

Obtenez les toutes dernières informations et des résultats d'expériences sur CALIENS par Internet : www.ulice.com

Avant propos

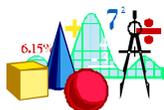
Ce manuel vous sera utile pour mieux appréhender le fonctionnement de CALIENS, qu'il s'agisse de votre première manipulation ou pour approfondir un point spécifique. Au niveau du bandeau supérieur, vous trouverez les idéogrammes suivants :



Formation rapide



Fonctionnalités CALIENS



Suggestions de manipulations (et description de la technologie CCD)

Nous vous conseillons de débiter par la "Formation Rapide". Vous disposerez d'un aperçu des fonctions du système.

Tout au long du manuel, vous trouverez également des astuces ou conseils d'utilisation :



Vous signale un point remarquable

Les documentations des modules Interférences, Michelson, Spectrométrie et Analyse sont incluses à ce manuel.

Nous espérons que CALIENS vous apportera toute satisfaction. L'équipe d'ULICE Optronique est à votre disposition si vous souhaitez de plus amples informations.

Sommaire

SOMMAIRE	2	MODE "ANALYSE"	23
LE SYSTEME CALIENS	3	LES LOOK UP TABLES (CORRECTION GAMMA)	23
 		LES HISTOGRAMMES	24
<u>FONCTIONS FONDAMENTALES - FORMATION RAPIDE</u>	<u>4</u>	SYNTHESE DES FONCTIONS D'ANALYSE	25
 		MODE "SPECTROMETRIE"	26
CONNECTIQUE	4	PARAMETRAGE INITIAL	26
LA FACE ARRIERE DE LA CAMERA	4	ETALONNAGES	27
LA FACE AVANT DE LA CAMERA	5	AFFICHAGE	29
APPRENTISSAGE RAPIDE	6	MODE "MICHELSON"	30
SALLE D'EXPERIMENTATION REQUISE	6	PARAMETRAGE INITIAL	30
LE LOGICIEL CALIENS	8	ACQUERIR DANS LE TEMPS	31
 		ANALYSE DE FOURIER	33
<u>FONCTIONNALITES GENERALES DE CALIENS</u>	<u>12</u>	QUELQUES CONSEILS...	34
 		UTILISATION DE L'OSCILLOSCOPE	35
L'INTERFACE	12	OBTENIR LE SIGNAL, AJUSTER LA DYNAMIQUE	35
LES ICONES DE LA BARRE D'OUTILS PRINCIPALE	13	EVITER ET REMEDIER A LA SATURATION	36
FONCTIONS SUR LES FICHIERS	13	CALCULER UNE DISTANCE	37
TEMPS REEL	14	 	
FONCTIONS D'ACQUISITION ET DE SUPERPOSITION	14	<u>MANIPULATIONS CONSEILLEES & TECHNOLOGIE CCD</u>	<u>38</u>
FONCTIONS DE MESURE ET D'AFFICHAGE	15	 	
FONCTIONS DE CONFORT VISUEL	17	DIFFRACTION, INTERFERENCES, RESEAUX	38
FONCTIONS DE REDUCTION DU BRUIT	17	MANIPULATION	38
FOURIER	19	PRINCIPALES OBSERVATIONS	39
LES FONCTIONS DE LA BARRE D'OUTILS UTILISATEUR	20	OPTIQUE GEOMETRIQUE, CODE BARRE	41
LA SENSIBILITE	20	MANIPULATION	41
LE ZOOM	20	PRINCIPALES OBSERVATIONS	42
 		LES BARRETTES CCD	43
<u>LES MODES DE TRAVAIL</u>	<u>21</u>	LA TECHNOLOGIE	43
 		CARACTERISTIQUE DE LA BARRETTE CCD DE CALIENS.	47
MODE "INTERFERENCES"	21	 	
BARRE D'OUTILS UTILISATEUR	21	<u>INDEX</u>	<u>49</u>
MESURES, CALCULS & SIMULATION	21		



Le système CALIENS



1 - Mallette d'emballage contenant l'ensemble de la configuration à sa livraison. Les mallettes sont facilement superposables.

