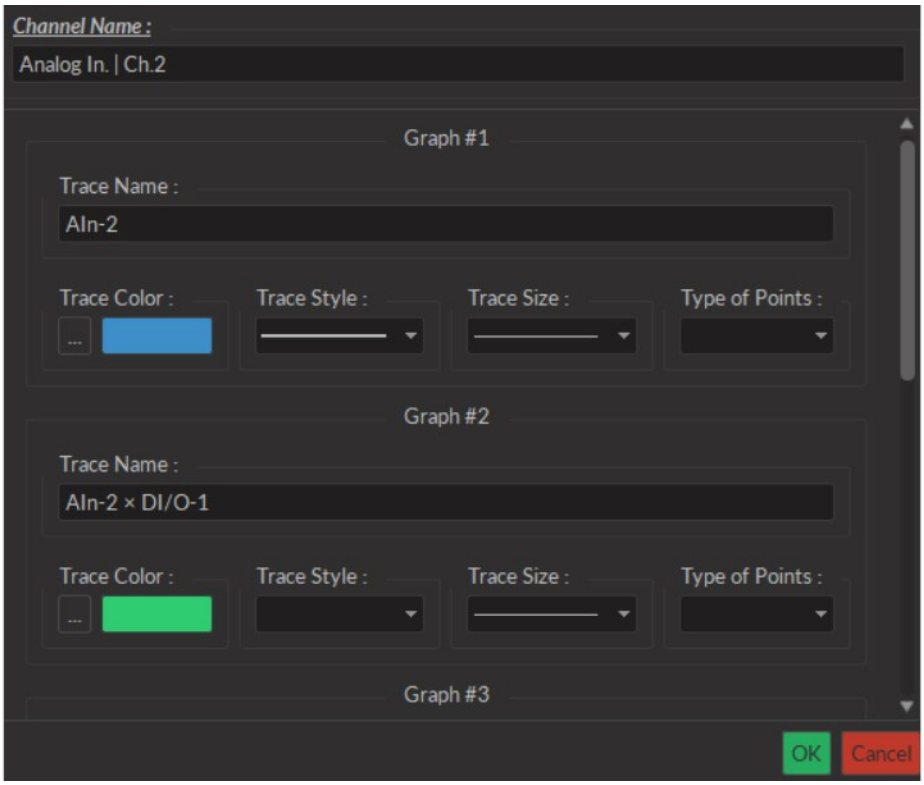


Figure 3.36 : *Fenêtre Graphiques*

3. Le bouton **Graphique(s)** (Fig. 3.35) ouvre la fenêtre **Options du graphique**.

- **Le nom de la courbe** (fig. 3.36) est indiqué en haut à gauche.
- La case « **Trace n° X** » (fig. 3.36) (où **X** correspond au numéro de la courbe) présente les options d'affichage disponibles pour une courbe donnée sur le graphique. Une case de courbe apparaît pour chaque courbe du graphique.
  - La zone « **Nom de la courbe** » contient un nom par défaut généré par le logiciel. Ce nom peut être modifié ici.
  - Le bouton **« Couleur de la courbe** » (**...**) ouvre la fenêtre **« Sélection des couleurs** » (Fig. 3.37), qui permet de choisir la couleur d'une courbe parmi une vaste palette. L'option **« Choisir une couleur à l'écran »** de cette fenêtre permet de sélectionner n'importe quelle couleur affichée sur l'écran de l'ordinateur.

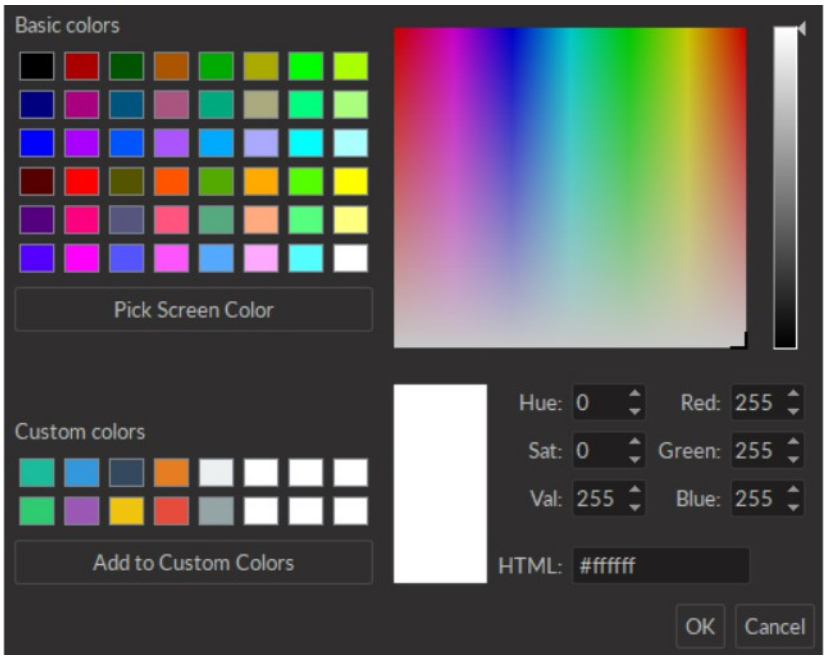


Figure 3.37 : *Fenêtre de sélection des couleurs*

  - La liste déroulante **« Style de trace** » permet de choisir le type de trace, allant des lignes pleines aux lignes pointillées. Si le style choisi est « vide », la trace ne s'affichera pas.
  - La liste déroulante « **Taille de la courbe** » permet de choisir la taille de la courbe. L'utilisation d'une **taille de courbe** supérieure à celle par défaut peut entraîner un ralentissement de l'affichage et une baisse des performances.
  - La liste déroulante « **Type de points** » permet de choisir le type de point utilisé pour indiquer les points de données sur la courbe. L'utilisation de types de points différents de celui par défaut (aucun) peut entraîner un ralentissement de l'affichage et une baisse des performances.

4. La zone **« Graphique** » (Fig. 3.35) affiche le graphique d'un canal, avec **la tension** ou **l'état** sur l'axe vertical et **le temps** sur l'axe horizontal. Un double-clic sur l'un ou l'autre des axes ouvre une fenêtre **« Modifier la plage de l'axe »** qui permet de modifier les limites de l'axe, comme dans le **menu « Zoom** ». Toute modification apportée à l'axe horizontal modifie les limites de l'axe pour chaque canal.

5. La zone « **Valeurs instantanées** » (fig. 3.35) peut être activée en cliquant avec le bouton droit de la souris sur la zone « **Graphique d'entrée »** et en sélectionnant « **Afficher les valeurs instantanées** ». Cette zone affiche la valeur actuelle détectée par la console pour chaque trace du canal sélectionné. Elle ne peut pas être activée sur **les graphiques de prévisualisation**.

6. **Les onglets « Canal »** (Fig. 3.35) apparaissent dans certains modes d'entrée (tels que **« Entrelacé »** et **« Lock-in »**) où l'entrée définit automatiquement les valeurs de sortie sur des canaux distincts. Il est possible de créer un **onglet « Canal »** en détachant un canal et en le déplaçant au-dessus d'un autre jusqu'à ce qu'il devienne bleu, puis en le relâchant.

7. Les canaux de sortie analogiques affichent un graphique **d'état « Actif »** (Fig. 3.35). Ce graphique indique si le canal émet un signal (Activé, V/=0) ou non (Désactivé, V=0).

8. Les canaux de sortie affichent un graphique **de prévisualisation** (fig. 3.35), qui donne un aperçu de la séquence d'impulsions.

3.2.4 Mesure entrelacée

La section suivante décrit l'utilisation du mode de mesure **entrelacée** pour les canaux **d'entrée analogiques**. Une fois le mode de canal **entrelacé** sélectionné, la boîte **de dialogue** « **Interlaced/Sequential** » (Fig. 3.38) s'affiche, contenant les paramètres suivants.

1. La liste déroulante **« N° de canal** » permet de choisir les sorties entrelacées. Une fois **le canal n° 1** sélectionné, **le canal n° 2** ne permet de sélectionner que le même type de sortie (analogique ou numérique).

2. La liste déroulante **« Préconfiguration** » permet de choisir une fréquence préconfigurée pour les canaux entrelacés. Les canaux précédemment sélectionnés sont configurés pour fonctionner à la fréquence choisie.

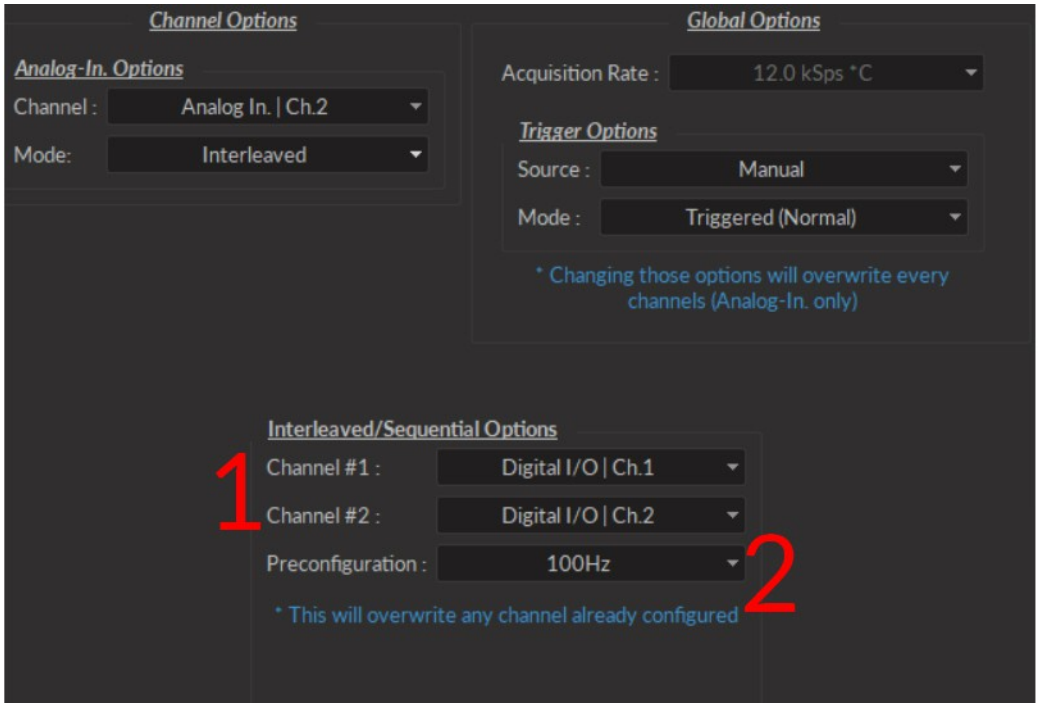


Figure 3.38 : *Configuration des canaux, mode entrelacé pour les entrées analogiques*

Les étapes suivantes décrivent la procédure de base pour utiliser **le mode entrelacé**.

1. Sélectionnez deux canaux dans les listes « **Channels #** ».

2. Sélectionnez une fréquence dans la liste « **Préconfiguration** ».

3. Connectez la *console de photométrie par fibre optique* à au moins deux sources lumineuses différentes à l'aide des sorties préconfigurées pour le mode entrelacé à l'étape précédente. Assurez-vous que le ou les pilotes sont en mode **TTL** (pour les canaux numériques) ou en mode **MOD** (pour les canaux analogiques), et que le pilote est réglé au niveau de courant maximal souhaité (en mA).

4. Connectez le détecteur au(x) canal(aux) d'entrée analogique(s) approprié(s) correspondant à l'entrée.

5. Lancez la mesure à l'aide des boutons « **Play »** ou « **Record »** de l'onglet « **Acquisition** ».

6. Une fois la mesure effectuée, trois courbes sont disponibles dans la **liste « Graphics/Traces** ».

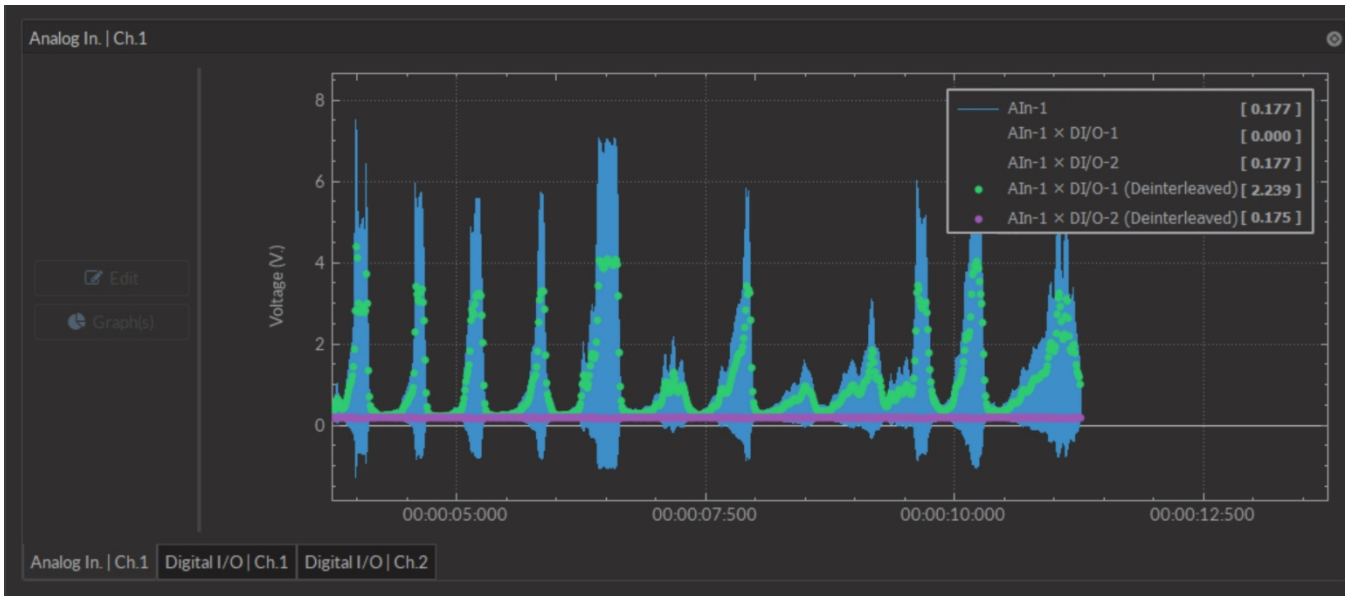


Figure 3.39 : *Vue « Acquisition », courbes en mode entrelacé*

- **Les données brutes** (AIn-1) (fig. 3.38) montrent le signal brut reçu sur le canal d'entrée.
- Les courbes **de données intermédiaires** (AIn-1 x DI/O-1) (fig. 3.38) montrent le signal de fluorescence provoqué par chaque source lumineuse, obtenu en multipliant les signaux de sortie par le signal d'entrée.
- **Les données désentrelacées** (AIn-1 x DI/O-1(moyenne)) (fig. 3.38) montrent le signal moyen de chaque impulsion démodulée. Il en résulte un seul point moyen par impulsion envoyée par les canaux de sortie.

3.2.5 Mesure en mode « Lock-in »

La section suivante décrit l'utilisation du mode **« Lock-in »** pour les canaux **d'entrée analogiques**. Une fois le mode **« Lock-in »** sélectionné pour un canal, la boîte **de dialogue des options « Lock-in »** (Fig. 3.40) s'affiche, contenant les paramètres suivants.

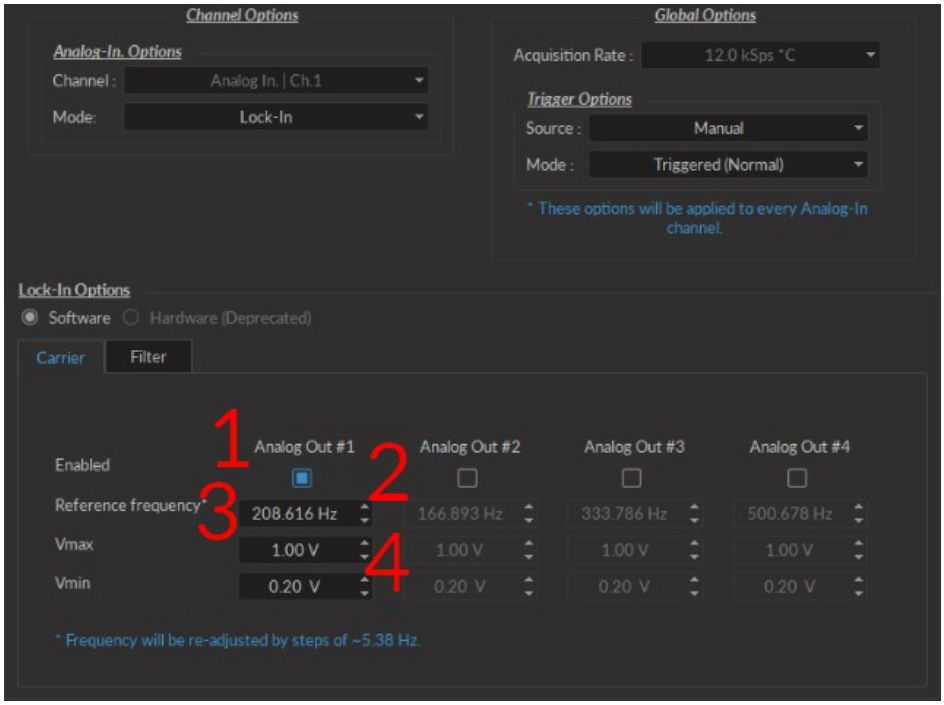


Figure 3.40 : *Configuration des canaux, mode « Lock-in » pour les entrées analogiques, onglet « Carrier »*

1. **La liste des canaux** (fig. 3.40) indique quels canaux sont utilisés pour émettre une fréquence de référence. Plusieurs canaux de sortie peuvent être sélectionnés pour un seul canal d'entrée. Tout canal de sortie déjà configuré par un autre canal d'entrée sera utilisable, mais ne pourra pas être reconfiguré. La configuration de sortie doit être modifiée dans le canal d'entrée initial.

2. Les cases à cocher « **Activé »** servent à sélectionner les canaux de sortie utilisés.

3. **La fréquence de référence** (fig. 3.40) permet de choisir une fréquence de référence. La fréquence de référence ne doit pas être un multiple d'une fréquence de bruit connue (p. ex. 60 Hz), ni un multiple d'une autre fréquence de référence.

4. Les **paramètres Vmax/Vmin** (Fig. 3.40) définissent la tension envoyée de la console à l'appareil. La différence minimale possible est de 0,1 V pour le **LEDD**. La valeur **Vmin** est de 0,1 V pour le *LEDD* et de 0,2 V pour le *LEDRV*.

5. **La fréquence de coupure** (fig. 3.41) (fréquence à laquelle une atténuation de -3 dB se produit), accessible dans l'onglet **Filtre,** est maintenue à 12 Hz pour des résultats de filtrage optimaux.

6. **La réponse du filtre** s'affiche dans l'onglet « **Filtre** ».

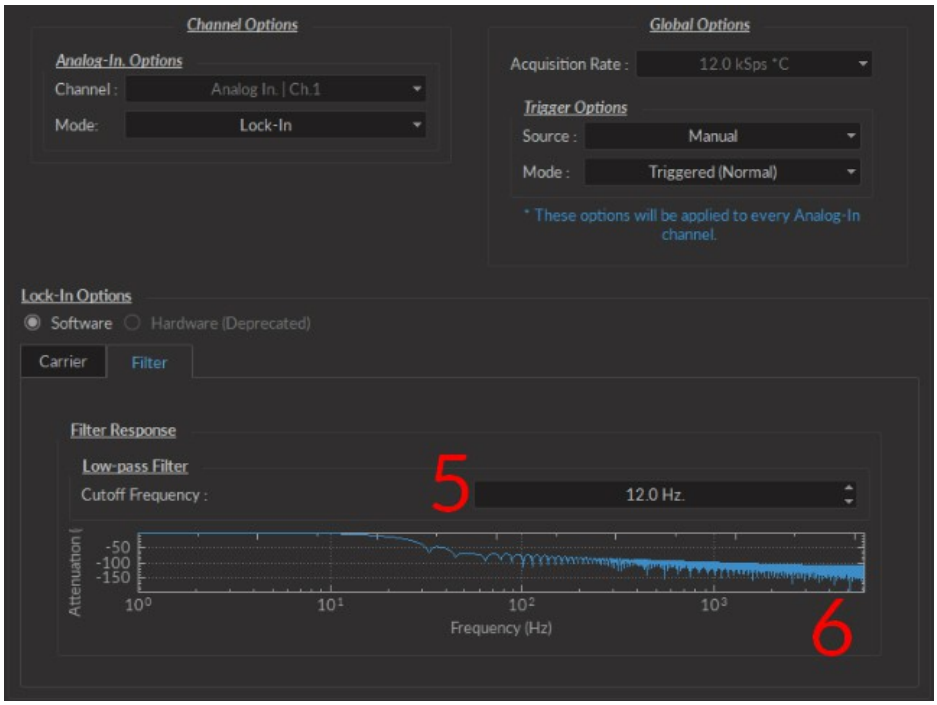


Figure 3.41 : *Configuration des canaux, mode de verrouillage des entrées analogiques, onglet « Filtre »*

3.3 Caméra de suivi du comportement

Notre caméra de suivi du comportement constitue un excellent complément à toute expérience. L'enregistrement vidéo de l'animal fournit des renseignements complémentaires indispensables pour établir une corrélation entre l'activité neuronale d'une région cérébrale spécifique et le comportement de l'animal. L'interface du logiciel (fig. 3.42) offre un cadre permettant la diffusion en continu de vidéos à haute vitesse et des données de contrôle associées sur des réseaux informatiques.

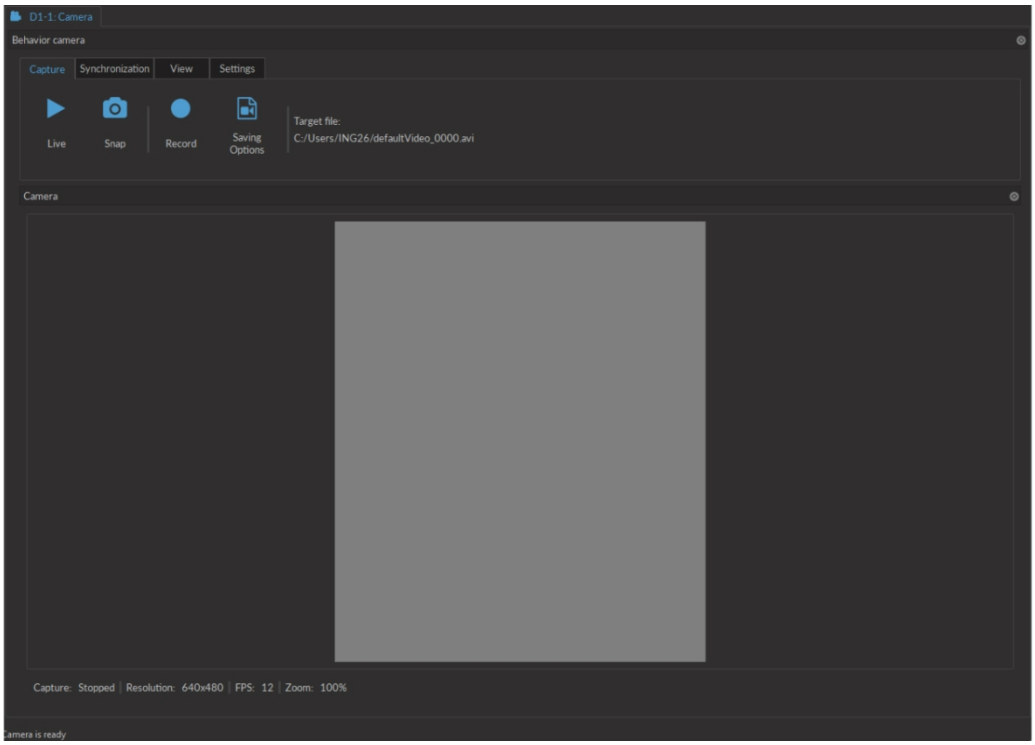


Figure 3.42 : *Module de caméra*

Le flux en direct continu permet de suivre l'état de la caméra. En bas à gauche s'affichent **la résolution** (en X × Y pixels), le nombre d'images par seconde (**FPS**) et **le zoom** (en %). Outre le flux en direct continu, le module comporte quatre onglets permettant la configuration et le contrôle de la caméra.

1. L'onglet **« Capture »** (Fig. 3.43) contient les commandes relatives à la capture et à l'enregistrement d'images et de vidéos.

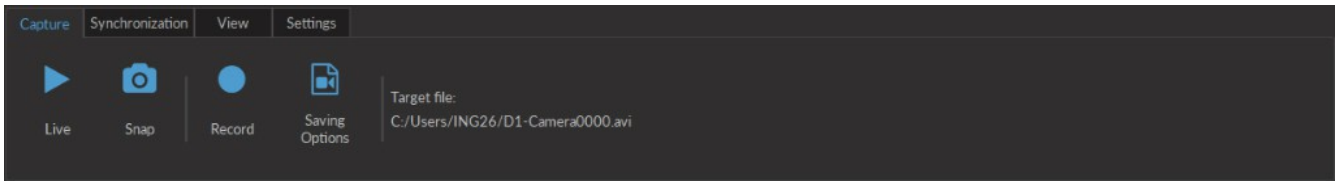
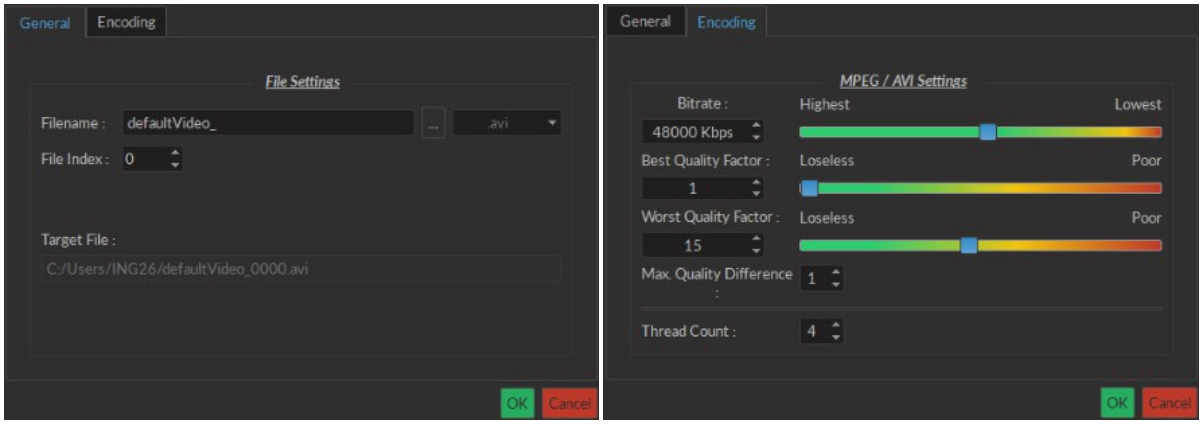


Figure 3.43 : *Module de caméra – Onglet « Capture »*

- Le bouton **« Live »** permet de capturer des images et de les afficher. Ces images sont destinées uniquement à l'affichage et ne peuvent pas être enregistrées.
- Le bouton **« Snap »** enregistre une image dans un fichier défini par l'utilisateur. Le mode en direct doit être actif pour acquérir des images.
- Le bouton **« Enregistrer »** acquiert un flux continu d'images et l'enregistre dans un fichier défini par l'utilisateur sous la forme d'un fichier .AVI.
- Le fichier de destination pour l'enregistrement est défini dans la fenêtre « **Options d'enregistrement »** et s'affiche dans le champ « **Fichier de destination** ».

  a) L'onglet « **Général »** sert à définir les paramètres de base du fichier.

  – Le champ **« Nom de fichier »** sert à définir le nom du fichier vidéo enregistré. Actuellement, toutes les vidéos sont enregistrées au format *.avi*.



(a) *Fenêtre « Options d'enregistrement » – Général* (b) *Fenêtre Options d'enregistrement – Encodage*

Figure 3.44 : *Fenêtre Options d'enregistrement*

- Le bouton **« ... »** sert à définir le répertoire de destination où la vidéo sera enregistrée.
- La zone « **Index de fichier »** sert à choisir l'index qui suit le **nom de fichier**.

b) L'onglet « *Encodage »* sert à choisir la qualité d'encodage de la vidéo. La plupart des paramètres peuvent être modifiés à l'aide de la **zone de texte** ou **du curseur** approprié.

- Le **débit binaire** définit le nombre de bits enregistrés par seconde. Les images plus grandes et de plus haute résolution nécessitent un **débit binaire** plus élevé.
- Les paramètres **« Facteur de qualité optimale »** et **« Facteur de qualité minimale »** servent à définir le niveau de compression de la vidéo enregistrée, un facteur de 1 correspondant à aucune compression et un facteur de 31 à une compression maximale. Le **« Facteur de qualité optimale »** indique les images présentant la compression la plus faible acceptées, tandis que le **« Facteur de qualité minimale »** indique les images présentant la compression la plus élevée acceptées.
- La case « **Différence de qualité maximale** » indique la différence de compression maximale entre deux images vidéo consécutives.
- **Le nombre de threads** définit le nombre de threads de traitement (réels et virtuels) utilisés par le processeur. Le nombre maximal est de 16 threads. L'utilisation d'un plus grand nombre de threads peut offrir une meilleure résolution et un meilleur nombre d'images par seconde (FPS), mais sollicite davantage le processeur.

2. L'onglet **« Synchronisation »** (Fig. 3.45) contient les commandes relatives à la synchronisation avec d'autres appareils Doric. Le logiciel permet le déclenchement synchronisé de l'expérience. Pour synchroniser l'acquisition des images entre la caméra et le microscope, il est important de régler la même fréquence d'images sur les deux appareils (*p. ex.* FPS de la caméra : 20 et temps d'exposition du microscope : 50 ms).

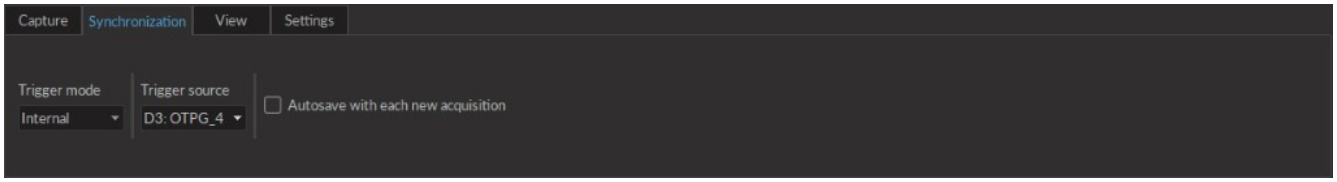


Figure 3.45 : *Module de caméra – Onglet « Synchronisation »*

- La liste déroulante **« Mode de déclenchement »** permet de choisir entre les modes **« Manuel »**, « **Interne** » ou « **Externe** ». En mode **« Manuel »**, les commandes de la caméra sont utilisées pour acquérir les images. En mode **« Interne »**, la caméra suit un signal provenant du programme. En mode **« Externe »**, la caméra suit un signal externe, chaque impulsion correspondant à une image capturée.
- **Le champ « Source de déclenchement »** sert à sélectionner l'appareil maître lorsque le mode de déclenchement « **Interne »** est sélectionné.
- Lorsque **la fonction d'enregistrement automatique** est activée, chaque vidéo lancée par l'acquisition du dispositif maître sera automatiquement enregistrée dans le fichier cible défini dans l'onglet « **Capture** ».

3. L'onglet **Affichage** (Fig. 3.46) permet de modifier le niveau de zoom de la vidéo.

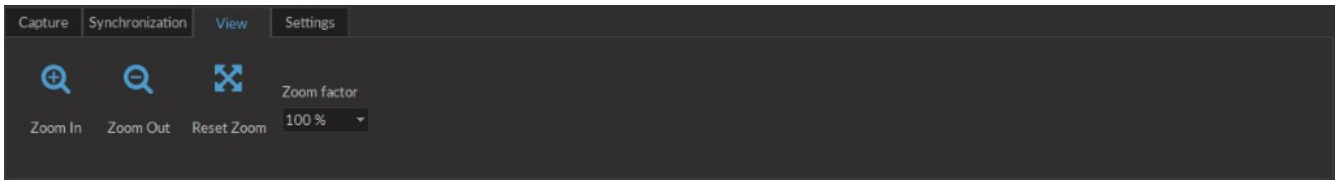


Figure 3.46 : *Module de caméra – Onglet « View »*

- Le bouton « **Zoom avant »** augmente le facteur de zoom pour l'affichage de l'image.
- Le bouton « **Zoom arrière »** diminue le facteur de zoom pour l'affichage de l'image.
- Le bouton « **Réinitialiser le zoom »** réinitialise le facteur de zoom à 100 %.
- Le bouton « **Facteur de zoom »** permet de sélectionner directement le facteur de zoom.

4. L'onglet **« Paramètres** » (fig. 3.47) contient les commandes liées aux fonctions de la caméra.

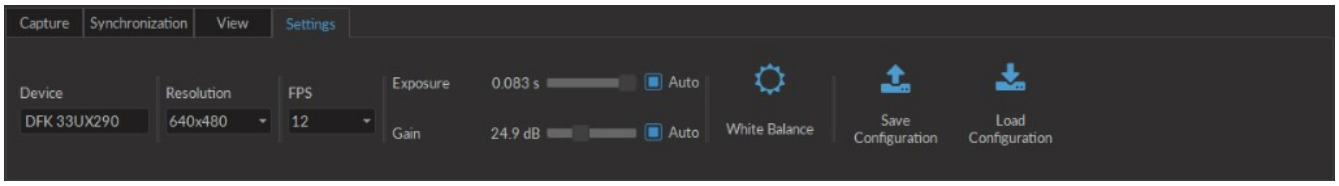


Figure 3.47 : *Module de la caméra – Onglet « Paramètres »*

- Le champ « **Appareil »** affiche le numéro de série de la caméra.
- La liste déroulante « **Résolution** » permet de sélectionner la résolution de la caméra.
- La liste déroulante « **FPS** » permet de sélectionner le nombre d'images par seconde de la caméra. Le nombre d'images par seconde dépend de la résolution.
- Le curseur « **Exposition** (en ms) » permet de régler la durée d'exposition des pixels. Si l'option « **Auto »** est cochée, la durée d'exposition est calculée automatiquement.
- Le curseur « **Gain** (en dB) » permet de régler le gain des pixels. Si l'option « **Auto »** est cochée, le gain est calculé automatiquement.
- Le bouton « **Balance des blancs »** règle automatiquement la balance des blancs pendant 5 secondes.
- Le bouton « **Enregistrer la configuration »** sert à enregistrer la configuration des paramètres au format .doric pour une utilisation ultérieure.
- Le bouton « **Charger la configuration »** sert à charger des configurations de paramètres au format .doric.

3.4 Microscope

Le module « Microscope » de Doric Neuroscience Studio offre une interface permettant de contrôler notre pilote de microscope à fluorescence. Ce module permet l'acquisition d'images et leur exportation dans des fichiers .tif de 16 bits ou au format .doric (basé sur HDF5). Le format TIF peut être facilement lu par n'importe quel logiciel d'imagerie standard. Les fichiers Doric peuvent être lus par le **module d'analyse d'images** de Doric Neuroscience Studio ou à l'aide d'une bibliothèque HDF5. Bien que les images soient enregistrées avec une profondeur de pixel de 16 bits, la profondeur réelle des pixels de l'image est de 10 bits; les valeurs de gris des pixels sont donc comprises entre 0 et 1 020 unités.

Vous trouverez ci-dessous l'interface utilisateur (fig. 3.48) ainsi qu'une description complète de toutes les fonctions.

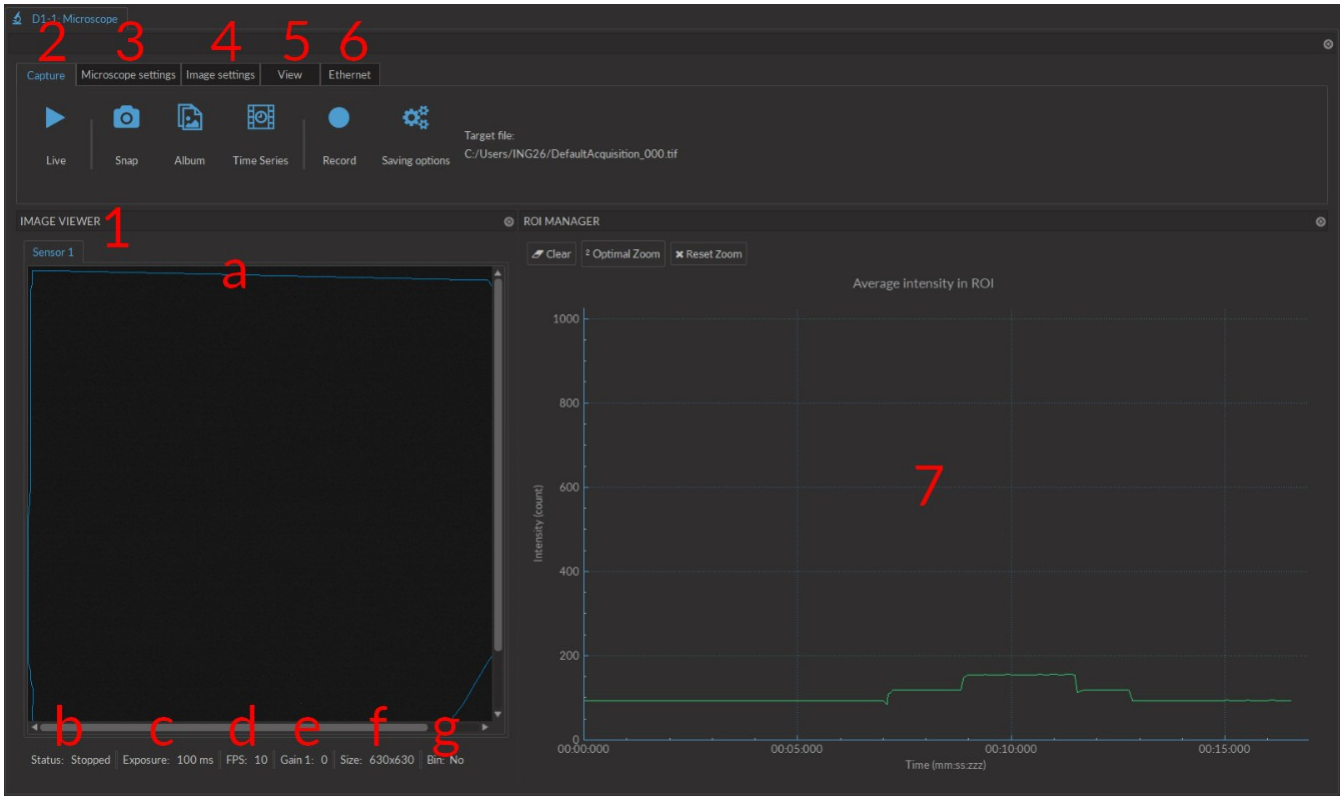


Figure 3.48 : *Interface du module de microscopie*

1. **La zone d'image** (fig. 3.48) affiche les images provenant du microscope et permet de tracer une région d'intérêt (ROI) en cliquant et en faisant glisser la souris sur l'image.

    a) **Les onglets des capteurs** (fig. 3.48) affichent les capteurs disponibles à l'affichage. Pour les microscopes à capteurs multiples, le fait de changer d'onglet vous permet de voir l'image disponible pour chacun d'entre eux.

    b) **L'état** du microscope (fig. 3.48) indique l'état actuel du microscope (en direct/arrêté).

    c) **L'exposition** (en ms) (fig. 3.48) indique la durée d'exposition du capteur du microscope.

    d) Le **FPS** (images par seconde) (fig. 3.48) indique le nombre d'images par seconde captées par le capteur.

    e) Le **gain** (fig. 3.48) indique le gain électrique du capteur.

    f) **La taille** (fig. 3.48) indique la résolution des images du capteur (en pixels × pixels).

    g) L'état **du regroupement** (Fig. 3.48) indique si l'image du capteur fait l'objet d'un regroupement (oui/non).

2. L'onglet **« Capture »** (Fig. 3.48) contient différentes fonctions de capture d'images du microscope.



Figure 3.49 : *Onglet « Capture »*

a) Le bouton **« Live »** (Fig. 3.49), lorsqu'on appuie dessus, affiche les images provenant du microscope. Ces images ne sont pas enregistrées.

b) Le bouton **« Snap »** (Fig. 3.49), lorsqu'on appuie dessus, prend un instantané de l'image actuelle et l'enregistre dans le répertoire demandé sous le nom souhaité (**Options d'enregistrement**) en tant qu'image unique.

c) Le bouton **« Album »** (Fig. 3.49), lorsqu'on appuie dessus, prend un instantané et l'ajoute à une pile d'album. La pile entière peut être enregistrée sous la forme d'une seule pile d'images.

d) Le bouton **« Record »** (Fig. 3.49), lorsqu'on appuie dessus, acquiert un flux continu d'images jusqu'à ce que l'on appuie sur **« Stop »**, puis l'enregistre dans le répertoire demandé sous le nom souhaité (**Options d'enregistrement**) sous la forme d'une pile d'images.

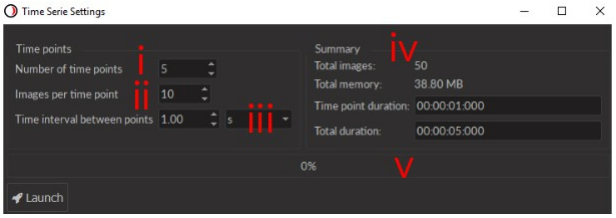


Figure 3.50 : *Fenêtre « Séries chronologiques »*

e) Lorsque vous appuyez sur le bouton **« Série temporelle »** (fig. 3.49), l'interface de série temporelle s'ouvre (fig. 3.50).

i. Le paramètre « **Nombre de points temporels** » (fig. 3.50) définit le nombre d'instants auxquels une série d'images sera enregistrée.

ii. Le paramètre « **Images par point temporel** » (fig. 3.50) définit le nombre d'images prises dans chaque série.

iii. **L'intervalle de temps entre les points** (fig. 3.50), exprimé en ms, s et min, définit la durée entre chaque série d'images. Cette durée a toujours une valeur minimale égale à « **Temps d'exposition × Nombre d'images par point temporel** ».

iv. La zone **de résumé** (fig. 3.50) affiche de nombreuses valeurs liées à la série temporelle, notamment le **nombre total d'images** enregistrées, la **mémoire totale** occupée par la série complète, la **durée de chaque point temporel** et la **durée totale** de la série complète.

v. **La barre de progression** (Fig. 3.50) affiche la progression (en %) de la série temporelle.

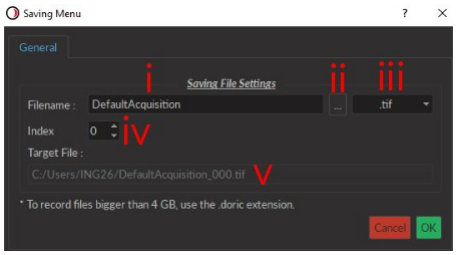


Figure 3.51 : *Fenêtre Options d'enregistrement*

f) Le bouton **Options d'enregistrement** ouvre la **fenêtre Options d'enregistrement**.

i. Le champ **Nom de fichier** (Fig. 3.51) sert à définir le nom du fichier enregistré.

ii. Le bouton **…** (fig. 3.51) ouvre une fenêtre permettant de choisir l'emplacement d'enregistrement du fichier.

iii. Le menu déroulant **Type de fichier** (fig. 3.51) permet de choisir le type de fichier à utiliser pour l'enregistrement des images. Pour les fichiers de plus de 4 Go, l'extension .doric est recommandée.

iv. Le champ **« Index »** (Fig. 3.51) affiche l'index actuel qui sera ajouté au nom du fichier.

v. Le champ « **Fichier cible** » (Fig. 3.51) indique l'emplacement complet et le nom du fichier en cours d'enregistrement lors de la capture d'une séquence d'images.

3. L'onglet « **Paramètres du microscope »** (Fig. 3.52) sert à définir les paramètres liés à l'enregistrement des images par le microscope.



Figure 3.52 : *Onglet « Paramètres du microscope »*

a) La zone **« Exposure** » (Fig. 3.52) permet de définir la durée d'exposition du capteur. La durée peut être réglée entre 22 et 1 000 ms.

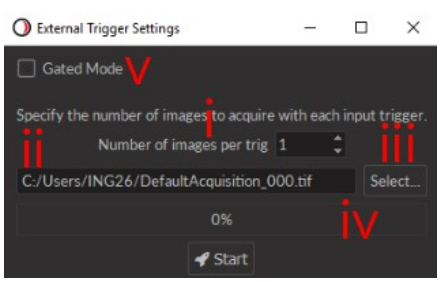
b) La section **CAPTEUR** (Fig. 3.52) définit les caractéristiques d'un capteur unique et de la source d'excitation associée. Lorsque le microscope utilisé comporte plusieurs capteurs, plusieurs sections **CAPTEUR** s'affichent, une pour chaque capteur.

   i. La zone « **Gain »** définit le gain du capteur.