2 - Documentation du système (ce document).

3 - Tête optique contenant la barrette CCD et son électronique de proximité. La zone sensible est située derrière la fente du boîtier.

4 - Boîtier de contrôle et de traitement électronique. Ce boîtier permet l'interfaçage avec un P.C. et/ou un oscilloscope. Il permet aussi le réglage de la sensibilité de la barrette CCD.

5 - Câble 25 points destiné à la connexion vers le P.C. .

6 - Boîtier d'alimentation secteur. Raccordé au réseau EDF 220V/50Hz, il alimente électriquement la caméra.

7 - Disquettes contenant le programme d'installation du logiciel d'exploitation de CALIENS.

Vous trouverez également un filtre atténuateur de faisceau.



Sécurité du matériel

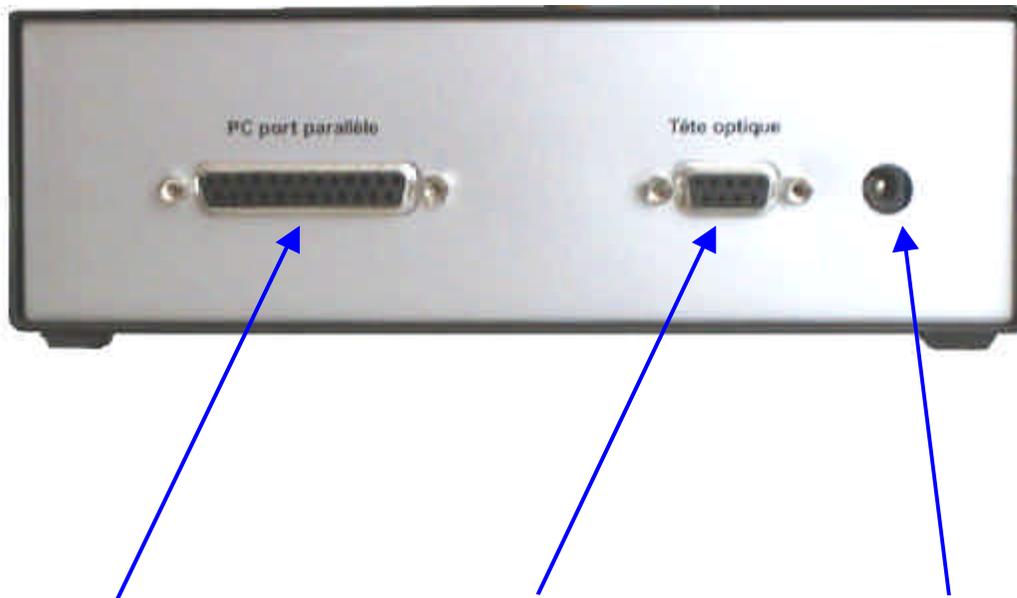
Les éléments 3 et 4 sont sensibles à l'électricité statique. Attention à éviter de toucher les broches de ces connecteurs, ni à les exposer d'une quelconque manière à des décharges électrostatiques. Il est de préférence recommandé de laisser connectés les éléments 3 et 4 lors d'une longue période de non utilisation.



Fonctions fondamentales - Formation rapide

Connectique

La face arrière de la caméra



3 – Câble PC

Connecteur 25 broches pour le port parallèle PC.

2 – Tête CCD

Connecteur 9 broches pour la tête optique

1 – Alimentation

Connecteur d'alimentation de la caméra

Branchements à effectuer ?

Tout d'abord, branchez la tête optique de la caméra au connecteur (2).