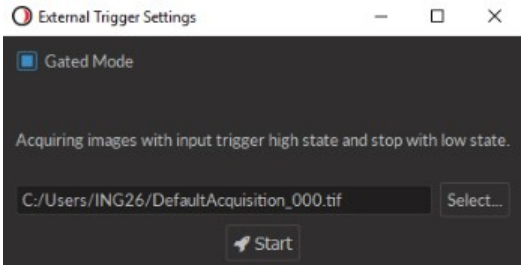
   ii. La zone « **Puissance de l'illuminateur (%)** » définit la puissance émise par la source de lumière d'excitation. Les sources de lumière s'activent lorsque l'acquisition d'images est lancée. La puissance optique maximale (en mW) dépend du modèle de la source de lumière.

c) **Le curseur de réglage de la distance de travail** apparaît lorsqu'un *microscope à fluorescence miniature eFocus* est branché au pilote. Ce curseur permet de régler la distance de travail, allant d'un point central (*0 µm*) aux extrêmes (*± 45 µm*).

d) Le bouton « **Déclencheur externe** » (Fig. 3.52) ouvre la fenêtre **du déclencheur externe**.



(a)*ExterneParamètres de déclenchementFenêtre*



(b) *Fenêtre des paramètres de déclenchement externe – Déclenchement par porte Mode*

Figure 3.53 : *Fenêtres des paramètres de déclenchement externe*

   i. Le champ « **Nombre d'images par déclenchement** » (Fig. 3.53a) définit le nombre d'images acquises à chaque impulsion de déclenchement.

   ii. La zone **Nom de fichier/emplacement** (fig. 3.53a) affiche l'emplacement où les images sont enregistrées ainsi que leur nom de fichier.

   iii. Le bouton **« Sélectionner…** » (fig. 3.53a) permet de sélectionner le **nom et l'emplacement** du **fichier**.

   iv. **La barre de progression** (fig. 3.53a) affiche l'avancement de la séquence déclenchée (en %).

   v. La case à cocher **« Mode déclenché** » (Fig. 3.53a) fait passer le déclencheur externe en mode déclenché (Fig. 3.53b). Dans ce mode, le microscope n'acquiert des images que lorsqu'un signal TTL haut est reçu sur l'entrée TRIG IN.

e) Le bouton **« Enregistrer la configuration** » (fig. 3.52) permet d'enregistrer tous **les paramètres du microscope** et **de l'image** dans un fichier au format **.doric**.

f) Le bouton **« Charger la configuration** » (Fig. 3.52) permet de charger un fichier de configuration sélectionné.

g) Le bouton **« Sélectionner un fichier de masque »** ouvre une fenêtre permettant de sélectionner un fichier de masque pour le microscope utilisé. Cette section n'apparaît que lorsqu'un *microscope à fluorescence bicolore* ou un *microscope efocus* est branché. Le fichier de masque actuellement chargé s'affiche juste au-dessus. Pour plus d'information sur les masques, voir la section 3.4.1.

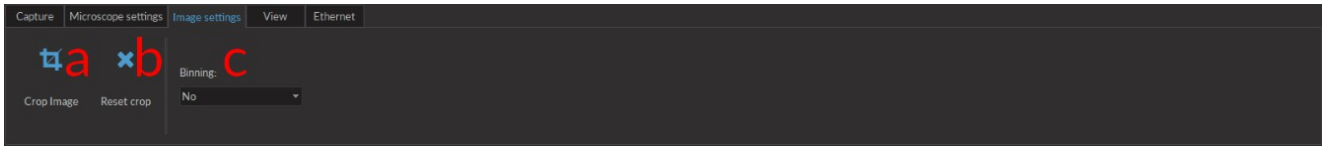


Figure 3.54 : *Onglet « Paramètres d'image »*

4. L'onglet « **Paramètres d'image** » (fig. 3.48) sert à définir certains paramètres liés aux images affichées et enregistrées.

    a) Le bouton **« Recadrer l'image** » (fig. 3.54) permet de tracer un carré sur l'image. Lorsqu'une nouvelle séquence **de capture** est activée, seule la zone recadrée sera capturée.

    b) Le bouton **« Réinitialiser le recadrage** » (fig. 3.54) rétablit l'image recadrée à son état d'origine. La modification n'apparaîtra que lorsqu'une nouvelle séquence **de capture** sera activée.

    c) La liste déroulante **« Binning »** (Fig. 3.54) permet de regrouper des pixels. Cela réduit le nombre de pixels, ce qui permet d'obtenir des fichiers de sauvegarde plus petits.

5. L'onglet **« Affichage »** (Fig. 3.48) sert à modifier les paramètres d'affichage de l'image du capteur. Ces modifications n'apparaîtront sur l'image du capteur que lorsqu'une nouvelle séquence **de capture** sera lancée. Les ajustements effectués n'affectent que l'image affichée et non les images enregistrées.



Figure 3.55 : *Onglet « View »*

    a) Les boutons **Zoom avant/Zoom arrière** (fig. 3.55) permettent d'augmenter ou de réduire le zoom de l'image du capteur.

    b) Le bouton **« Réinitialiser le zoom** » (fig. 3.55) réinitialise le **facteur de zoom** à 100 %.

    c) La liste déroulante **« Facteur de zoom** » (fig. 3.55) permet de sélectionner un facteur de zoom parmi une liste prédéfinie. Cette zone affiche également le zoom actuel s'il a été modifié à l'aide des différents boutons.

    d) La liste déroulante « **Forme de la région d'intérêt** » (Fig. 3.55) permet de sélectionner la forme utilisée lors du tracé d'une **région d'intérêt** sur une image du capteur. Ces formes comprennent « **À main levée** », « **Cercle** », « **Rectangle** » et « **Carré** ».

    e) La section **« SENSOR »** (Fig. 3.55) sert à régler le contraste d'un capteur donné. Lorsqu'un microscope comporte plusieurs capteurs, plusieurs sections **« SENSOR »** s'affichent, une pour chaque capteur.

        i. Le curseur **« Contrast »** (fig. 3.55) permet de régler le contraste de 0,1 à 5.

        ii. Les curseurs **Min/Max** (fig. 3.55) indiquent le nombre minimal et maximal de comptes affichés. Si la valeur **Min** est supérieure à 0, tous les pixels dont le compte est inférieur afficheront une valeur minimale. Si la valeur **Max** est inférieure à 1 020, tous les pixels dont le compte est supérieur apparaîtront saturés.

        iii. Le bouton du curseur « **Contraste automatique** » (fig. 3.55) active un algorithme de réglage automatique du contraste.

        iv. Le bouton **« Réinitialiser »** rétablit les paramètres par défaut des fonctions de contraste.

    f) La liste déroulante **« Pseudocolor** » (Fig. 3.55) permet de modifier la palette de couleurs de l'image du capteur.

    g) La case à cocher **« Afficher la saturation** » (Fig. 3.55) permet d'afficher toute la saturation de l'image du capteur en rouge. Cette fonction n'est disponible que si aucune pseudocouleur n'est sélectionnée.

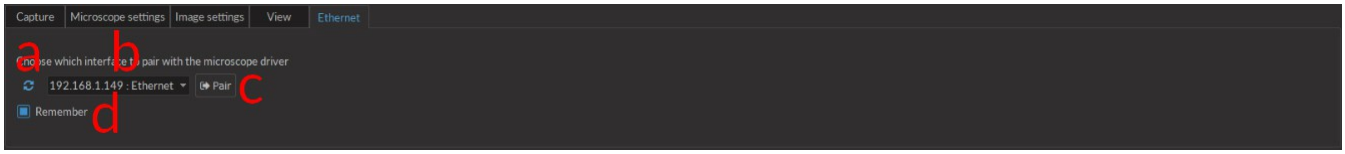


Figure 3.56 : *Onglet « Ethernet » du microscope*

6. L'onglet **« Ethernet »** (Fig. 3.48) sert à définir la connexion Ethernet utilisée pour relier l'ordinateur au pilote du microscope.

   a) Le bouton **« Actualiser »** (fig. 3.56) identifie toutes les adresses IP accessibles et les ajoute à la liste déroulante.

   b) La liste déroulante **« Ethernet »** (fig. 3.56) comprend toutes les adresses IP connectées à une carte Ethernet. Il faut sélectionner la bonne adresse pour connecter correctement le microscope.

   c) Le bouton **« Pair »** (Fig. 3.56) établit la connexion entre le logiciel et le pilote.

   d) La case à cocher **« Mémoriser »** (Fig. 3.56) permet de conserver l'adresse IP choisie afin que le pilote du microscope sélectionné soit connecté automatiquement lors de la prochaine ouverture du logiciel.



Figure 3.57 : *Gestionnaire de régions d'intérêt (ROI)*

7. **Le gestionnaire de régions d'intérêt** (Fig. 3.48) affiche en temps réel l'intensité moyenne des pixels d'une région d'intérêt tracée.

   a) Le graphique « **Intensité moyenne dans la région d'intérêt** » (Fig. 3.57) affiche l'intensité moyenne au fil du temps à l'intérieur d'une région d'intérêt dessinée.
   CTRL + molette de la souris permet de régler le zoom sur l'axe x, tandis que *MAJ + molette de la souris* permet de régler le zoom sur l'axe y.

   b) Le bouton **Effacer** (fig. 3.57) efface toutes les données affichées dans le gestionnaire de régions d'intérêt et la région d'intérêt dans la **visionneuse d'images**.

   c) Le bouton **« Zoom optimal »** (fig. 3.57) définit le facteur de zoom du graphique de manière à afficher au mieux toutes les données.

   d) Le bouton **« Réinitialiser le zoom »** (fig. 3.57) rétablit le zoom à sa valeur par défaut.

3.4.1 Installation des masques

Pour que le *microscope à fluorescence bicolore* et le *microscope à fluorescence eFocus* fonctionnent correctement, une série de **masques** doit être chargée dans *Neuroscience Studio* lors de la première utilisation de chaque corps de microscope sur un ordinateur donné. La section suivante explique comment installer ces **masques**.

1. Chaque microscope est livré avec une clé USB. Le fichier de masque porte le nom **DoricMaskFile X00000-00.zip**, où **X00000-00** est remplacé par le numéro de série du microscope. Enregistrez ce fichier dans un emplacement sécurisé, car il sera nécessaire si *Neuroscience Studio* doit être installé sur un autre ordinateur.

2. Une fois le système connecté et le microscope en place, accédez à l'onglet « **Paramètres du microscope »** et cliquez sur « **Sélectionner le fichier de masque** ». Une fenêtre de sélection de fichier s'ouvre alors. Accédez à l'emplacement du fichier de masque, sélectionnez-le, puis cliquez sur « **OK** ».

3. Une fois le fichier sélectionné, le logiciel affichera le message « **Chargement des masques »** au-dessus du bouton « **Sélectionner un fichier de masques** ». Ce message est remplacé par « **Masques chargés »** une fois le chargement terminé.

4. Une fois les masques installés, le microscope est prêt à l'emploi.

3.5 Électrophysiologie synchronisée par optogénétique sans fibre optique et sans fil

Les systèmes d'électrophysiologie synchronisée par optogénétique (OSE) nécessitent l'acheminement de signaux optiques appropriés vers la zone d'intérêt au sein du tissu neural, ainsi que la détection et le traitement des signaux électriques issus de l'activité neuronale. Le module OSE sans fil intègre différentes fonctions permettant de contrôler notre système OSE sans fibre optique et sans fil Doric. Le cœur du système est le bloc de tête sans fibre optique et sans fil. Cet appareil commande une *canule sans fil* contenant plusieurs sondes électrophysiologiques et une source lumineuse à DEL. Cette canule est implantée dans le cerveau d'un animal et enregistre des données électrophysiologiques tout en émettant des séquences d'impulsions lumineuses. Ce bloc de tête est commandé à partir de la **console d'électrophysiologie**, qui assure le transfert des données entre le bloc de tête et l'ordinateur.



Figure 3.58 : *Interface utilisateur de la console d'électrophysiologie*

3.5.1 Canaux

La console d'électrophysiologie dispose de 4 types de canaux différents. Comme elle partage son architecture de base avec nos consoles de photométrie, les 3 premiers types de canaux (**E/S numériques**, **sortie analogique** et **entrée analogique**) sont décrits à la section 3.2. Les canaux **d'antenne** servent à contrôler le préamplificateur sans fibre optique et sans fil (section 3.5.1).



Figure 3.59 : *Fenêtre de configuration des canaux d'électrophysiologie*

1. **Les types de canaux** (fig. 3.59) sont sélectionnés dans la partie gauche de la fenêtre. En cliquant sur l'icône d'un canal, vous afficherez les paramètres propres à chaque **type de canal**.

2. **Les paramètres sans fil** (fig. 3.59) permettent de sélectionner les paramètres d'enregistrement et de transmission.

    a) La zone **de sélection de l'antenne** (fig. 3.59) indique l'antenne actuellement sélectionnée.

    b) La zone **Options de déclenchement** (fig. 3.59) permet de sélectionner les paramètres de déclenchement pour l'acquisition des données.

        i. **La source de déclenchement** peut être « **Manuelle** » ou provenir des canaux **d'E/S numériques**.

        ii. Le **mode de déclenchement** peut être de deux types. En mode **« Déclenché »**, la séquence de mesure commence lorsqu'un signal de déclenchement est reçu et se poursuit même si le signal de déclenchement cesse. En mode **« Gated »** (actuellement en

développement), la séquence de mesure démarre lorsqu'un signal TTL haut (> 4 V) est détecté et s'arrête lorsqu'un signal TTL bas (< 0,4 V) est détecté.

Cette source peut être soit **manuelle**, soit issue de l'un des quatre canaux **d'E/S numériques**. Le **mode de déclenchement** peut être soit « **Déclenché »,** soit « **Par porte** ».

c) Les filtres **de prétraitement** (fig. 3.59) définissent les fréquences de coupure passe-haut et passe-bas pour le signal électrique reçu par le préamplificateur.

3. **Les options de DEL** (fig. 3.59) sont l'ensemble des paramètres utilisés pour contrôler la source lumineuse de la canule reliée à *l'étage de tête Fi-Wi*.

a) **Les options de canal** (fig. 3.59) servent à contrôler le mode et le courant de la DEL.

i. Le **mode** (fig. 3.59) permet de sélectionner le mode de séquence d'impulsions. Au moment de la rédaction du présent document, seul le mode **« Square »** est disponible.

ii. Le **courant maximal** (fig. 3.59) définit le courant envoyé à la DEL de la canule. Pour un fonctionnement adéquat de la canule, le courant doit toujours être supérieur à 10 mA.

iii. La **ligne de base** (fig. 3.59) introduit un léger décalage dans le courant envoyé à la DEL. Il est recommandé d'utiliser un faible décalage, car l'extinction complète de la DEL provoquerait un pic dans le signal d'acquisition électrique.

b) La boîte de dialogue « **Options de séquence** » (fig. 3.59) permet de définir les paramètres de la séquence d'impulsions de la DEL.

i. Le « **Délai de démarrage** » (fig. 3.59) définit le délai (au format hh:mm:ss:zzz) avant la première impulsion.

ii. La **fréquence/période** (Fig. 3.59) définit la fréquence (en Hz) ou la période (en ms) de la séquence d'impulsions. Par exemple, un signal à 10 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 100 ms (période), tandis qu'une séquence d'impulsions à 0,5 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 2 000 ms (période).

iii. La **durée d'activation/le rapport** cyclique (fig. 3.59) définit la durée (en ms) ou le rapport cyclique (en %) de chaque impulsion. La **durée d'activation** doit être inférieure à (1/fréquence) + 0,005 ms, tandis que le **rapport cyclique** doit être inférieur à 100 %. Ces cases s'afficheront en rouge si une **fréquence ou une durée d'activation** impossible est sélectionnée.

iv. L'option **Lissage** sert à modifier la pente des impulsions dans les séquences d'impulsions carrées. Le bouton **Modifier les fronts** ouvre la fenêtre **Lissage des fronts** (Fig. 3.60).

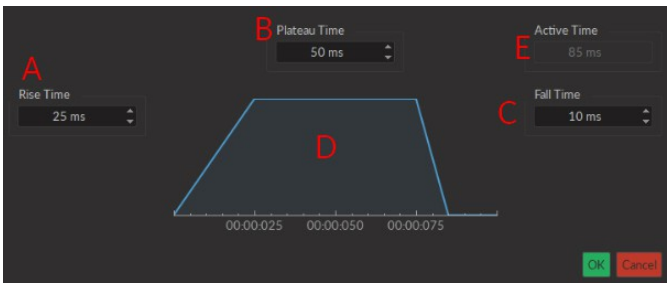


Figure 3.60 : *Fenêtre « Lissage des fronts » de la source lumineuse*

A. Le champ « **Temps de montée** » sert à définir la durée nécessaire pour passer de 0 au maximum de l'impulsion.

B. La zone « **Temps de plateau** » sert à définir la durée pendant laquelle l'impulsion reste à sa valeur maximale.

C. La zone « **Temps de descente** » sert à définir la durée nécessaire pour passer du maximum de l'impulsion à 0.

D. **Le graphique d'impulsion** affiche la forme de l'impulsion.

E. La case **« Durée active** » affiche la durée totale de l'impulsion. Lorsque l'option « **Lissage »** est activée, la « **Durée d'activation »** est fixée à cette valeur.

(il faut inclure la section

v. Le paramètre « **Impulsions par séquence** » (Fig. 3.59) définit le nombre d'impulsions par séquence. S'il est réglé sur 0, l'impulsion sera répétée indéfiniment.

vi. Le paramètre « **Nombre de séquences** » (Fig. 3.59) définit le nombre de fois où la séquence sera répétée. S'il est réglé sur 0, la séquence sera répétée indéfiniment.

vii. Le **« Délai entre les séquences** » (fig. 3.59) définit le délai (au format hh:mm:ss:zzz) entre chaque séquence si le « **Nombre de séquences »** est supérieur à 1.

viii. La **« Durée totale** » (fig. 3.59) affiche la durée totale de l'expérience. Les différentes valeurs possibles sont *« Inf »* pour une durée infinie, une valeur de temps valide ou *« Err »* si la valeur **de « Temps d'activation »** est supérieure à 1/fréquence.

c) La zone **« Aperçu »** affiche un aperçu de la séquence d'impulsions.

3.5.2 Onglets « Contrôle » et « Paramètres »

Les trois **onglets « Contrôle » et « Paramètres »** servent à gérer différentes parties du logiciel et sont décrits à la section 3.2.2.

3.5.3 Vue d'acquisition

La zone « **Acquisition View** » affiche toutes les informations relatives au canal actif. Chaque canal sélectionné à l'aide de **la fonction « Add Channel »** s'affiche dans la fenêtre, occupant une zone rectangulaire. Chaque **zone de canal** présente un certain nombre d'éléments de base, décrits à la section 3.2.3. Les éléments propres au canal **« Antenna »** sont décrits ici.

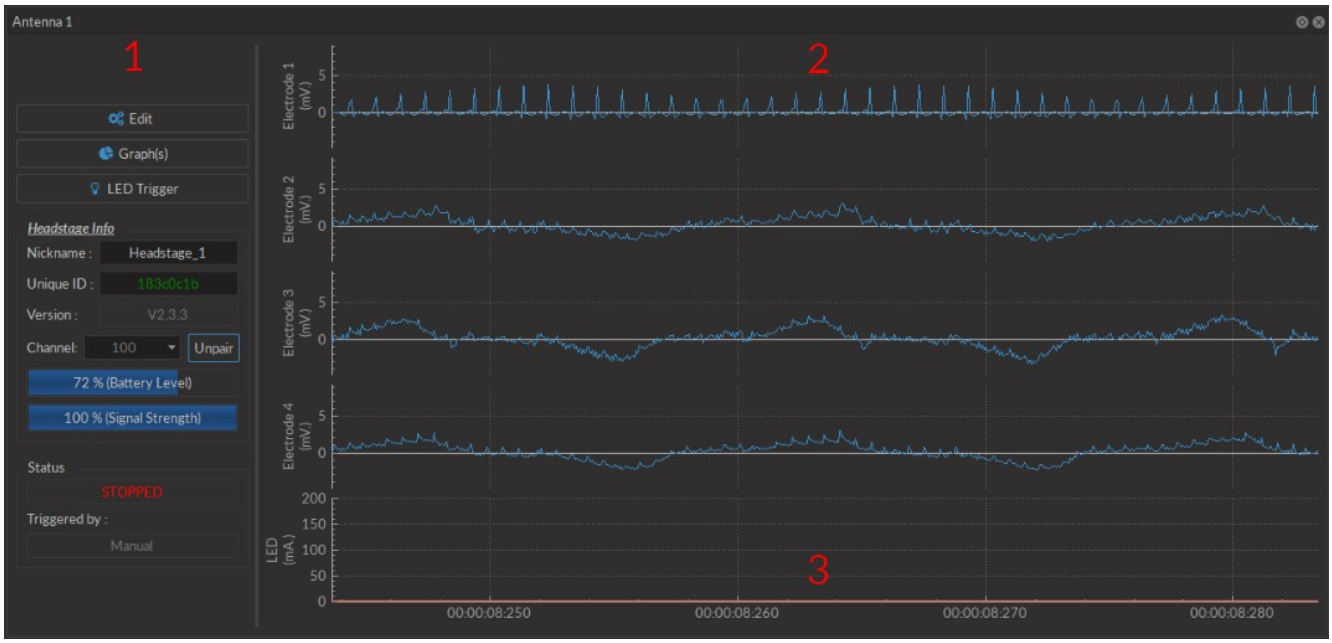
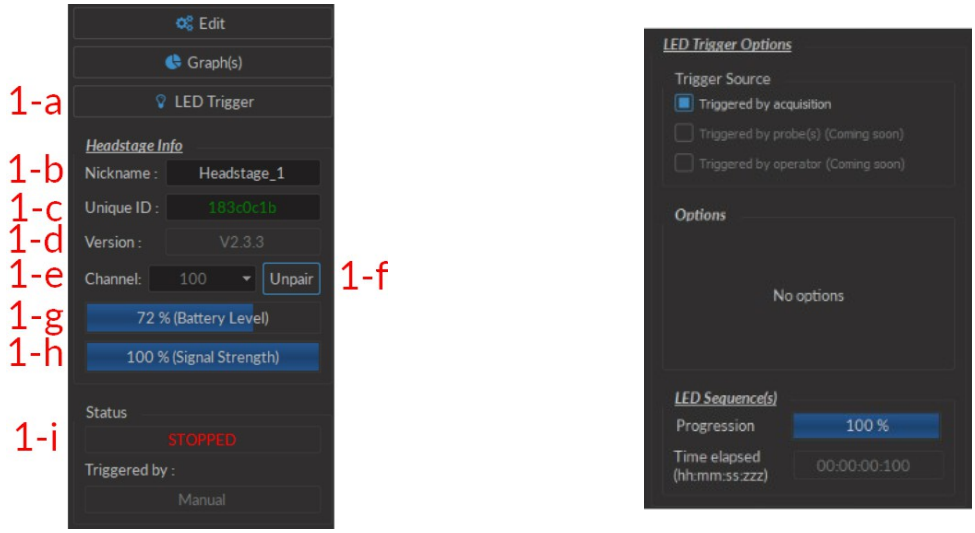


Figure 3.61 : *Vue d'acquisition électrophysiologique, zone « Antenne »*

1. La zone **« Commandes »** (fig. 3.62a) affiche les éléments permettant de contrôler et de surveiller le préamplificateur sans fil.