Ensuite, vérifiez que l'interrupteur de mise sous tension (face avant) est bien positionné sur « 0 », et branchez l'alimentation au connecteur (1). Attention à toujours utiliser l'alimentation fournie avec la caméra. Mettez la caméra sous tension avant le branchement au PC.

Si besoin est, connectez le câble 25 points d'abord sur le boîtier de la caméra (3) et ensuite sur le PC. Si vous utilisez un oscilloscope, vous pouvez connecter à n'importe quel moment les fiches BNC de la face avant à l'oscilloscope.



Débranchement accidentel

Ne pas brancher ou débrancher la tête optique alors que le matériel est sous tension. Dans ce cas mettre le système à l'arrêt, et remettre le système en marche après 5 secondes.

Le (dé-)branchement du câble PC pendant le fonctionnement peut bloquer la caméra, mettre hors tension puis sous tension 5 secondes après.



La face avant de la caméra

Témoin de tension

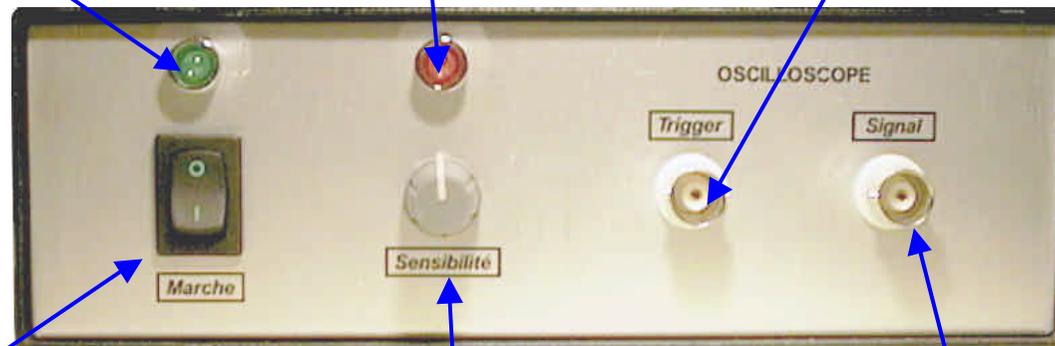
La diode verte s'allume lors de la mise sous tension si le système est correctement alimenté.

Ordinateur présent et maître

Au démarrage, la diode clignote 3 secondes. La diode est allumée si le PC est présent.

Synchronisation du déclenchement

Sortie BNC pour le déclenchement de l'oscilloscope. Permet d'obtenir une visualisation stable par déclenchement externe (sortie de synchronisation).



Interrupteur de mise sous tension

Sur la position « 0 », le système est hors tension. Sur la position « 1 », le système est mis sous tension, la diode verte s'allume, la diode rouge clignote 3 secondes.

Réglage de la sensibilité

Ce potentiomètre règle la sensibilité de la caméra. **Ce réglage est inactif lorsque le PC est connecté.**

Sortie vidéo analogique

Sortie du signal de la caméra. Reliée à un oscilloscope, permet de visualiser le signal et d'effectuer les mesures.



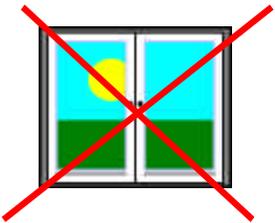
Apprentissage rapide

Pour vous familiariser avec la caméra, nous vous proposons une manipulation de fentes d'Young simple qui vous permettra de découvrir le fonctionnement de CALIENS. La manipulation consiste à réaliser une figure d'interférences, et à mesurer et interpréter les résultats obtenus à l'aide de la caméra.

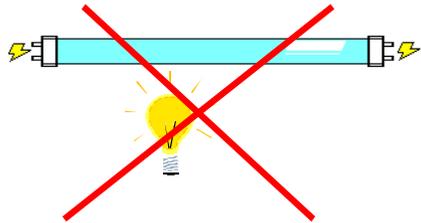
Nous utiliserons la sortie PC (plus facile à interpréter). Pour une utilisation de la sortie analogique (oscilloscope), veuillez vous reporter aux chapitres ultérieurs.