(a) *Vue d'acquisition, boîte « Commandes »* (b) *DEL de déclenchement – Déclenchée par la fenêtre d'acquisition*

Figure 3.62 : *Interfaces de la vue d'acquisition*

a) Les boutons **de déclenchement de la DEL** ouvrent la fenêtre **des options de déclenchement de la DEL**. Dans cette fenêtre, l'option **« Déclenché par l'acquisition »** est disponible; les autres options sont encore en version bêta et seront offertes ultérieurement. Les séquences peuvent être activées ou désactivées pendant que cette fenêtre est ouverte.

   - Le mode **« Déclenchement des DEL par acquisition »** (fig. 3.62b) active les DEL lorsqu'une séquence d'acquisition est lancée. Cela inclut le moment où **l'amplificateur** est initialement activé, ainsi que le moment où une séance d'enregistrement est lancée à l'aide de l'une des **options de déclenchement d'Ephys**.

b) Le champ « **Nickname »** permet à l'utilisateur de modifier le nom attribué au Headstage connecté.

c) Le champ « **Unique ID** » affiche la séquence d'identifiant unique associée au Headstage actuellement utilisé.

d) Le champ « **Version** » affiche la version du micrologiciel du préamplificateur.

e) La liste déroulante « **Channel » (Canal)** indique le canal actuellement utilisé par le préamplificateur. Lorsque deux préamplificateurs sont utilisés, le canal doit être différent pour chacun d'eux.

f) Le bouton **« Pair »** sert à jumeler un préamplificateur actif à une console. Lorsqu'un préamplificateur est jumelé, le bouton devient « **Unpair** », ce qui permet de déjumeler le préamplificateur actif associé à l'antenne en question.

g) La barre **de niveau de batterie** affiche en tout temps le niveau de batterie de l'étage de tête, en %.

h) La barre **d'intensité du signal** affiche l'intensité du signal. Si l'intensité du signal est acceptable (100 à 76 %), la barre apparaît en bleu. Si l'intensité du signal est faible (75 à 50 %), elle apparaît en jaune. Si l'intensité du signal est extrêmement faible (< 50 %), elle apparaît en rouge.

i) La barre **d'état** affiche l'état de l'acquisition. **« ARRÊTÉ »** s'affiche lorsque l'acquisition est inactive, et **« DÉMARRÉ »** lorsqu'elle est active.

2. **Les tracés d'électrodes** (Fig. 3.61) affichent le signal détecté par les électrodes de la canule, par ordre numérique.

3. **La courbe de la DEL** (fig. 3.61) affiche le courant envoyé à la DEL de la canule.

3.6 Générateur d'impulsions TTL pour l'optogénétique

Les générateurs d'impulsions TTL pour l'optogénétique (OTPG; 4 ou 8 canaux) sont commandés à partir du logiciel *Doric Neuroscience Studio*. Diverses séquences d'impulsions peuvent être conçues pour n'importe quelle expérience. Chaque canal peut être utilisé pour générer des impulsions dont les phases relatives restent constantes. Les canaux peuvent être synchronisés, démarrés simultanément ou indépendamment les uns des autres. Les canaux 1 à 4 (OTPG 4) et les canaux 5 à 8 (OTPG 8) peuvent servir d'entrées.

L'interface utilisateur *de l'OTPG* (fig. 3.63) est divisée en deux sections principales : la **vue** « **Commandes et paramètres** » et la **vue « Acquisition** ». À partir de ces sections, il est possible d'accéder à la fenêtre **de configuration des canaux** pour ajouter et configurer des canaux.

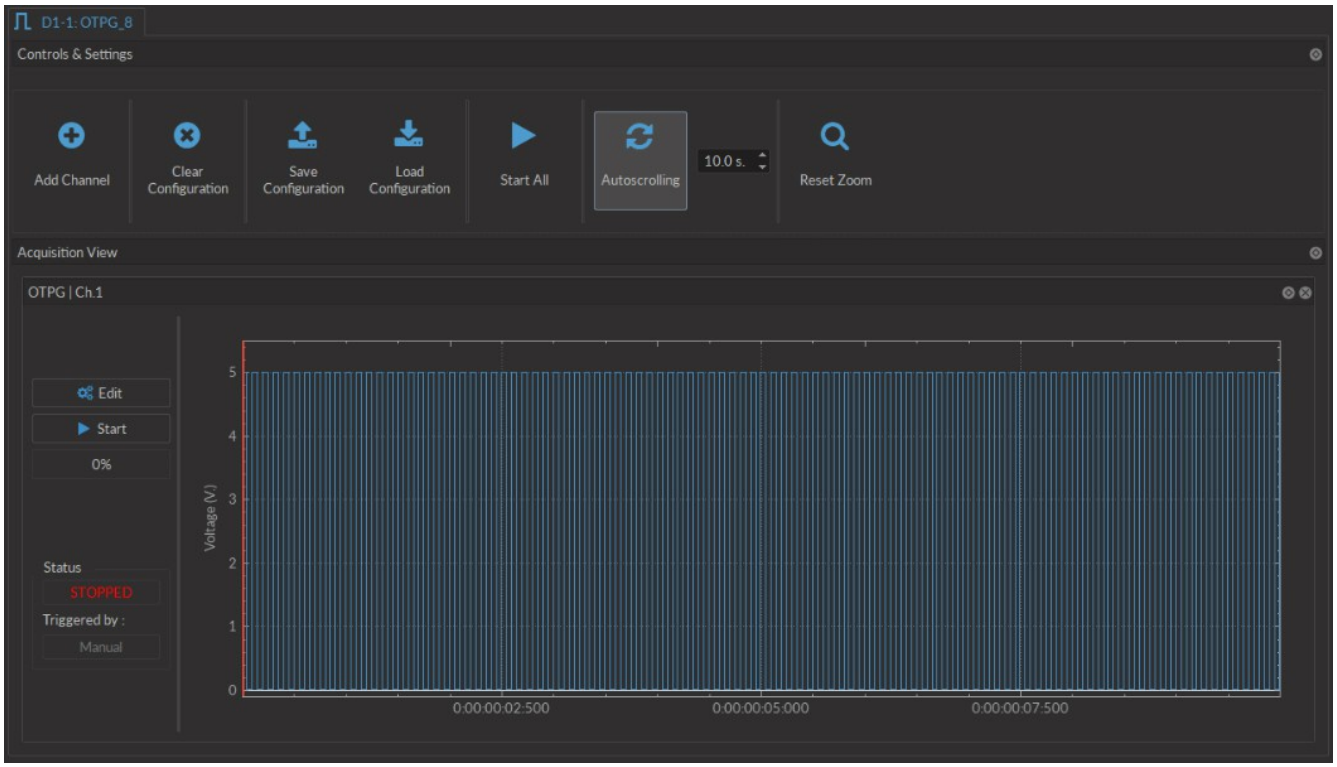


Figure 3.63 : *Interface du générateur d'impulsions TTL pour l'optogénétique*

3.6.1 Configuration des canaux



Figure 3.64 : *Configuration des canaux, interface d'onde continue*

La fenêtre **de configuration des canaux** sert à configurer chaque canal. On peut y accéder soit à l'aide des boutons **Ajouter** un **canal** ou **Modifier**. Cette fenêtre est divisée en plusieurs zones, décrites ci-dessous.

1. **Les options de canal** (fig. 3.64) comprennent la liste déroulante « **Canal »** et la liste « **Mode »** du canal.

   a) Le champ « **Canal »** indique lequel des quatre canaux disponibles pour chaque type de canal est en cours de modification. Il est possible de changer de canal en en sélectionnant un nouveau dans la liste déroulante.

   b) Le « **Mode »** identifie le type de signal émis.

   - Le mode de canal **CW (onde continue)** permet de créer une séquence d'impulsions TTL continue. Les éléments suivants apparaissent dans la zone **Options de séquence**.

     i. Le **« Délai de démarrage** » (Fig. 3.64) définit le temps qui s'écoule entre l'activation de la séquence d'impulsions et le début du signal.

     ii. La **durée d'activation** (Fig. 3.64) définit la durée pendant laquelle le signal continu est actif. Si la durée choisie est 0, le signal se poursuivra jusqu'à ce que la séquence d'impulsions soit arrêtée manuellement.

     iii. La **« Durée totale** » (fig. 3.64) indique la durée totale prévue de la séquence d'impulsions. Si la durée est infinie, la boîte affichera ∞. En cas d'erreur dans la sélection des paramètres, cette boîte affichera **N/A**.

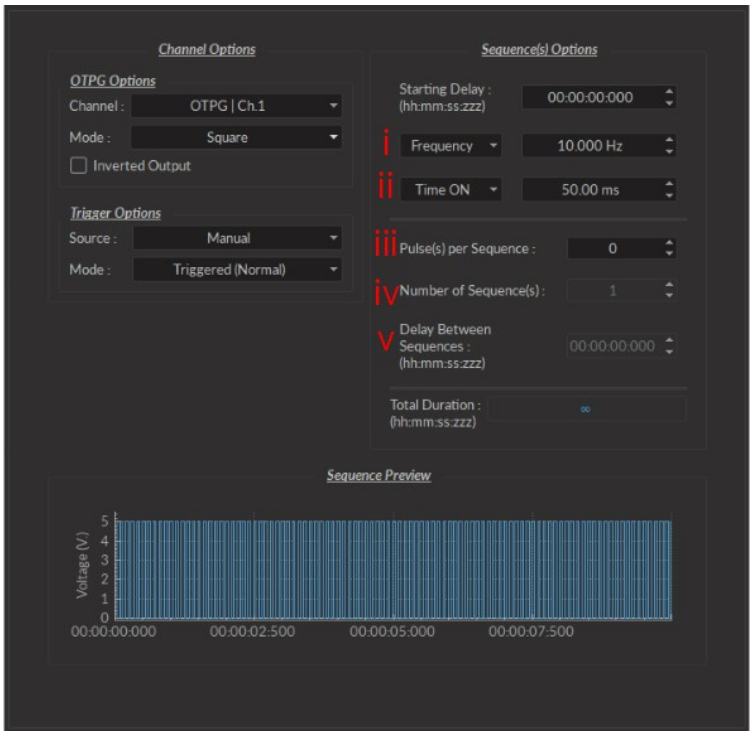


Figure 3.65 : *Configuration des canaux, interface « Square »*

- Le mode de canal **« Square »** permet de créer une séquence d'impulsions TTL carrées. Il inclut toutes les options de séquence du mode **CW**, avec les ajouts suivants.
  - i. La **fréquence** (Fig. 3.65) définit la fréquence (en Hz), qui correspond au nombre d'impulsions par seconde. La fréquence peut également être exprimée en **période**. Par exemple, un signal à 10 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 100 ms (période), tandis qu'un signal à 0,5 Hz (fréquence) produira une impulsion toutes les 2 secondes (période).
  - ii. Le **temps d'activation** (fig. 3.65) définit la durée d'une impulsion unique. Ce temps peut également être converti en rapport **cyclique**, qui représente le pourcentage de la période auquel correspond la durée de l'impulsion.
  - iii. Le paramètre **« Impulsions par séquence** » (fig. 3.65) définit le nombre d'impulsions par séquence. S'il est réglé sur 0, le nombre d'impulsions sera infini.
  - iv. Le **« Nombre de séquences** » (fig. 3.65) définit le nombre de fois où la séquence sera répétée.
  - v. Le « **Délai entre les séquences** » (fig. 3.65) définit le délai entre chaque séquence.

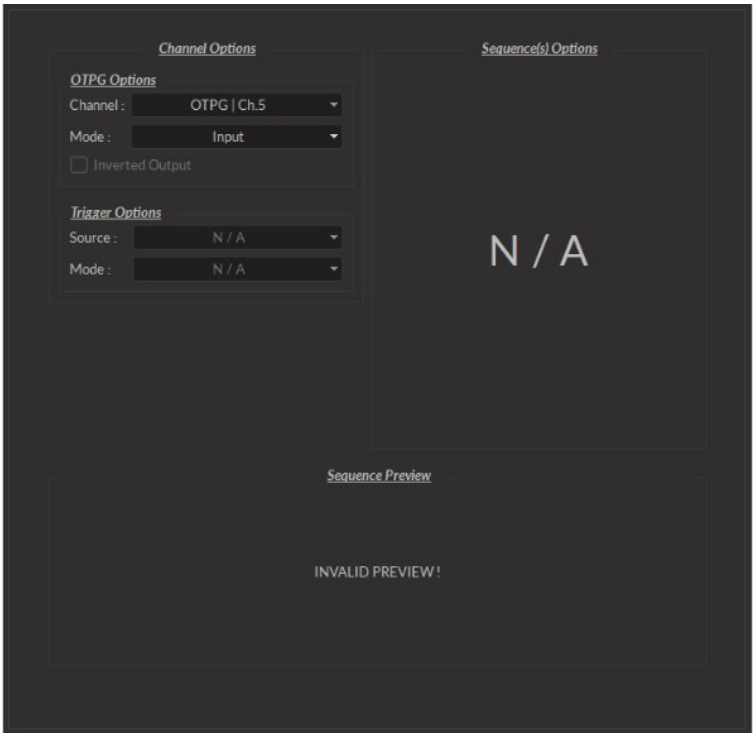


Figure 3.66 : *Configuration des canaux, interface d'entrée*

- Le mode **d'entrée** (fig. 3.66) enregistre un signal tant qu'un signal TTL haut est présent sur le canal de la console sélectionné. Le canal peut alors servir de source de déclenchement pour tous les autres canaux de la console. Aucune **option de séquence** ni aucun **aperçu de séquence** n'est disponible pour ce mode.

c) La case à cocher « **Sortie inversée** » modifie la sortie du signal. Lorsqu'elle est cochée, le signal TTL **« ON »** enverra 0 V, tandis que le signal TTL **« OFF »** enverra 5 V.

2. **Les options de déclenchement** (fig. 3.64) définissent les méthodes de déclenchement. Ces options comprennent la **source** et **le mode** de déclenchement.

   a) L'option de déclenchement « **Source** » permet de choisir entre un **déclenchement manuel** (activé par l'utilisateur) ou un déclenchement **par entrée**, provenant d'une entrée d'un canal.

   b) Le « **Mode »** définit la façon dont le déclencheur active une séquence.

   - En mode **« Déclenché** », la séquence est lancée manuellement ou par une source de déclenchement provenant d'un canal d'entrée. Une fois la source de déclenchement reçue, la séquence se poursuivra jusqu'à la fin ou jusqu'à ce que l'on appuie sur « **Arrêt** ».
   - En **mode « Gated** », la séquence se reproduira tant qu'un signal TTL haut (4 V ou plus) sera présent sur la prise BNC de modulation d'entrée. Ce signal provient d'une autre source lumineuse ou d'un autre pilote de périphérique. Lorsque le signal TTL est bas (0,4 V ou moins), la séquence s'arrête et attend un autre signal TTL haut pour reprendre. Si une impulsion est interrompue, une nouvelle séquence commencera au prochain signal d'activation.

3. **Les options de séquence** (fig. 3.64) définissent les paramètres de chaque séquence d'impulsions pour les canaux de sortie. Ces paramètres sont définis en fonction du type de chaque canal. Si un paramètre choisi ne peut pas être appliqué à une séquence (par exemple, une **durée d'activation** supérieure à **1/fréquence**), la couleur des cases d'option deviendra **ROUGE**.

4. La section « **Aperçu** de **la séquence** » (Fig. 3.64) permet de visualiser la séquence de sortie qui sera reproduite en sélectionnant le canal dans le graphique.

5. Le bouton **« Appliquer »** (Fig. 3.64) génère le canal défini OU met à jour un canal déjà configuré en y intégrant les modifications apportées.

3.6.2 Commandes et paramètres

La boîte de dialogue « **Commandes et paramètres »** sert à gérer les différentes parties du module logiciel.

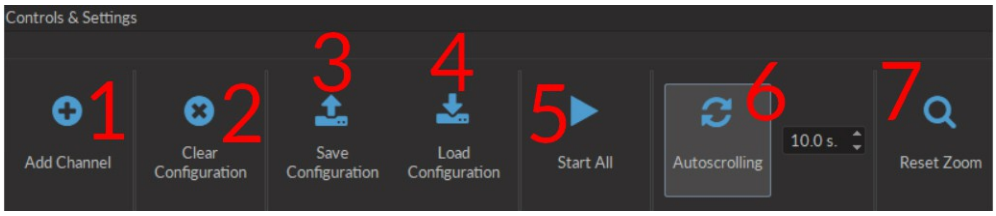


Figure 3.67 : *Boîte de dialogue « Contrôle et paramètres »*

1. Le bouton **« Ajouter un canal** » (fig. 3.67) ouvre la fenêtre **de configuration des canaux**. Cette fenêtre est décrite en détail dans la section 3.6.1.
2. Le bouton **« Effacer la configuration** » (fig. 3.67) réinitialise la vue d'acquisition et tous les autres paramètres définis. Toute configuration déjà définie sera perdue.
3. Le bouton **« Enregistrer la configuration** » (fig. 3.67) permet d'enregistrer une configuration OTPG au format **.doric**.
4. Le bouton **« Charger la configuration** » (fig. 3.67) permet de charger une configuration OTPG au format **.doric**.
5. Le bouton **« Démarrer tout** » (fig. 3.67) active tous les canaux préparés.
6. Le bouton **« Défilement automatique »** (fig. 3.67), lorsqu'on clique dessus, fait défiler les graphiques à mesure que de nouvelles données apparaissent. La durée (en s) pendant laquelle les données restent affichées est définie dans la zone située à côté du bouton.
7. Le bouton **« Réinitialiser le zoom** » (fig. 3.67) réinitialise l'axe horizontal de tous les graphiques affichés dans la **vue d'acquisition** en fonction de la durée sélectionnée dans la zone « **Défilement automatique** ».

3.6.3 Vue d'acquisition

La zone « **Vue d'acquisition** » affiche toutes les informations concernant les canaux actifs. Chaque canal sélectionné à l'aide de la fonction **« Ajouter un canal »** est affiché dans cette section, occupant une zone rectangulaire.

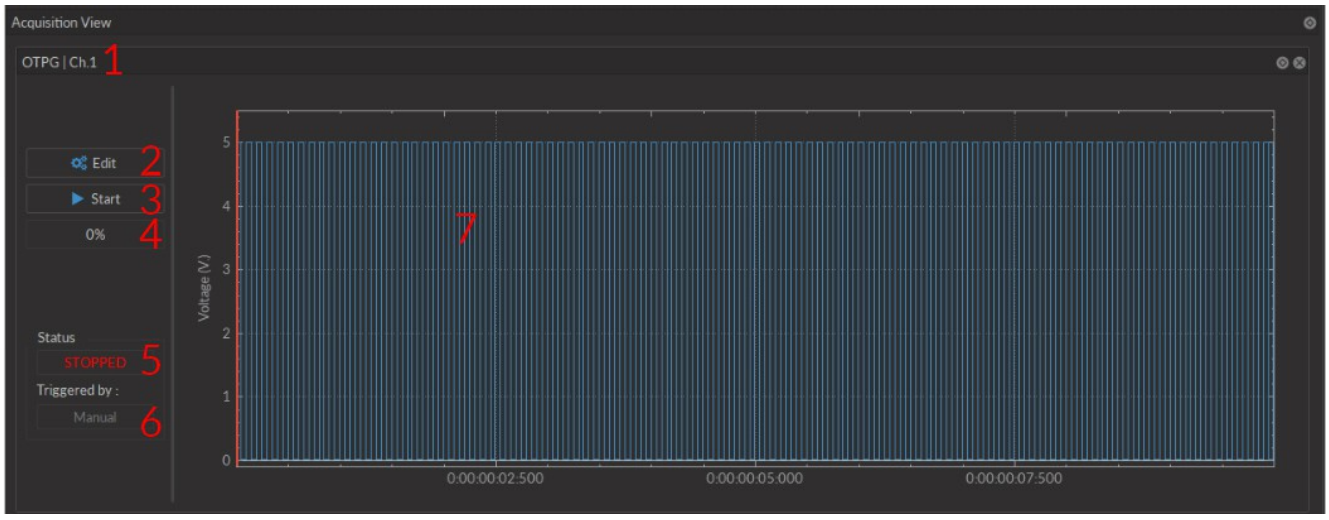


Figure 3.68 : *Boîte de la vue d'acquisition*

Chaque **boîte de canal** affiche les éléments de base suivants, ainsi que des éléments supplémentaires disponibles pour certains types de canaux.

1. **Le nom du canal** se trouve dans le coin supérieur gauche de la **zone du canal** (Fig. 3.68); il identifie le type de canal et son numéro, qui correspond à celui indiqué sur *l'OTPG*.

2. Le bouton **« Modifier »** (Fig. 3.68) permet de modifier les paramètres du canal en ouvrant la fenêtre **de configuration du canal**. Pour plus d'informations, voir la section 3.6.1.

3. Le bouton **« Démarrer »** (Fig. 3.68) active le canal sélectionné sans activer aucun autre canal. Le bouton est vert (Fig. 3.68) lorsqu'il est inactif, rouge (Fig. 3.70) lorsqu'il est actif et gris (Fig. 3.69) lorsqu'il est désactivé.

4. **La barre de progression** (fig. 3.68) indique la progression de la séquence choisie. Si la séquence est infinie, une barre bleue défilante (fig. 3.70) s'affiche.

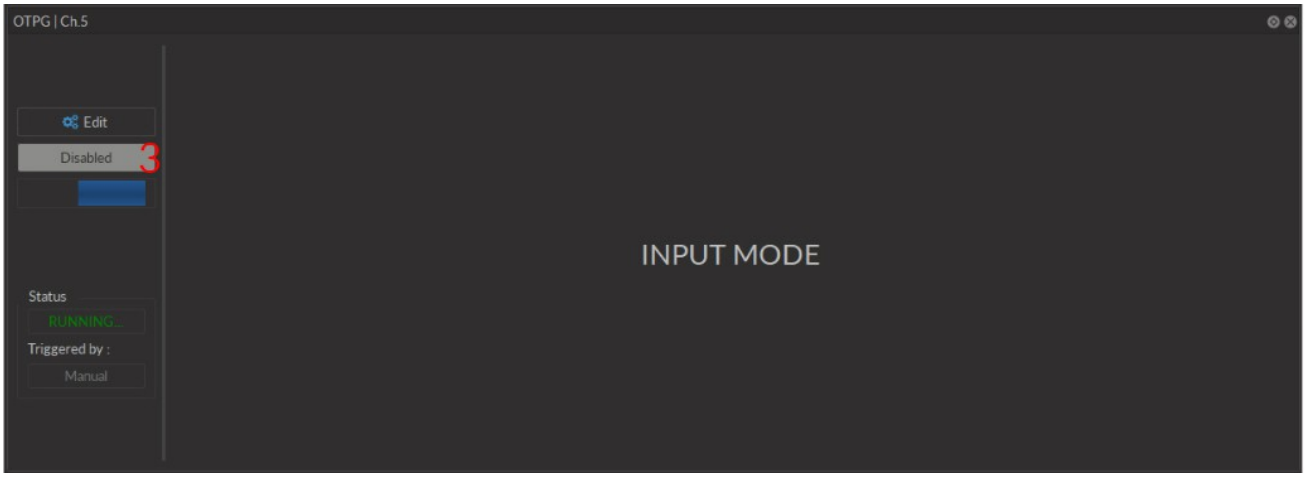


Figure 3.69 : *Boîte de vue d'acquisition, mode d'entrée*

5. La zone **d'état** (fig. 3.68) indique si le canal est actif, affichant **« ARRÊTÉ »** lorsqu'il est inactif (fig. 3.68) et **EN COURS...** (Fig. 3.70) lorsqu'il est actif.