Salle d'expérimentation requise

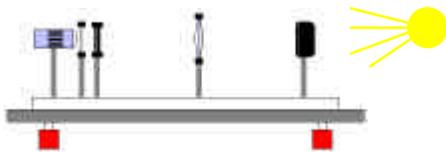
L'environnement de l'expérience



Choisir une pièce sombre. CALIENS doit être manipulée dans l'obscurité ou dans la pénombre. La présence de lumière résiduelle se traduira par un niveau continu, et donc une diminution de la fiabilité des résultats.



Eviter tout éclairage artificiel à partir du réseau EDF. La lumière est modulée à 50 et/ou 100 Hz (alternances du 50 Hz alternatif), ce qui se traduira par une instabilité du signal (si la source utilisée est alimentée alternativement, voir le chapitre *Réduction du bruit*).



Placer le banc de façon à positionner la caméra dos aux éventuelles sources de lumière, parasites ou résiduelles.

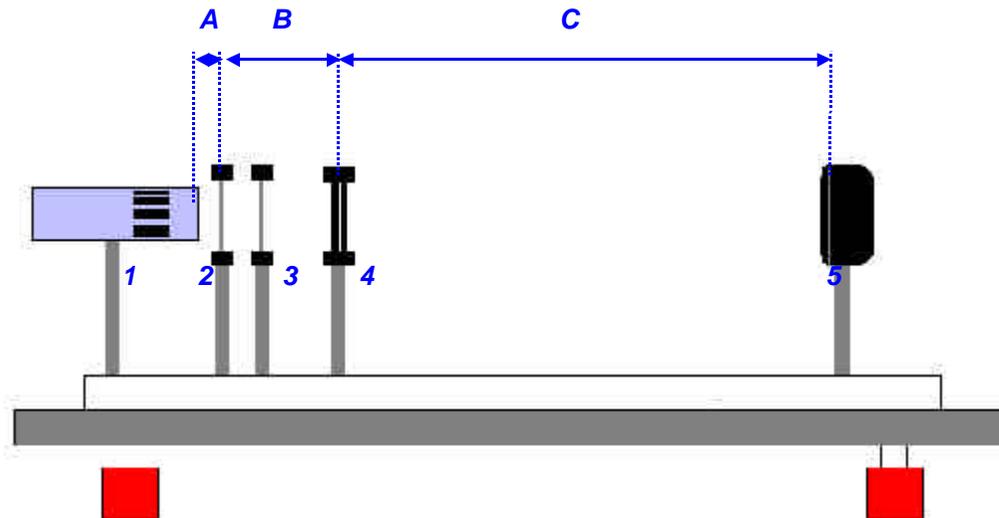
Le filtre atténuateur fourni avec CALIENS est nécessaire pour toutes les applications courantes. Il se visse très simplement sur la bague de la tête optique. Les manipulations sans filtre sont réservées à des applications à très faible luminosité.

Matériel requis pour la première manipulation :

- Caméra CALIENS
- Banc optique, lui même muni des éléments suivants :
 - Source laser (diode laser ou laser à gaz), polarisée ou non.
 - Double fente obtenue de préférence par micro usinage ou par usinage laser.
 - Jeu de deux polariseurs.
 - Eventuellement, le complément de matériel habituellement utilisé pour réaliser votre propre manipulation d'interférences.
- Ordinateur P.C. équipé du logiciel CALIENS.



La manipulation



1 : Source laser visible (typiquement diode laser collimatée ou laser Hélium Néon).

2 : Premier polariseur. Les polariseurs sont utiles pour moduler l'intensité lumineuse. Si le laser est polarisé, un second polariseur n'est pas nécessaire.

3 : Second polariseur (analyseur).