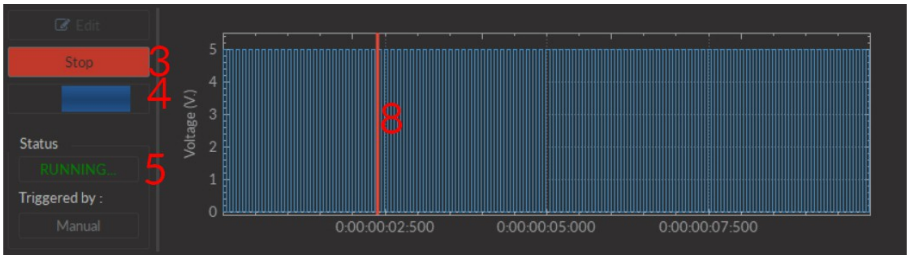


Figure 3.70 : *Boîte de vue d'acquisition, mode « Square »*

6. La zone « **Déclenché par** » (fig. 3.68) indique la source de déclenchement actuelle de la séquence du canal.

7. La zone **« Aperçu de la séquence »** (fig. 3.68) affiche un aperçu graphique de la séquence d'impulsions.

8. Le **marqueur de position** (Fig. 3.69) est une ligne rouge sur **l'aperçu de la séquence** qui indique la position temporelle à laquelle la séquence est active.

4

Modules d'analyse

Les modules d'analyse se trouvent dans le menu « Analyse ».

4.1 Analyseur d'images

Ce module offre un moyen simple d'extraire les données pertinentes des images acquises par les microscopes à fluorescence miniatures Doric. Le logiciel charge les images au format .TIF, intègre des fonctions de traitement d'image ainsi qu'un outil d'exportation permettant d'enregistrer les données de fluorescence au format .CSV ou .doric. Ce logiciel ne remplace pas les outils d'analyse standard tels que Matlab, ImageJ ou Excel, mais vise à offrir des algorithmes de traitement utiles développés spécifiquement pour les images microscopiques. Tous les algorithmes sous-jacents sont implémentés à partir de la bibliothèque OpenCV. Dans cette section, nous décrirons les différentes fonctions disponibles et leur mode d'emploi.

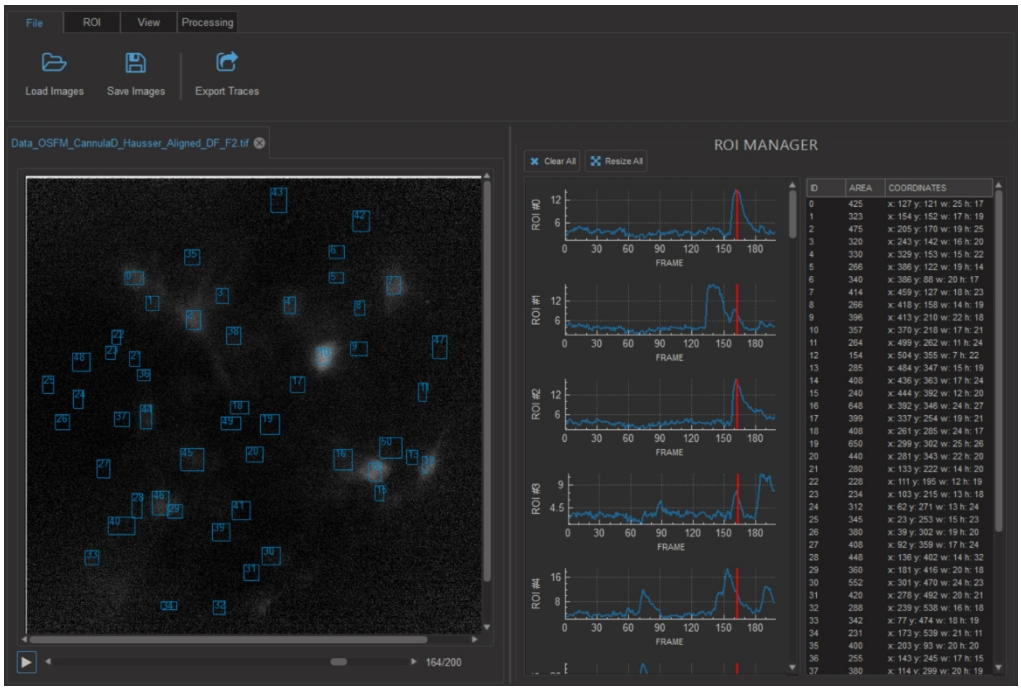


Figure 4.1 : *Interface du module d'analyse d'images*

1. **La visionneuse d'images** affiche les images chargées, permet de naviguer dans la pile d'images et de tracer des régions d'intérêt (ROI) en cliquant et en faisant glisser la souris sur l'image. Il est possible d'ouvrir plusieurs ensembles d'images, qui apparaissent sous forme d'onglets dans le coin supérieur gauche de la fenêtre d'image.

2. **Le gestionnaire de ROI** affiche les différents paramètres des ROI et trace l'intensité moyenne du signal pour chaque image.

3. **La barre d'outils des fonctions** contient tous les boutons et toutes les fonctions accessibles.

4.1.1 Barre d'outils des fonctions

1. **L'onglet Fichier** (Fig. 4.2) sert à enregistrer ou à charger des données.

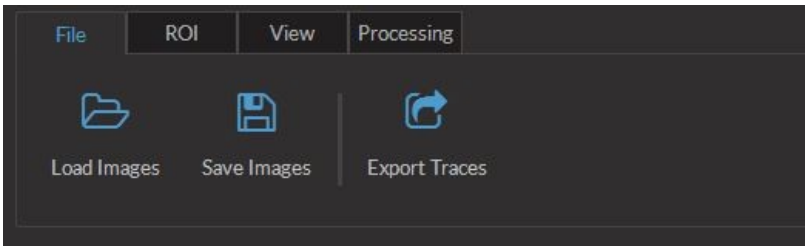


Figure 4.2 : *Onglet Fichier*

- La fonction « **Charger des images »** permet de charger un fichier TIF carré de 16 bits ou un fichier multipages.
- La fonction « **Enregistrer les images »** enregistre l'onglet d'image actuel dans un fichier TIF multipages de 16 bits.
- La fonction « **Exporter les traces** » enregistre les valeurs moyennes d'intensité de fluorescence pour chaque région d'intérêt (ROI) de l'onglet actuel dans un fichier .CSV ou .doric.

2. **L'onglet « ROI »** (Fig. 4.3) sert à enregistrer ou à charger des données relatives aux régions d'intérêt tracées sur une image.

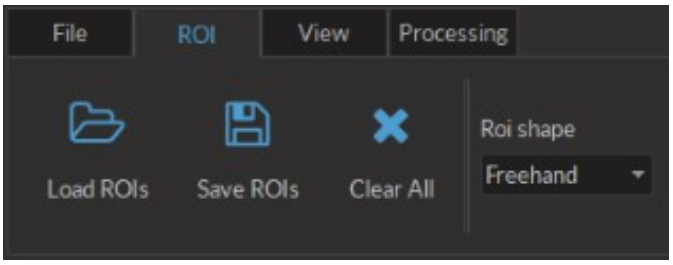


Figure 4.3 : *Onglet « ROI »*

- La fonction « **Charger les régions d'intérêt »** charge un fichier .CSV contenant des renseignements sur les régions d'intérêt sauvegardées.
- La fonction « **Enregistrer les ROI »** enregistre les informations relatives aux ROI actuelles dans un fichier .CSV.
- Le bouton « **Effacer tout »** efface toutes les régions d'intérêt.
- La fonction « **Forme de la zone d'intérêt »** est une liste déroulante qui permet de sélectionner la forme de **la zone d'intérêt**. Les options disponibles sont « **À main levée », « Cercle », « Rectangle »** et « **Carré** ».

3. **L'onglet « Affichage »** (fig. 4.4) sert à modifier l'apparence d'une image sans modifier les données de base.

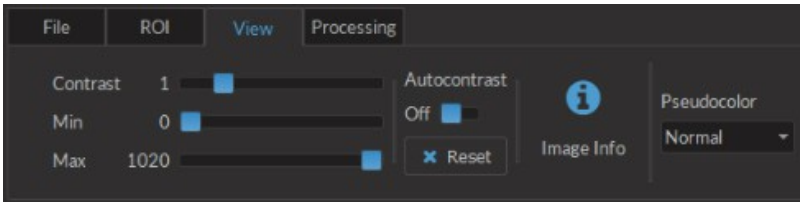


Figure 4.4 : *Onglet « Affichage »*

- La fonction **« Contraste** » applique une courbe de réponse de luminance (gamma) différente. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
- La fonction **« Min** » applique un seuil inférieur dont la valeur de coupure est définie par le curseur. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
- La fonction **« Max** » applique un seuil supérieur dont la valeur de coupure est définie par le curseur. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.

- La fonction « **Autocontrast »** applique directement la fonction equalizeHist de la bibliothèque OpenCV.
- La fonction **« Reset** » rétablit les valeurs par défaut du contraste et de la plage.
- Le bouton **« Info image »** affiche la fenêtre d'information sur l'image.
- La fonction « **Pseudocolor** » est une liste déroulante permettant de sélectionner d'autres schémas de coloration pour les images présentées.

4. **L'onglet « Traitement »** (fig. 4.5) sert à traiter les données d'image.

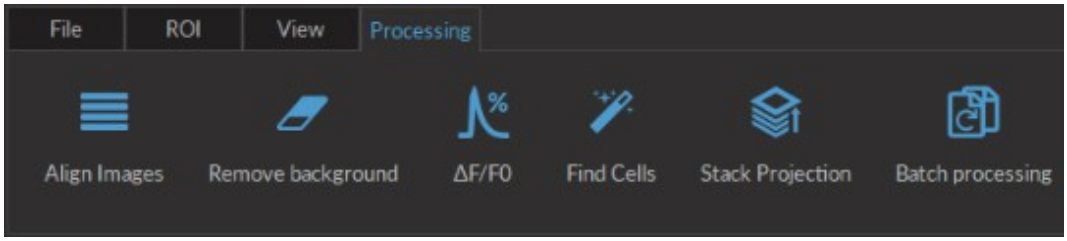


Figure 4.5 : *Onglet « Traitement »*

- La fonction **« Aligner les images »** aligne la pile d'images sur l'image de référence définie par l'utilisateur. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails sur le calcul. En cliquant sur ce bouton, vous ouvrirez la fenêtre « **Aligner les images** » (fig. 4.6). En cochant la case **« Enregistrer les valeurs d'alignement** », les valeurs d'alignement des images seront conservées lors de l'enregistrement des images traitées. Quatre méthodes différentes sont disponibles.

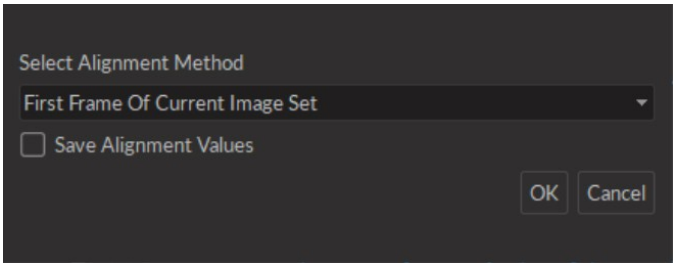


Figure 4.6 : *Fenêtre « Aligner les images »*

  - La méthode « **Première image de la série d'images actuelle** » utilise la première image de la série pour aligner les autres.
  - La méthode « **Sélectionner une image de la série d'images actuelle** » permet de choisir une seule image de la série qui servira à l'alignement de toutes les autres images.
  - La méthode « **Sélectionner un autre ensemble d'images et une image »** aligne l'ensemble actuel à l'aide des données provenant d'un autre ensemble d'images.
  - La méthode « **Sélectionner à partir d'un fichier de valeurs d'alignement »** utilise un alignement préalablement défini pour un autre ensemble d'images. Cette méthode est particulièrement utile lorsqu'on tente d'aligner des images provenant d'un *microscope à fluorescence bicolore*, afin d'aligner un canal de couleur à l'aide des données de l'autre.
- La fonction « **Supprimer l'arrière-plan »** supprime la valeur moyenne d'une région d'intérêt (ROI) sélectionnée de toutes les images de la pile.
- La fonction Δ**F/F**$_0$calcule la variation normalisée de la fluorescence des images et affiche les résultats dans un nouvel onglet. Lorsqu'elle est sélectionnée, voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
- La fonction **« Détecter les cellules »** détecte les cellules et crée automatiquement les régions d'intérêt (ROI). Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
- La fonction **« Projection de la pile »** projette toutes les images de la séquence sur une seule image à l'aide de la méthode sélectionnée dans la boîte de dialogue « Paramètres ». Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
- La fonction « **Traitement par lots »** ouvre la **fenêtre de traitement par lots** (fig. 4.7). Cela permet de traiter de grands ensembles de données dans l'ordre séquentiel, sans avoir à activer chaque fonction individuellement.

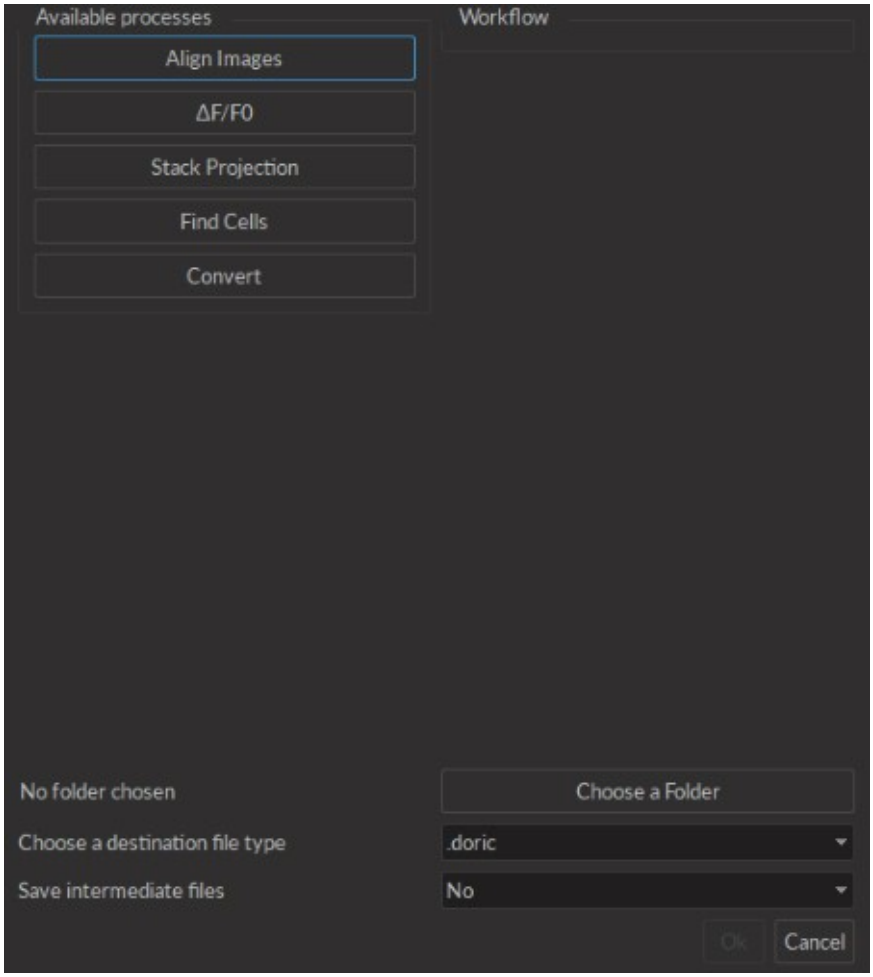


Figure 4.7 : *Fenêtre de traitement par lots*

a) La zone « **Processus disponibles** » répertorie tous les processus disponibles. Les processus de la liste seront grisés si l'ordre du flux de travail empêche leur utilisation. Chaque processus comporte un certain nombre de paramètres identiques à ceux utilisés en dehors du traitement par lots.
   - Le processus **« Aligner les images »** aligne la pile d'images sur l'image de référence définie par l'utilisateur. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails sur le calcul.
   - Le processus **$\Delta F/F_0$** calcule la variation normalisée de la fluorescence des images et affiche les résultats dans un nouvel onglet. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
   - Le processus « **Projection de la pile »** projette toutes les images sur une seule image à l'aide de la méthode sélectionnée dans la boîte de dialogue « Paramètres ». Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
   - Le processus **« Find Cells »** détecte les cellules et crée automatiquement la région d'intérêt (ROI). Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
   - Le processus « **Convert »** sert à convertir une pile d'images au format **.doric** ou **.tif**.

b) La zone **« Flux de travail »** affiche l'ordre dans lequel les actions de traitement d'image seront effectuées.

c) Le bouton « **Choisir un dossier »** permet de sélectionner un dossier dans lequel enregistrer les résultats du traitement par lots.

d) La liste « **Type de fichier** » sert à définir l'extension de fichier utilisée lors de l'enregistrement des images.

e) L'option « **Enregistrer les fichiers intermédiaires** » permet d'enregistrer les fichiers intermédiaires générés au cours du traitement d'image, en plus des fichiers finaux.

4.1.2 Gestionnaire de ROI

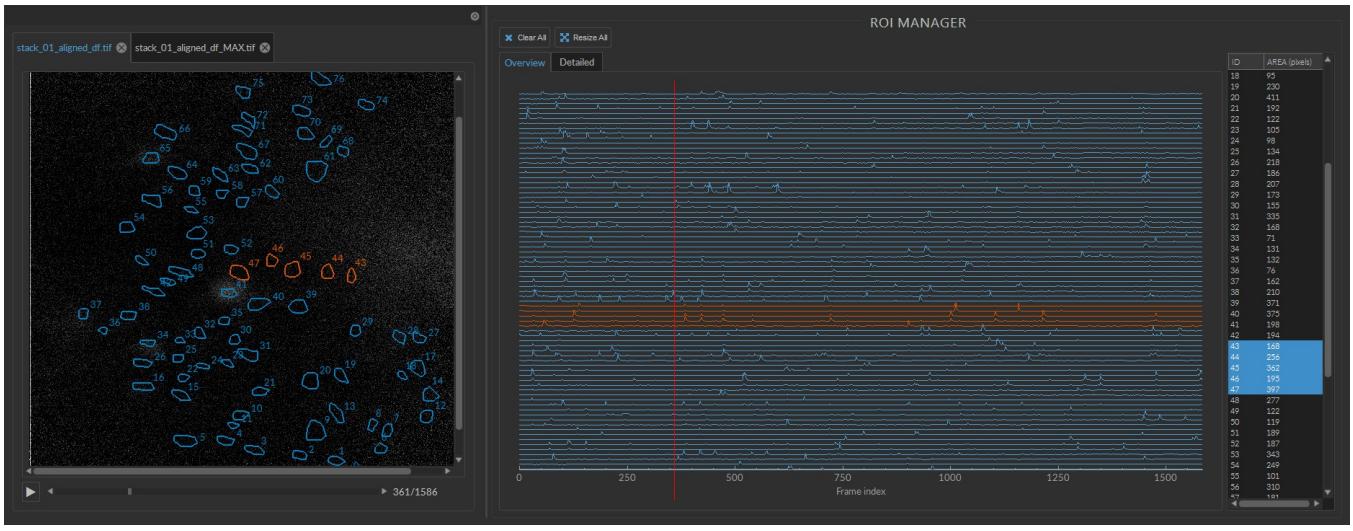


Figure 4.8 : *Gestionnaire de régions d'intérêt*

Le gestionnaire de régions d'intérêt (ROI) calcule l'intensité moyenne d'une section définie de l'image sur l'ensemble d'une pile d'images. Il n'y a aucune limite au nombre de régions d'intérêt autorisées par pile d'images.

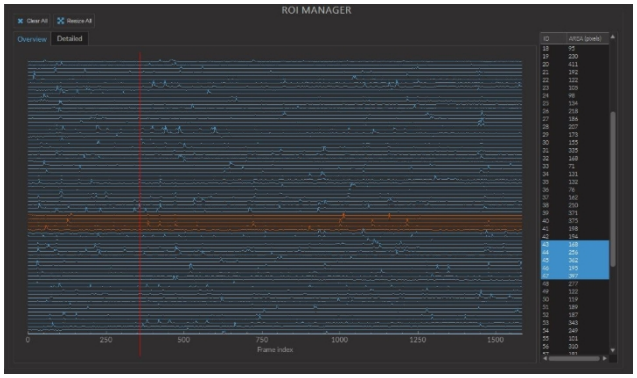
1. La **visionneuse d'images** contient la pile d'images et les régions d'intérêt, numérotées selon l'ordre dans lequel elles ont été définies. Les régions d'intérêt peuvent être sauvegardées indépendamment de la pile d'images à partir de la barre d'outils des régions d'intérêt. Les régions d'intérêt sont dessinées directement sur la *visionneuse d'images* à main levée.

2. Le panneau « **Graphique d'intensité »** affiche le graphique de l'intensité moyenne en fonction de l'index de l'image. L'axe des Y représente le nombre moyen de tous les pixels de la région d'intérêt. Il est divisé en deux onglets : « *Aperçu* » et « *Détaillé* ».

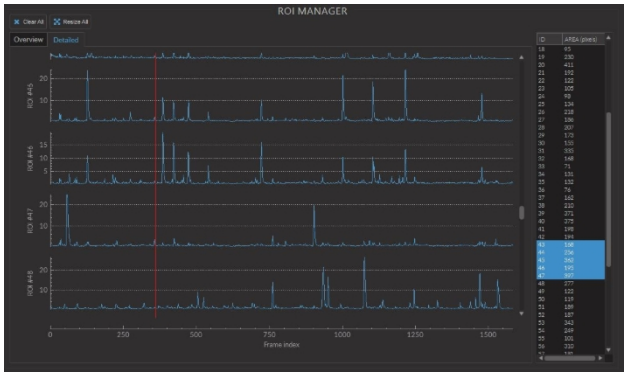
   - L'onglet **« Aperçu »** affiche toutes les courbes sur le même graphique, à la même échelle (voir fig. 4.9a).
   - L'onglet **« Détaillé »** affiche chaque courbe sur un graphique distinct, ce qui permet d'effectuer des mesures d'intensité précises (voir fig. 4.9b).

3. La liste « **Données de la région d'intérêt »** présente les paramètres définissant chaque région d'intérêt. Les éléments sélectionnés s'affichent en orange dans la visionneuse d'images et sur le graphique « Aperçu ».

   - **L'identifiant** indique l'ordre de la région d'intérêt (en commençant par 0).
   - La « **Surface »** indique la surface (en pixels) contenue dans la région d'intérêt.



(a) *Graphique « Aperçu »*



(b) *Graphique « Détaillé »*

Figure 4.9 : *Onglets du graphique du gestionnaire de régions d'intérêt*

4.1.3 Algorithmes

Contraste

Le réglage du contraste applique l'opération suivante à chaque pixel de l'image : $V_{out} = AV_{in}^{\gamma}$, où V_{out} est la valeur corrigée du pixel, A = 1, V_{in} est la valeur initiale du pixel et γ est la valeur sélectionnée à l'aide du curseur de contraste.

Plages minimale et maximale

Lorsque les valeurs de la plage d'affichage diffèrent des valeurs par défaut min = 0 et max = 1020, l'opération suivante est appliquée à chaque pixel : V_{out} = 1020 ∗ (V_{in} – min)/(max – min), où V_{out} est la valeur corrigée du pixel, V_{in} est la valeur initiale du pixel, min et max sont respectivement les valeurs minimale et maximale du curseur.

Alignement d'images

L'algorithme s'inspire de l'article de Manuel Guizar-Sicairos, Samuel T. Thurman et James R. Fienup, « *Efficient subpixel image registration algorithms* », Opt. Lett. 33, 156-158 (2008). L'idée de base consiste à obtenir une estimation initiale du pic de corrélation croisée par une transformée de Fourier, puis à affiner l'estimation du décalage en suréchantillonnant la transformée de Fourier uniquement dans un petit voisinage de cette estimation au moyen d'une transformée de Fourier par multiplication matricielle. Grâce à cette procédure, tous les points de l'image sont utilisés pour calculer la corrélation croisée suréchantillonnée. Afin d'accroître la précision de l'algorithme, nous utilisons le laplacien des images comme données d'entrée, plutôt que les images brutes. En bref, l'algorithme suit les étapes suivantes :

1. Calculez le flou gaussien de l'image de référence à l'aide d'une fenêtre de taille 39 afin de lisser le bruit à haute fréquence.
2. Calculez le laplacien de l'image de référence floutée.
3. Utilisez les valeurs absolues comme image de référence finale.
4. Répétez les étapes 1 à 4 pour l'image suivante.
5. Calculez la transformée de Fourier bidimensionnelle de l'image de référence et de l'image cible.
6. Multipliez les deux images.
7. Calculez la transformée de Fourier inverse de l'image résultante.
8. Déterminez la position du pic de corrélation maximal.
9. Créez un tableau suréchantillonné autour du pic de corrélation maximal afin d'affiner les calculs de décalage.
10. Calculez la transformée de Fourier du tableau élargi.
11. Effectuez la multiplication matricielle.
12. Localisez la corrélation maximale et remettez-la dans l'espace d'origine.

$\Delta F/F_0$

L'algorithme calcule un $\Delta F/F_0$ standard, où F_0 correspond à l'intensité moyenne temporelle, avec une étape de prétraitement facultative visant à éliminer les artefacts liés aux variations d'éclairage. Afin de calculer correctement le $\Delta F/F_0$, l'algorithme utilise une image noire pour tenir compte du décalage électronique du capteur. Le calcul $de\ \Delta F/F_0$ sans soustraction du décalage entraînera des valeurs artificiellement plus faibles. Pour enregistrer une image noire, réglez le pilote du microscope sur l'exposition et le gain souhaités, mettez la puissance de la DEL à zéro et prenez une image. Avant de calculer F_0, les variations temporelles moyennes peuvent être compensées afin d'obtenir un profil moyen temporel plat (fig. 4.10). Gardez à l'esprit que la suppression du profil temporel moyen peut également faire disparaître les motifs d'activité globaux.

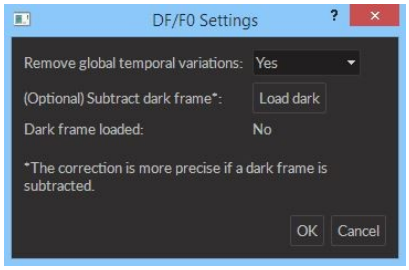


Figure 4.10 : *Paramètres de $\Delta F/F_0$*

En bref, l'algorithme suit les étapes suivantes :

1. Calculer l'intensité moyenne de l'image en fonction du temps (C).
2. Si l'option de suppression des variations globales est sélectionnée, appliquer la correction suivante à chaque image : $I_{out} = (I_{in} - I_{dark}) * (moyenne(C - I_{dark})/(C - I_{dark}))$ où I_{out} est l'image corrigée de l'éclairage par DEL, I_{in} l'image d'entrée et C la courbe temporelle moyenne.
3. Calculez F_0 comme étant la projection moyenne du film.
4. Calculez la variation relative $R(t)$ du signal de fluorescence : $R(t) = (F(t) - F_0)/F_0$.

Rechercher les cellules

Cet algorithme s'inspire des travaux d'Eran A. Mukamel, Axel Nimmerjahn et Mark J. Schnitzer, intitulés « *Automated analysis of cellular signals from large-scale calcium imaging data* », publiés dans Neuron 63(6), 747-760 (2009). L'idée de base consiste à utiliser une analyse en composantes principales (ACP) comme entrée d'une analyse en composantes indépendantes (ACI) afin de séparer les différents signaux temporels contenus dans le film. Cette méthode sert de point de départ pour déterminer la position des différentes cellules actives. Elle est associée à une routine de segmentation optimisée pour réduire les faux positifs. L'algorithme *« Find Cells »* utilise des limites définies par l'utilisateur, illustrées à la figure 4.11. Le premier paramètre est une estimation du nombre de cellules présentes dans la séquence vidéo. Par conception, il doit être inférieur au nombre d'images moins cinq. Les paramètres suivants correspondent au plus petit et au plus grand diamètre des objets, en microns. Ces valeurs servent à filtrer les objets détectés par la PCA/ICA.

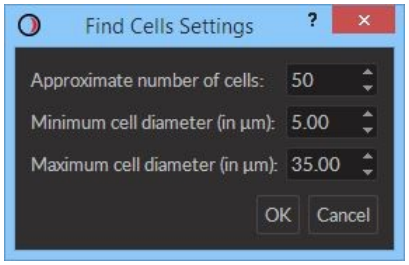


Figure 4.11 : *Paramètres de « Find Cells »*

En bref, l'algorithme suit les étapes suivantes :

1. Calculer et soustraire la moyenne spatio-temporelle de la vidéo, car l'algorithme PCA/ICA nécessite des données de moyenne nulle.
2. Exécuter l'algorithme PCA d'OpenCV sur les données centrées.
3. Normaliser les données par l'écart-type.
4. Calculer l'ICA en utilisant les données de l'ACP comme données d'entrée.
5. Appliquer la segmentation à chaque ICA détectée.
6. Filtrer les contours détectés à l'étape précédente à l'aide de limites définies par l'utilisateur.

Projection en pile

Cette fonction peut être utilisée pour faciliter le traçage des régions d'intérêt (ROI). Elle calcule une projection temporelle à l'aide de la méthode définie par l'utilisateur (voir la figure 4.12).

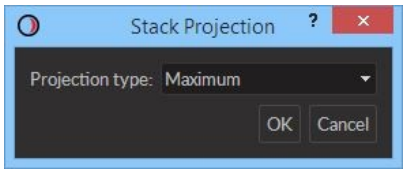


Figure 4.12 : *Paramètres de la projection de pile*

Maximum : la sortie correspond à la valeur maximale trouvée dans toutes les images pour chaque pixel.

Moyenne : la sortie correspond à la valeur moyenne de toutes les images pour chaque pixel.

Somme : le résultat correspond à la somme de toutes les images pour chaque pixel.

Minimum : le résultat correspond à la valeur minimale trouvée dans toutes les images pour chaque pixel.

4.2 Analyseur photométrique

Ce module offre un moyen simple d'extraire les données pertinentes à partir des données acquises par la console de photométrie à fibre Doric. Le logiciel charge les données au format .CSV ou .doric, met en œuvre des fonctions de traitement du signal et enregistre les courbes au format .CSV ou .doric. Ce logiciel ne remplace pas les outils d'analyse standard tels que Matlab, ImageJ ou Excel, mais vise à offrir des algorithmes de traitement utiles développés spécifiquement pour les données photométriques.

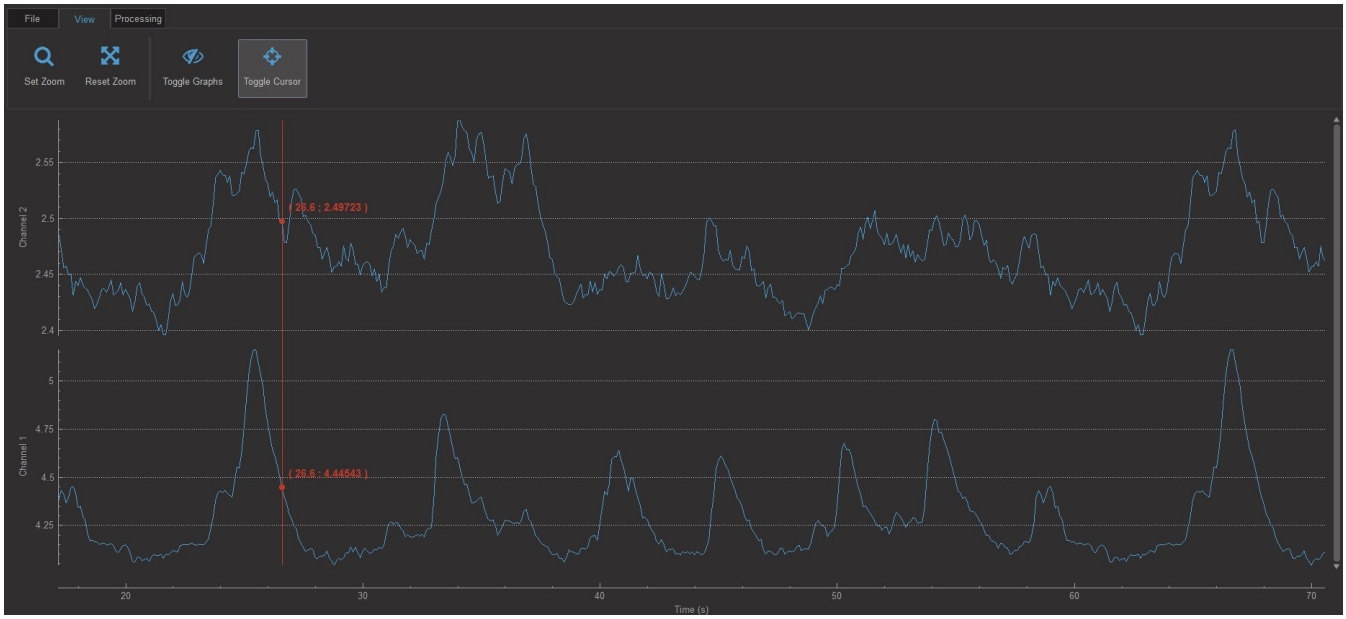


Figure 4.13 : *Interface du module d'analyse photométrique*

1. **La zone graphique** affiche les données chargées et permet de naviguer parmi les points à l'aide du zoom et du glissement.
2. **La barre d'outils des fonctions** contient tous les boutons et les fonctions accessibles.

4.2.1 Barre d'outils des fonctions

1. **L'onglet Fichier** (fig. 4.14) sert à charger et à sauvegarder des données,

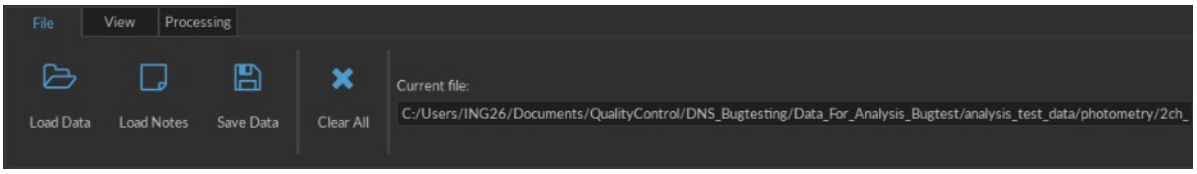


Figure 4.14 : *Onglet Fichier*

- Le bouton **« Charger les données »** charge un fichier .CSV ou .doric dont la première ligne correspond aux en-têtes et la première colonne à l'axe des x. Il est possible de sélectionner la ou les colonnes à importer.
- Le bouton « **Enregistrer les données »** enregistre les données définies par l'utilisateur dans un fichier .CSV ou .doric.
- Le bouton **« Effacer tout »** efface toutes les données chargées du module. Cette opération ne peut pas être annulée.

2. **L'onglet « Affichage** » (fig. 4.15) sert à modifier la présentation des données affichées.

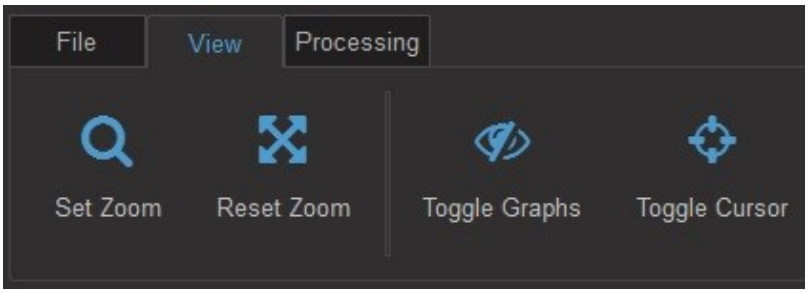


Figure 4.15 : *Onglet « Affichage »*

- Le bouton **« Définir le zoom »** ouvre la fenêtre **« Définir la plage d'affichage personnalisée »** (Fig. 4.16). Cette fenêtre permet de sélectionner les valeurs des axes associées au bouton « **Réinitialiser le zoom** ». L'option **« Automatique »** choisira les valeurs permettant d'afficher toutes les données chargées.

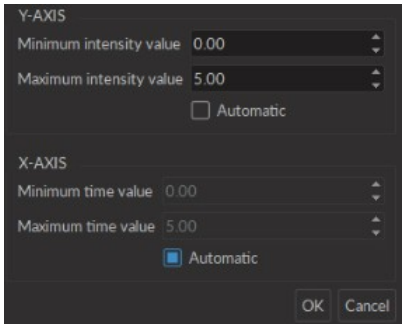


Figure 4.16 : *Fenêtre « Définir la plage d'affichage personnalisée »*

- Le bouton « **Réinitialiser le zoom »** redimensionne les axes selon les valeurs définies dans la fonction « *Définir le zoom* ».
- Le bouton **« Afficher/Masquer les graphiques »** ouvre la fenêtre **« Afficher/Masquer les graphiques »** (fig. 4.17). La liste affichée dans cette fenêtre permet d'afficher ou de masquer les graphiques actuels.

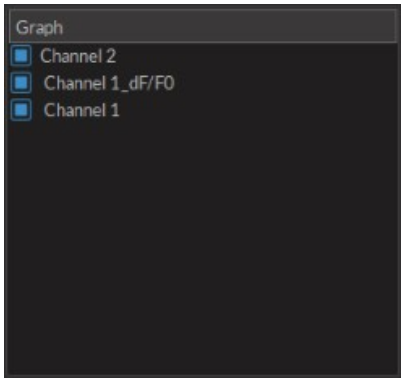


Figure 4.17 : *Fenêtre « Afficher/Masquer les graphiques »*

- Le bouton **« Activer le curseur »** ajoute un curseur aux graphiques qui indique les coordonnées locales du temps et de l'intensité, comme illustré en rouge à la figure 4.13.

3. **L'onglet « Traitement »** sert à contrôler les différentes fonctions de traitement.

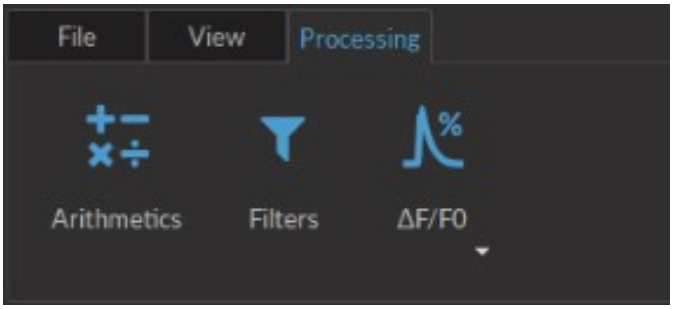


Figure 4.18 : *Onglet « Traitement »*

- La fonction « **Arithmétique** » applique des opérations arithmétiques de base (+, –, ×, ÷) entre deux canaux. Le résultat est affiché dans un nouveau graphique.

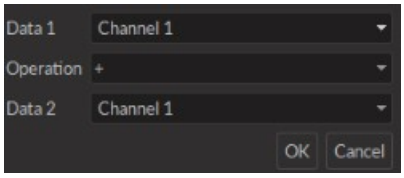


Figure 4.19 : *Fenêtre « Arithmétique »*

- La fonction **« Filtre »** ouvre la fenêtre **« Filtre »** (fig. 4.20) et utilise un filtre de Butterworth pour éliminer les fréquences indésirables des données. Ces filtres peuvent être de **type passe-bande, coupe-bande, passe-bas** ou **passe-haut**.

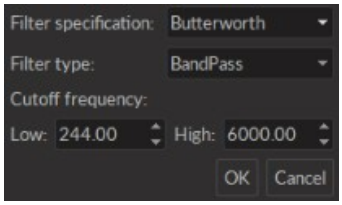


Figure 4.20 : *Fenêtre « Filters »*

- La fonction **$\Delta F/F_0$** ouvre la fenêtre « **Sélectionner les traces à traiter** » (fig. 4.21). Elle sert à calculer la variation normalisée de la fluorescence des données et affiche les résultats dans un nouveau graphique. Voir la section 4.2.2 pour plus de détails.
  - **Le canal de référence** est choisi à l'aide de la liste des canaux. La valeur $\Delta F/F_0$ peut être calculée soit pour un canal par rapport à lui-même, soit par rapport à un autre canal servant de référence (*par exemple*, si un canal représente le signal et l'autre canal la référence). Dans ce dernier cas, la valeur $\Delta F/F_0$ est calculée indépendamment pour chaque canal, puis le signal et la référence sont soustraits.
  - **La méthode de calcul de F_0** indique la méthode utilisée pour évaluer F_0, soit à l'aide d'une moyenne glissante, soit à l'aide de la méthode des moindres carrés moyens.
  - Le champ **« Intervalle de temps (s) »** permet de choisir un segment de temps à traiter à partir de l'ensemble de données chargé.

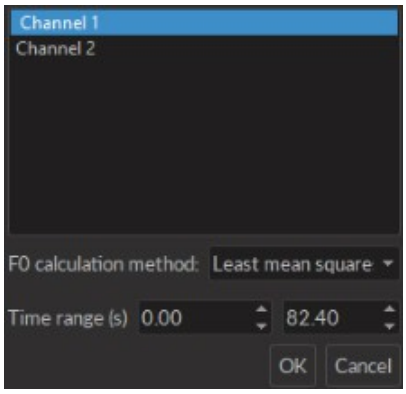


Figure 4.21 : *Options $\Delta F/F_0$*

4.2.2 Algorithmes

$\Delta F/F_0$

Pour chaque point, l'intensité de fluorescence traitée $I_t$est définie comme suit : $I_t = (F_t - F_0)/F_0$, où $F_t$représente l'intensité de fluorescence à l'instant t. Pour l'option de calcul de *la moyenne mobile* $de\ F_0$, l'algorithme s'inspire de G. Cui, S. B. Jun,
G. Luo, M. D. Pham, S. S. Vogel, R. M. Costa, « *Mesures optiques en profondeur du cerveau de l'activité neuronale spécifique à chaque type de cellule chez des souris en activité* », Nature Protocols 9, 1213-1228 (2014). En bref, F_0est calculée comme la variation moyenne glissante de l'intensité de fluorescence sur une fenêtre d'une minute. Si la durée disponible est inférieure à une minute, l'algorithme utilise la moyenne de toutes les données. Si la méthode de calcul est *celle des moindres carrés moyens*, l'algorithme s'inspire de T. N. Lerner, C. Shilyansky, T. J. Davidson,
L. Luo, R. Tomer et K. Deisseroth, « *Intact-Brain Analyses Reveal Distinct Information Carried by SNc Dopamine Subcircuits* », *Cell* 162, 635-647 (2015). L'algorithme calculera l'ajustement par la méthode des moindres carrés moyens de l'ensemble de la série de données, et utilisera cet ajustement comme valeur $de\ F_0$.

4.3 Analyseur de suivi comportemental

Ce module permet l'observation d'une vidéo comportementale accompagnée des traces issues des mesures expérimentales. Les données vidéo sont enregistrées au format **.avi**, tandis que les données de traces sont reçues au format **.csv**.

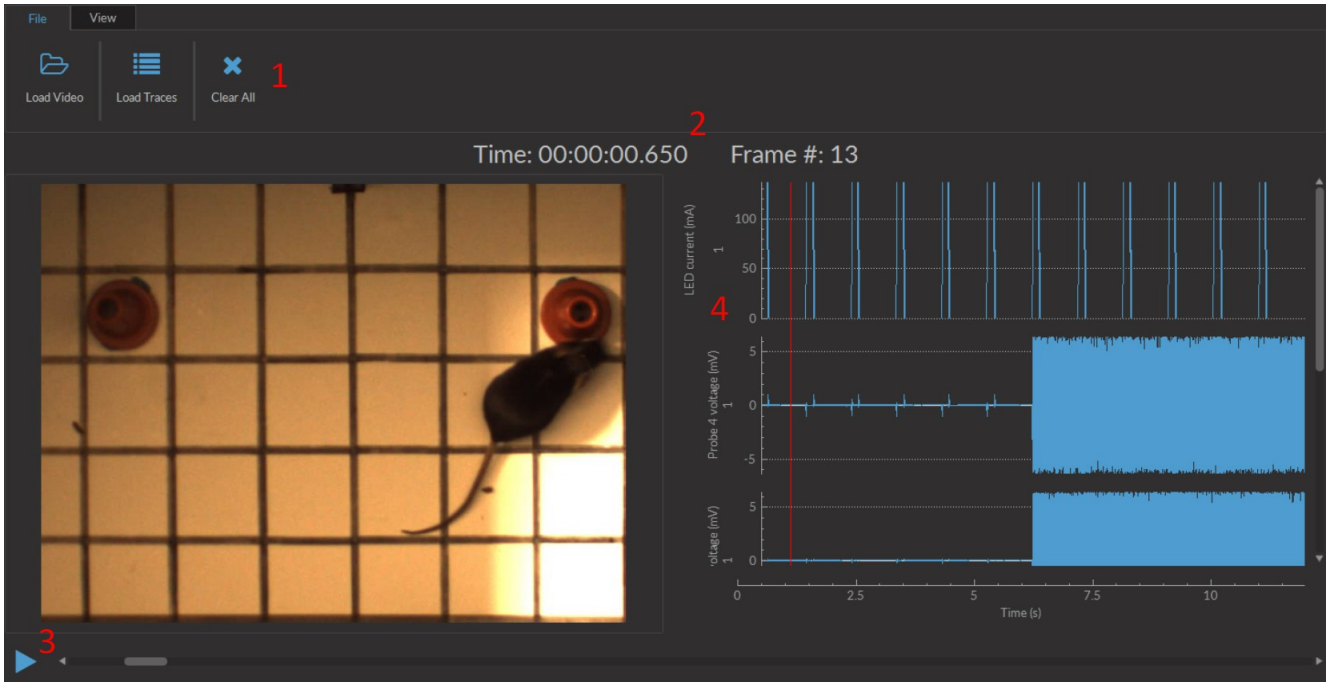


Figure 4.22 : *Interface du module d'analyse de suivi comportemental*

L'interface peut être divisée en quatre sections principales (fig. 4.22).

1. **Les onglets** permettent d'accéder aux fonctions du module.

2. Les compteurs **de temps** indiquent l'horodatage d'une image donnée de la vidéo. Comme la vidéo est enregistrée à une faible fréquence (50 Hz), tandis que les données photométriques peuvent être recueillies à une fréquence très élevée (> 10 kHz), l'horodatage affiché correspond à celui du point de données le plus proche de celui de l'image.

3. La zone **« Vidéo »** sert à afficher la vidéo et à contrôler les images affichées. Le bouton **« Lecture »** situé en bas à gauche lance la vidéo. La barre de défilement à côté permet de sélectionner une image lorsque la vidéo est en pause.

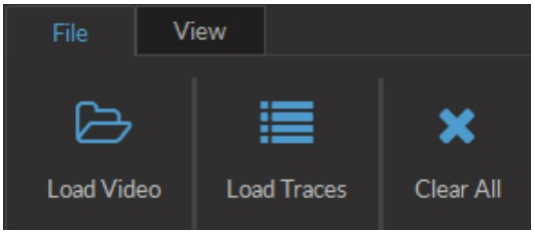
4. La zone **« Traces** » affiche les différentes traces associées à la vidéo. La barre rouge au-dessus des traces correspond à l'horodatage de l'image associée de la vidéo.

4.3.1 Onglets

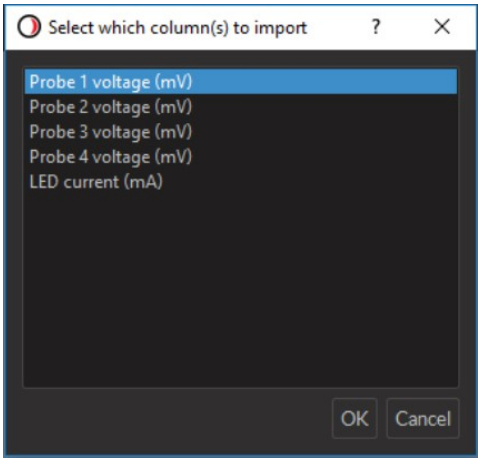
Ce module comporte deux onglets.

1. L'onglet **Fichier** (Fig. 4.23a) sert à charger et à supprimer des données. Le bouton **« Charger une vidéo »** permet de charger des fichiers vidéo **.avi**. Le bouton **« Charger des traces »** vous permet de choisir un fichier **.csv**, puis ouvre la fenêtre de sélection des traces (Fig. 4.23b). À partir de cette fenêtre, vous pouvez sélectionner les traces souhaitées. Le bouton **« Effacer tout »** efface toutes les données expérimentales du module.

2. L'onglet **« Affichage** » (Fig. 4.24) permet de modifier l'affichage de la vidéo. Les boutons **« Zoom avant »** et **« Zoom arrière »** permettent d'agrandir ou de réduire l'affichage de la vidéo. Le bouton **« Réinitialiser le zoom »** rétablit le zoom à **100** %. La liste déroulante **« Facteur de zoom »** permet de choisir un facteur de zoom spécifique, de 10 % à 500 %.



(a) *Module d'analyse du suivi comportemental, onglet Fichier – Vue*



(b) *Module d'analyse du suivi comportemental, fenêtre « Importation de traces »*

Figure 4.23 : *Module d'analyse du suivi comportemental, onglet Fichier*

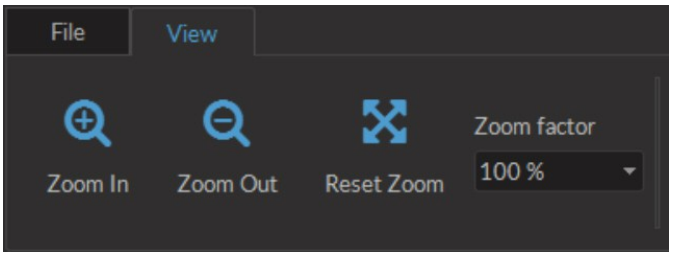


Figure 4.24 : *Module d'analyse du suivi comportemental, onglet « Affichage »*

4.4 Simulateur d'optrode

Ce module permet de simuler la fonction de distribution de la lumière à l'intérieur des tissus lors de l'utilisation d'une optrode. Le logiciel simule la distribution pour de nombreux types de fibres et de conditions, et permet également de placer des électrodes au sein du modèle. Ce logiciel est conçu pour faciliter l'utilisation de sondes opto-électriques de toutes sortes.

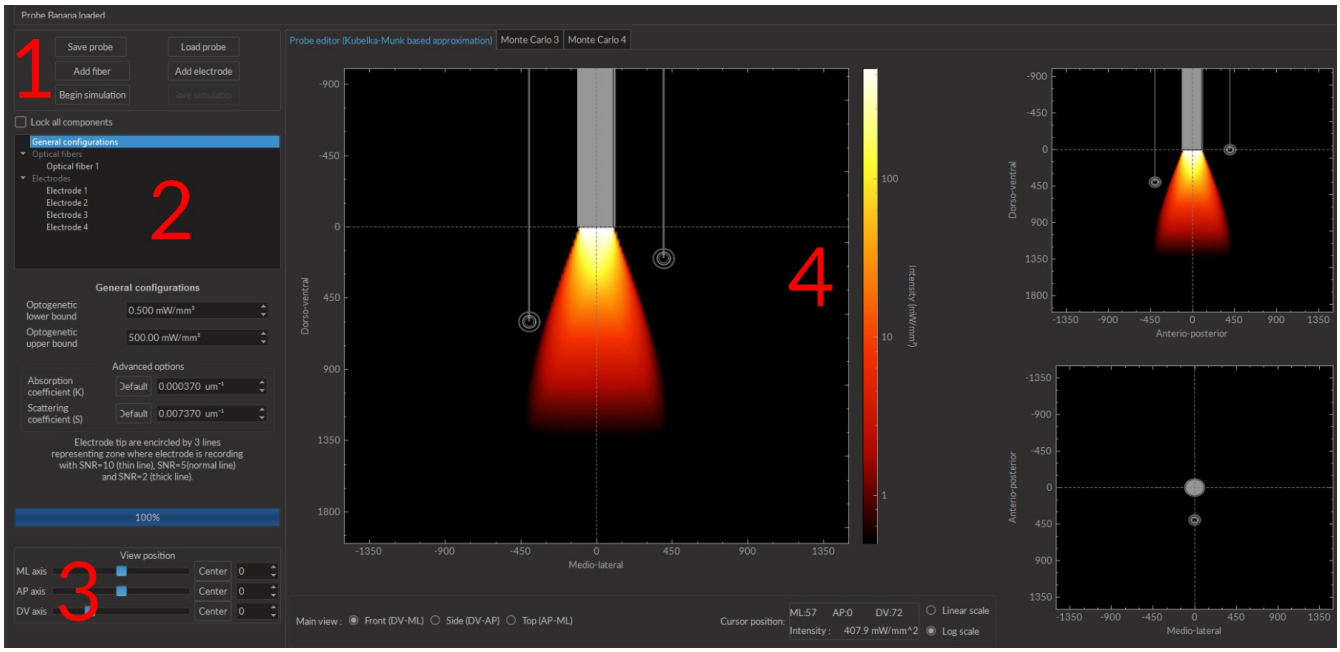


Figure 4.25 : *Simulateur d'optrode*

Le module « Optrode Simulator » (fig. 4.25) peut être divisé en quatre sections.

1. La fenêtre **de contrôle** permet d'enregistrer et de charger des configurations de simulation, d'ajouter des fibres et des électrodes, ainsi que d'exécuter et d'enregistrer des simulations.
2. La boîte **de configuration** affiche toutes les électrodes et fibres de la simulation et permet d'accéder à leurs spécifications.
3. La fenêtre **« Position de vue »** permet de modifier le positionnement des éléments de simulation dans l'espace tridimensionnel.
4. La zone **de tracé** affiche la position relative dans l'espace de chaque élément de la simulation, ainsi que la distribution de la lumière dans l'espace simulé.

4.4.1 Boîte de contrôle

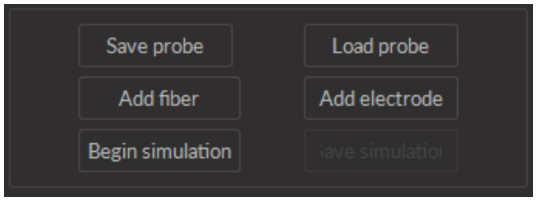


Figure 4.26 : *Boîte de contrôle*

La boîte de contrôle comporte 6 boutons servant à contrôler la simulation.

- Le bouton **« Enregistrer la sonde »** enregistre les paramètres d'un élément unique (fibre ou électrode) provenant de la boîte de configuration dans un fichier au format **.json**.

- Le bouton **« Charger la sonde »** charge les paramètres d'un élément (fibre ou électrode) à partir d'un fichier au format **.json**.
- Le bouton « **Ajouter une fibre »** ajoute une nouvelle fibre à la **boîte de configuration**.
- Le bouton « **Ajouter une électrode »** ajoute une nouvelle électrode à la **boîte de configuration**.
- Le bouton « **Démarrer la simulation »** lance la simulation de la diffusion de la lumière dans le milieu simulé selon un modèle basé sur la méthode de Monte-Carlo. Une fois la simulation terminée, un deuxième onglet apparaîtra dans la boîte « **Graphique** ».
- Le bouton « **Save Simulation » (Enregistrer la simulation)** enregistre les données obtenues à partir d'une simulation dans un fichier texte **.csv**.

4.4.2 Boîte de configuration

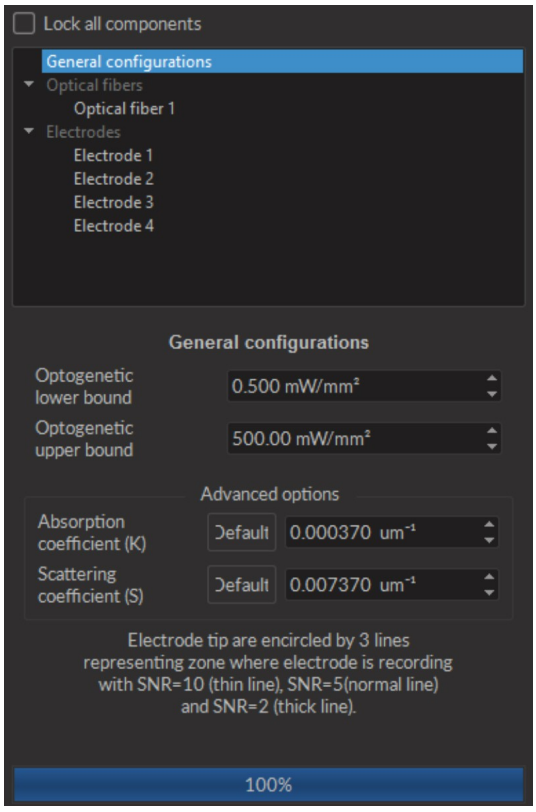


Figure 4.27 : *Boîte de configuration*

1. La case à cocher « **Verrouiller tous les composants »** verrouille le mouvement des composants utilisés dans la simulation afin qu'ils se déplacent ensemble plutôt que séparément.
2. La fenêtre **« Élément »** affiche la liste de tous les paramètres actuellement utilisés dans la simulation. Si plusieurs électrodes et fibres optiques sont utilisées, il est possible de masquer la liste complète en cliquant sur la flèche située à gauche. En cliquant sur un nom dans cette liste, on peut accéder aux paramètres associés.
3. La section **de configuration « Général »** (fig. 4.27) permet de définir des paramètres généraux qui auront une incidence sur l'ensemble de la simulation.
    - **Les limites supérieure et inférieure optogénétiques** définissent les valeurs de densité de puissance optique affichées sur le graphique. Toute valeur de densité de puissance supérieure à la limite inférieure et inférieure à la limite supérieure sera affichée sur le graphique de la distribution lumineuse.
    - Le paramètre « **Coefficient d'absorption »** permet de choisir le coefficient d'absorption de l'espace simulé. Les valeurs par défaut présentées correspondent aux tissus cérébraux pour une lumière d'une longueur d'onde de 500 nm.
    - Le paramètre « **Coefficient de diffusion »** permet de choisir le coefficient de diffusion de l'espace simulé. Les valeurs par défaut présentées s'appliquent aux tissus cérébraux pour une lumière d'une longueur d'onde de 500 nm.

- Dans cette section, on décrit la signification des cercles concentriques apparaissant sur le graphique autour d'une électrode. Plus le cercle est fin, plus le rapport signal-bruit (SNR) du signal reçu dans cette région est faible. Du cercle intérieur à l'électrode, SNR = 10; du cercle intermédiaire au cercle intérieur, SNR = 5; et du cercle extérieur au cercle intermédiaire, SNR = 2.
- **La barre de progression** indique l'avancement d'une simulation en cours de calcul.

4. La section **Fibres optiques X** (où X correspond au numéro de la fibre) (fig. 4.28) présente tous les paramètres permettant de définir la fibre optique utilisée.

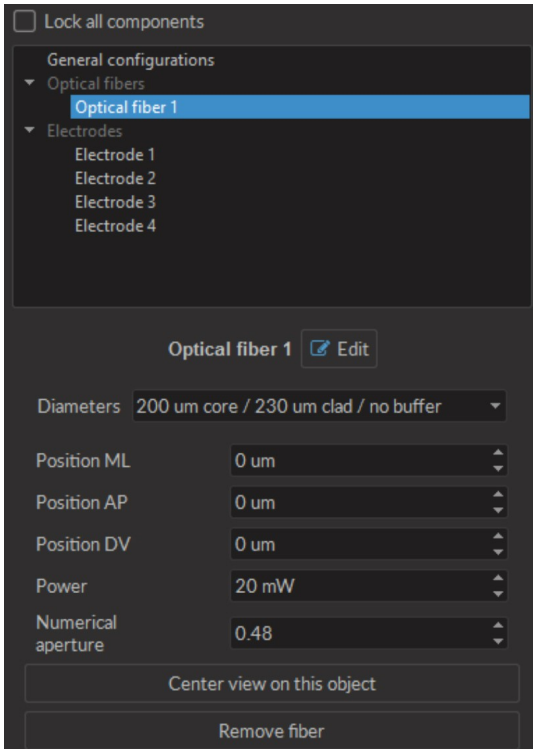


Figure 4.28 : *Fenêtre des paramètres, Fibre optique X*

- Le bouton « **Modifier »** permet de modifier le nom de la fibre.
- Le paramètre « **Diamètres** » permet de choisir le type de fibre utilisé. La liste déroulante propose plusieurs fibres optiques utilisées par Doric Lenses pour fabriquer des optrodes.
- Le paramètre « **Position ML »** permet de choisir la position de la fibre le long de l'axe *médio-latéral*.
- Les paramètres « **Position AP** » permettent de choisir la position de la fibre le long de l'axe *antéro-postérieur*.
- Les paramètres « **Position DV** » permettent de choisir la position de la fibre le long de l'axe *dorso-ventral*.
- Le paramètre **« Puissance »** permet de choisir la puissance optique (en mW) sortant de la fibre.
- Le paramètre « **Aperture numérique »** indique l'ouverture numérique de la fibre.
- Le bouton « **Center View on this object » (**Centrer la vue sur cet objet) centre le graphique sur la fibre optique indiquée.
- Le bouton « **Supprimer la fibre »** supprime la fibre de la liste des fibres et des graphiques.

5. La section « **Électrode X** » (où X correspond au numéro de l'électrode; fig. 4.29) présente tous les paramètres permettant de définir l'électrode utilisée. Les fonctions sont identiques à celles de la section « **Fibre optique X** » portant le même nom, à une exception près.

- La liste déroulante « **Électrode** » permet de choisir le type d'électrode utilisé dans l'expérience. Celles-ci sont classées en fonction du diamètre du fil (en µm) et de l'impédance (en MΩ). Il s'agit d'électrodes standard fournies par Doric Lenses.

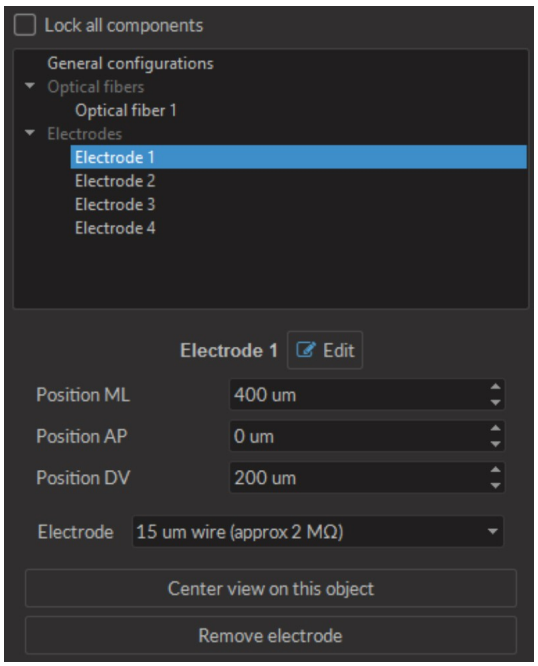


Figure 4.29 : *Fenêtre de paramètres, Électrode X*

4.4.3 Fenêtre « Plot »

La fenêtre **de tracé** (fig. 4.30) affiche des vues de l'espace simulé le long des axes *médio-latéral*, *dorso-ventral* et *antéro-postérieur*. Plusieurs onglets correspondant à différentes simulations peuvent être utilisés; ces onglets apparaissent dans le coin supérieur gauche de la fenêtre. Les onglets portent le nom du modèle utilisé dans la simulation; l'onglet par défaut correspond au modèle de Kubelka-Munk.

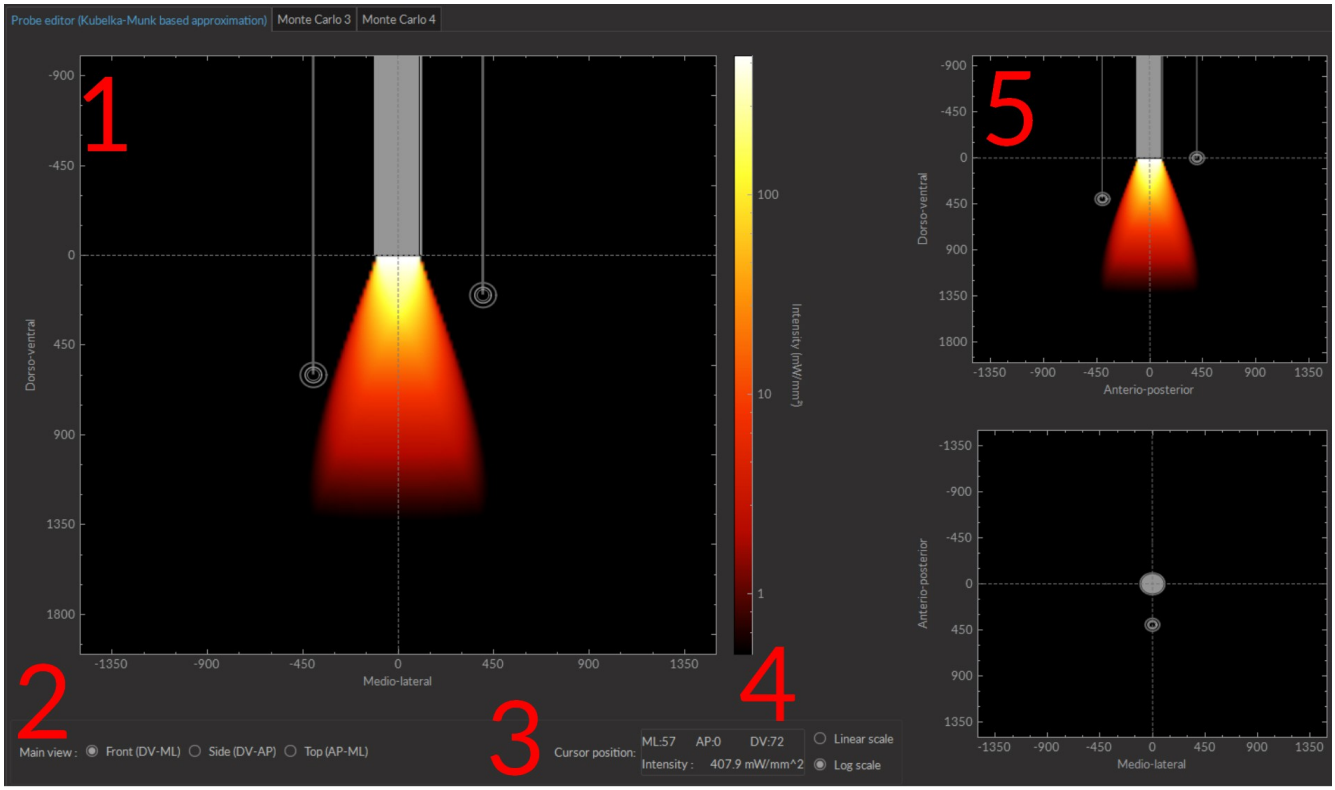


Figure 4.30 : *Fenêtre de tracé*

1. **Le graphique principal**, situé dans la partie gauche de la fenêtre, présente une vue à grande échelle de la situation simulée pour un axe donné.

2. Les cases à cocher de **la « Vue principale** », situées en bas à gauche, permettent de modifier l'axe principal du graphique principal.

3. **L'échelle d'intensité** (en mW/mm^2), à droite du graphique, affiche les couleurs correspondant à l'intensité de la lumière sortant de l'optrode sur le graphique. Les cases à cocher situées sous l'échelle permettent également de passer d'**une échelle logarithmique** à **une échelle linéaire**.

4. La zone **« Position du curseur** » indique l'emplacement du curseur sur un graphique, par rapport aux trois axes. Elle affiche également l'intensité optique locale (en mW/mm^2).

5. Les deux **graphiques de droite** présentent des versions réduites de l'espace simulé le long des axes qui ne sont pas représentés sur le graphique principal.

4.5 Module d'analyse électrophysiologique

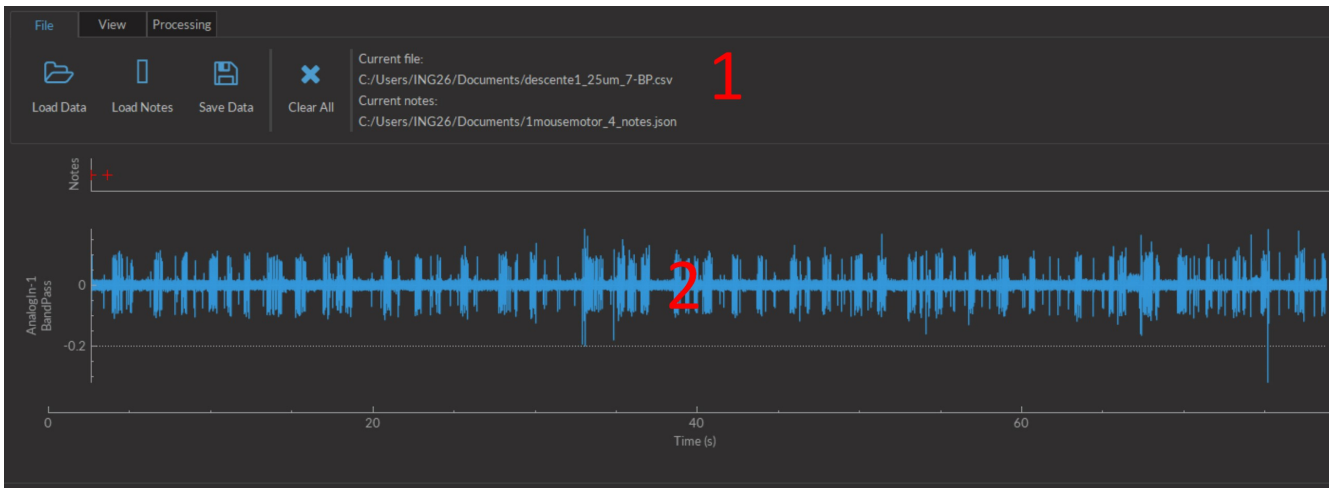


Figure 4.31 : *Module d'analyse électrophysiologique*

Le module d'analyse électrophysiologique (fig. 4.31) est conçu pour traiter les données électrophysiologiques. Le module est divisé en deux sections principales.

1. **La boîte de contrôle** contient toutes les commandes, réparties dans les onglets **Fichier**, **Affichage** et **Traitement**.
2. **La zone Graphique** contient tous les graphiques actuellement affichés ainsi que les notes horodatées.

4.5.1 Fichier

L'onglet **Fichier** permet de charger et d'enregistrer des données.

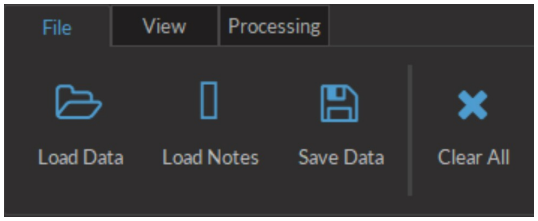


Figure 4.32 : *Onglet Fichier*

- Le bouton « **Charger les données »** permet de charger un fichier *.csv*. Le fichier doit contenir des données de temps et de signal.
- La fonction « **Charger les notes** » permet d'importer un fichier *.json* contenant des notes associées à des horodatages. Les fichiers *.csv* et *.json* doivent tous deux contenir la même série chronologique.
- Le bouton « **Enregistrer les données »** permet d'enregistrer les données du graphique dans un fichier *.csv*.
- Le bouton **« Effacer les données »** supprime toutes les données actuellement présentes dans le module. Ces données ne peuvent pas être récupérées; assurez-vous donc qu'elles sont correctement sauvegardées avant de les effacer.
- La zone « **Fichier actuel** » affiche les fichiers actuellement chargés dans le module d'analyse.

4.5.2 Affichage

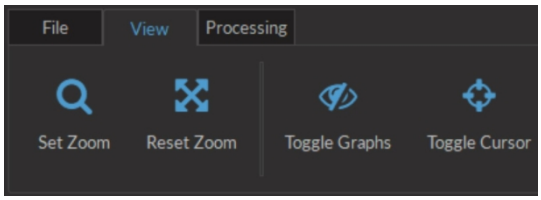


Figure 4.33 : *Onglet « Affichage »*

L'onglet **« Affichage »** (fig. 4.33) sert à ajuster l'affichage dans la **zone « Graphiques »**.

- Le bouton **« Définir le zoom »** ouvre la **fenêtre « Zoom »** (fig. 4.34). Les valeurs minimales et maximales de chaque axe peuvent y être définies. La case à cocher **« Automatique »** sélectionne les valeurs des axes de manière à afficher l'ensemble des données dans leur intégralité.

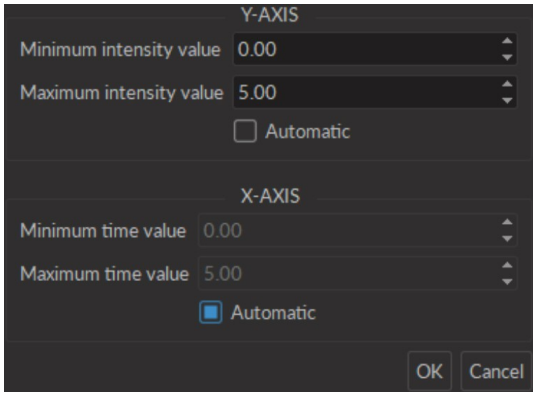


Figure 4.34 : *Fenêtre « Définir le zoom »*

- Le bouton « **Réinitialiser le zoom »** rétablit les valeurs des axes définies dans la fenêtre « **Définir le zoom** ».
- Le bouton « **Basculer les graphiques »** ouvre la fenêtre « **Afficher/masquer les graphiques »** (fig. 4.35). Tous les ensembles de données cochés seront affichés dans la **zone « Graphiques »**.

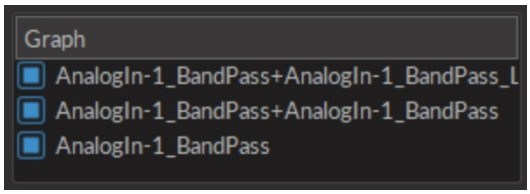


Figure 4.35 : *Fenêtre « Afficher/masquer les graphiques »*

- Lorsque l'on clique sur le bouton « **Activer le curseur** », un curseur rouge s'affiche dans la **zone « Graphiques »**. Ce curseur peut être déplacé vers n'importe quelle partie d'un graphique en cliquant à l'endroit souhaité, ce qui affiche les coordonnées du point choisi. Le curseur sera positionné au même moment sur chaque graphique.

4.5.3 Traitement

L'onglet **« Traitement »** (Fig. 4.36) sert à traiter les ensembles de données chargés dans le module.

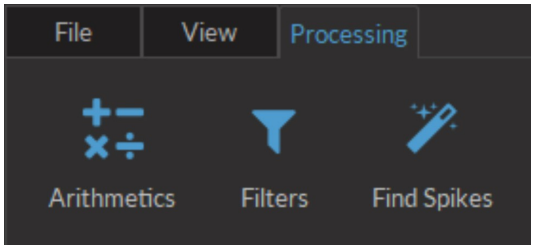


Figure 4.36 : *Onglet « Traitement »*

- Le bouton **« Arithmétique »** ouvre la fenêtre d'arithmétique (fig. 4.37). À partir de cette fenêtre, des opérations arithmétiques simples (+, -, ×, ÷) peuvent être effectuées sur deux ensembles de données quelconques actuellement présents dans le module. Cela inclut les ensembles de données qui ont déjà été traités.

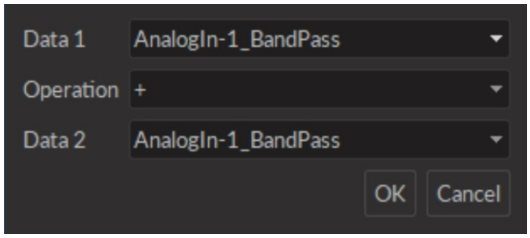


Figure 4.37 : *Fenêtre « Arithmétique »*

- Le bouton **« Filtre »** sert à filtrer la fréquence des ensembles de données. Après avoir sélectionné l'ensemble de données à filtrer, la fenêtre de filtrage (fig. 4.38) s'ouvre. Elle permet de choisir le type de filtre et les variables.

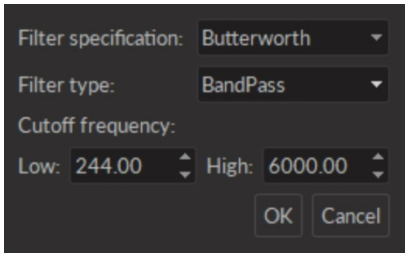


Figure 4.38 : *Fenêtre « Filtre »*

  - **La spécification** « **Filtre** » permet de sélectionner un modèle de filtre.
  - **Le type de filtre** définit s'il s'agit d'un filtre passe-bas, passe-haut ou à bande passante limitée.
  - **La fréquence de coupure** définit les fréquences qui sont filtrées. Les valeurs accessibles dépendent du **type de filtre**.

- Le bouton **« Détecter les pics »** permet l'identification automatique des pics dans l'ensemble de données. Voir la section 4.5.4 pour plus de détails.

4.5.4 Fonction « Trouver les pics »

La fonction **« Recherche de pics** » sert à identifier et à classer automatiquement les pics dans un signal électrophysiologique. En cliquant sur le bouton **« Recherche de pics »**, on est invité à sélectionner un ensemble de données, puis la fenêtre « **Paramètres du détecteur de pics** » (Fig. 4.39) s'affiche, présentant les variables suivantes.

Fenêtre « Paramètres du détecteur de pics »

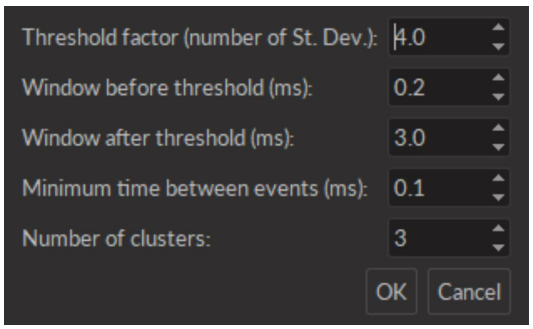
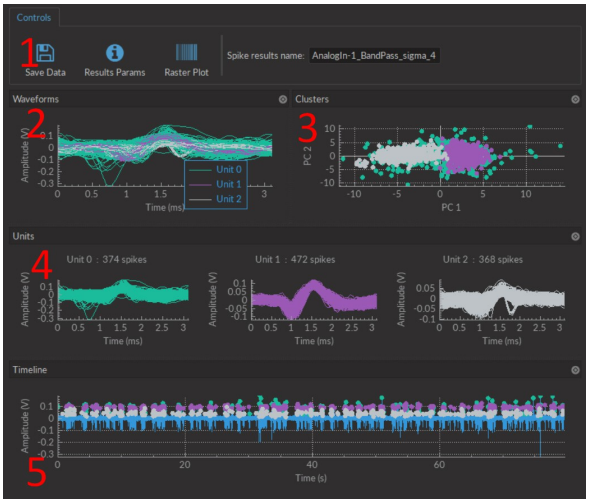


Figure 4.39 : *Fenêtre des paramètres du « Spike Finder »*

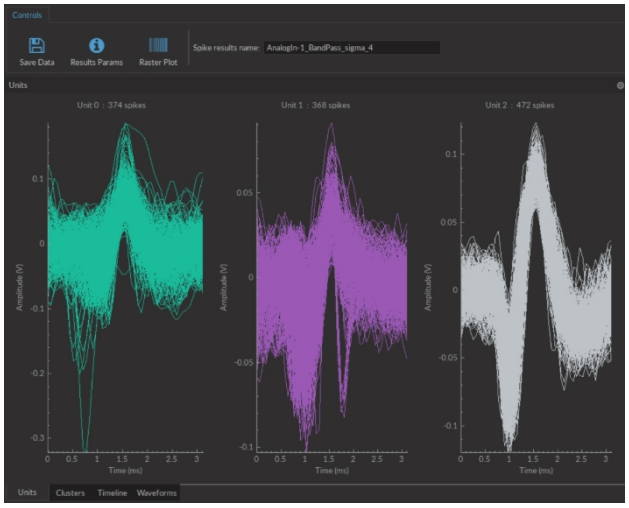
- Le **facteur de seuil** définit le nombre d'écarts-types au-dessus de la moyenne que l'amplitude doit présenter pour être identifiée comme un pic. Un facteur de seuil faible donnera davantage de faux positifs, tandis qu'un facteur de seuil élevé peut rejeter de vrais pics.
- La « **Fenêtre avant/après le seuil »** définit la durée enregistrée (en ms) avant et après le point identifié comme un pic.
- Le « **Temps minimal entre les événements** » définit le temps minimal (en ms) entre deux pics distincts.
- Le « **Nombre d'unités »** définit le nombre de formes d'onde de pics différentes (également appelées « **unités »**) recherchées.

Fenêtre des résultats du détecteur de pics

Les résultats fournis par l'algorithme de détection des pics sont affichés dans la **fenêtre des résultats du détecteur de pics** (fig. 4.40a). La fenêtre est divisée en plusieurs volets. Chaque volet peut être détaché de la fenêtre principale. Il est possible de cliquer sur un volet et de le faire glisser sur un autre; cela transforme chaque volet en onglet (fig. 4.40b, en bas à gauche).



(a) *Fenêtre des résultats du détecteur de pics, affichage complet*



(b) *Fenêtre des résultats du Spike Finder, mode onglets*

Figure 4.40 : *Fenêtre des résultats du détecteur de pics*

1. **La boîte de contrôle** (fig. 4.41) affiche les options disponibles dans la fenêtre.

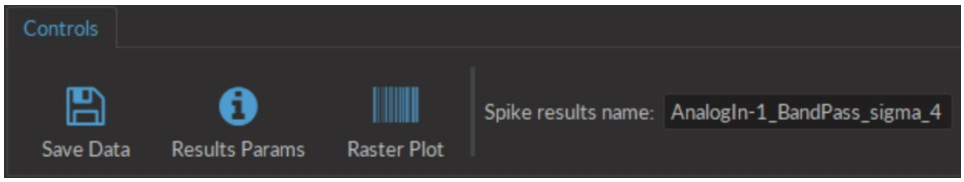


Figure 4.41 : *Boîte de contrôle de Spike Finder*

- Le bouton « **Enregistrer les données »** permet d'enregistrer les données de cette fenêtre au format *.HDF5*. Les données peuvent être ajoutées à une base de données préexistante.
- Le bouton « **Paramètres des résultats »** ouvre une fenêtre affichant les **paramètres de Spike Finder**. Ces paramètres ne peuvent pas être modifiés dans cette fenêtre.
- Le bouton « **Raster Plot »** ouvre la **fenêtre « Raster Plot** » (fig. 4.42). Cette fenêtre affiche le tracé raster de tous les pics au fil du temps, chaque couleur correspondant à un seul groupe. Cette fenêtre peut rester active lors de multiples utilisations de **Spike Finder**, et tous les tracés raster y sont affichés.



Figure 4.42 : *Fenêtre « Raster Plot »*

- Le champ « **Spike results name »** indique le nom de fichier utilisé pour enregistrer les résultats des pics.

2. **La zone « Forme d'onde** » (Fig. 4.43) présente une vue superposée de toutes les différentes formes d'onde des pics récupérées. Chaque couleur correspond à une unité différente, comme indiqué dans la légende.

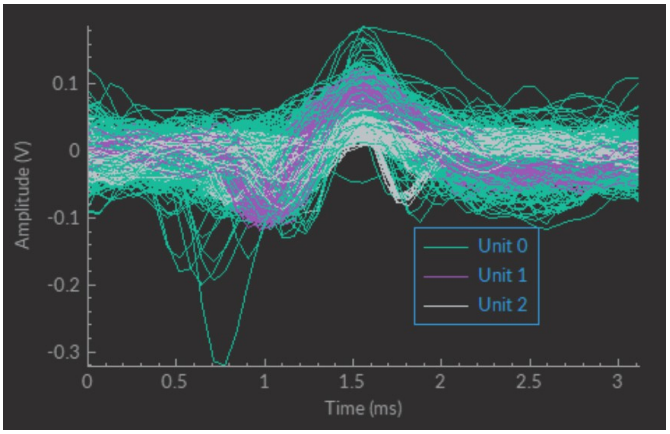


Figure 4.43 : *Boîte « Waveform »*

3. La boîte **« Grappes »** affiche un diagramme de dispersion de toutes les pointes. Chaque couleur correspond à une unité différente.

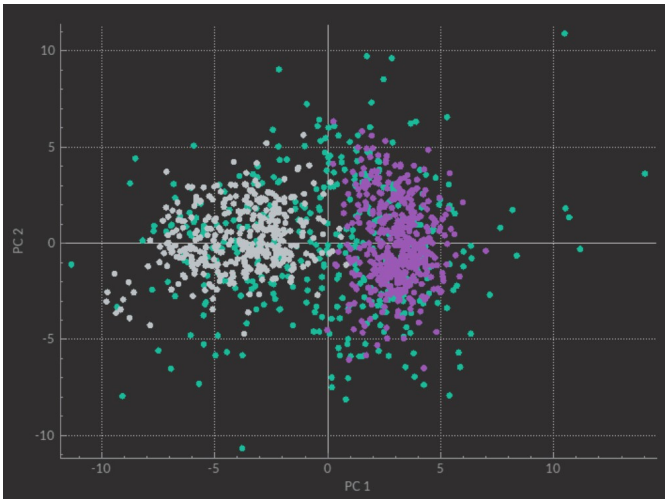


Figure 4.44 : *Boîte « Clusters »*

4. **La boîte « Unités »** présente une vue superposée de tous les pics associés à chaque unité individuelle.

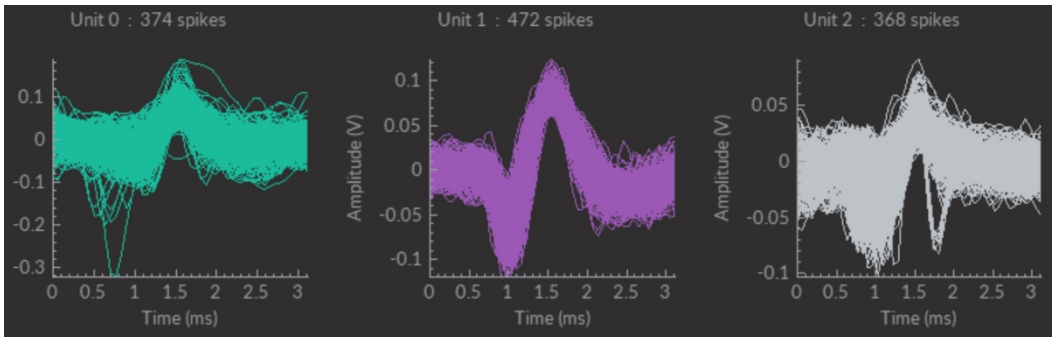


Figure 4.45 : *Boîte « Unité »*

5. **La boîte « Chronologie »** affiche le graphique original avec chaque pic identifié. Chaque couleur indique une unité donnée, telle que définie dans la légende de la **boîte « Forme d'onde »**.

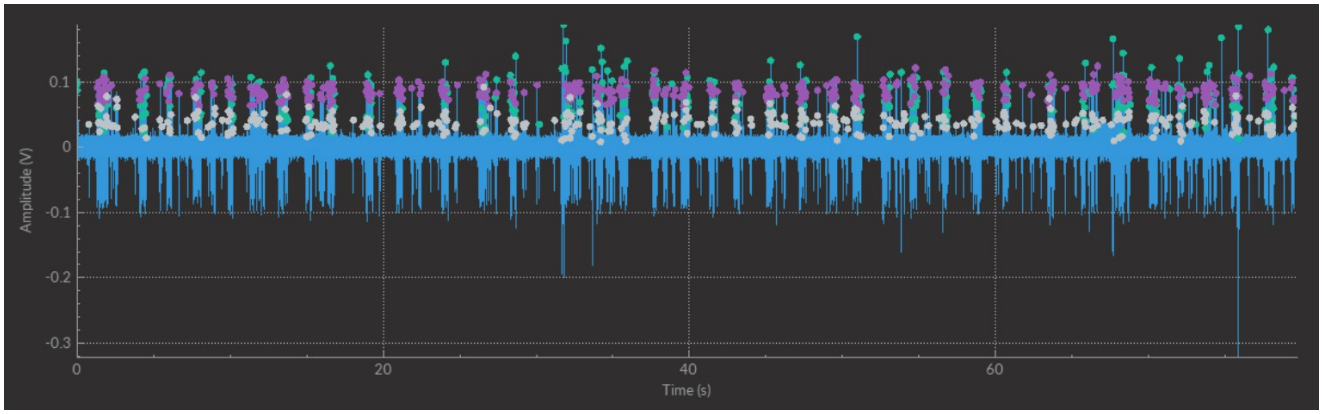


Figure 4.46 : *Boîte « Timeline »*

5

Spécifications

Tableau 5.1 : *Exigences matérielles de Doric Neuroscience Studio*

SPÉCIFICATIONS	VALEUR	REMARQUES
Système d'exploitation Mémoire (minimum/recommandée) Vitesse du processeur (minimum/recommandée) Disque dur	Windows 7, 8, 10 4 Go/16 Go Processeur i5 quadricœur à 2 GHz / Processeur i7 à huit cœurs à 3,46 GHz 500 Mo	64 bits

Tableau 5.2 : *Exigences matérielles du module Doric Neuroscience Studio*

MODULE	MATÉRIEL REQUIS	REMARQUE
Microscopie Caméra comportementale	Carte graphique dédiée Processeur i7 ou supérieur Carte Gigabit Ethernet Alimentation Port USB 3.0 ou Gigabit Ethernet	N'utilisez pas d'adaptateur USB vers Ethernet

6

Assistance

6.1 Contactez-nous

Pour toute question ou tout commentaire,

n'hésitez pas à nous joindre par : **Téléphone** 1-418-877-5600

Courriel sales@doriclenses.com

© 2019 DORIC LENSES INC
357, rue Franquet – Québec (Québec) G1P
4N7, Canada
Téléphone : 1-418-877-5600 - Télécopieur : 1-418-877-1008
www.doriclenses.com