4 : Fentes d'Young. Pour réaliser une manipulation convaincante, il est nécessaire de disposer de fentes de bonne qualité (éviter les fentes réalisées à partir d'un processus photographique).

5 : Tête optique CALIENS **équipée du filtre atténuateur**

La polarisation du laser peut prendre un certain temps avant de se stabiliser. **La luminance du faisceau peut varier pendant environ une quinzaine de minutes.**

A : Distance entre la source et le premier polariseur. Valeur par défaut : quelques centimètres. Pour moduler la puissance du laser, il suffit d'orienter le second polariseur.

Remarque : Le jeu de polariseurs peut également être placé juste avant la tête optique. Les lumières parasites seront ainsi affaiblies. En revanche, les polariseurs doivent être optiquement utilisables sur une plus grande zone, et le réglage de la position de la figure sur la tête optique sera plus difficile.

B : Distance entre le dernier polariseur et la double fente. La distance doit être suffisante pour que le laser éclaire de façon homogène les deux fentes.

C : Distance double fente – tête optique. La figure d'interférences doit être du même ordre de grandeur que la zone utile de la caméra (3 cm). Généralement, une distance de l'ordre du mètre est satisfaisante.



Le logiciel CALIENS

Les différents paramétrages ainsi que les fonctions plus complexes sont décrits ultérieurement.

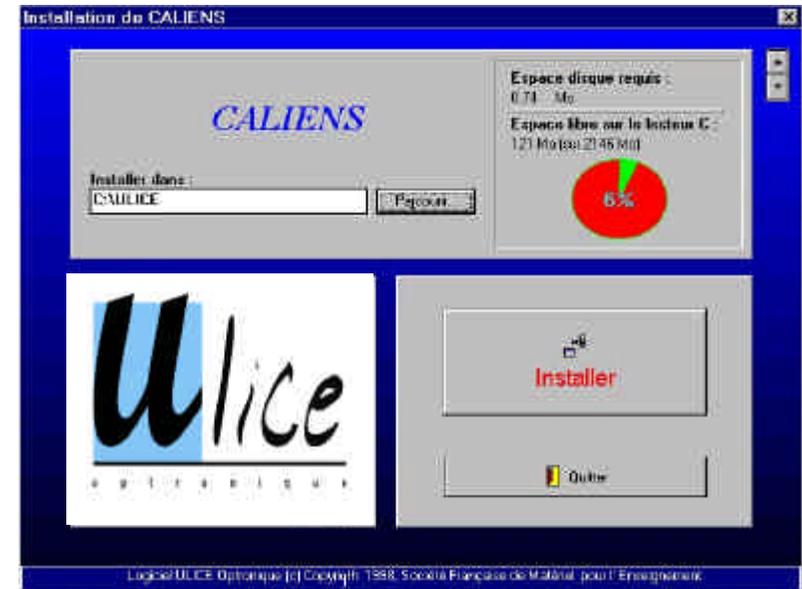
Installation du logiciel et matériel requis

Pour installer le logiciel sur votre PC, vérifiez tout d'abord que les conditions suivantes sont réunies :

- Windows™ 3.1 ou supérieur installé
- PC 486 DX33 avec 8 Mo de RAM ou plus (port parallèle EPP recommandé).
- 3 Mo d'espace libre disponible sur le disque au minimum.
- Affichage de 640 points par 480 en 256 couleurs minimum. **Pour l'affichage en niveaux de gris et le mode spectrométrie, un mode en 16 millions de couleurs (24 bits) est nécessaire. Vérifiez aussi que les options d'affichage (« Avancé... ») ne sont pas configurées en mode « grandes polices ». Si c'est le cas, passez en mode « Petites polices ».**

Suivre ensuite les indications suivantes :

- Allumez votre ordinateur. Veillez à ce que toutes vos applications soient fermées.
- Insérez la première disquette CALIENS dans le lecteur de disquette.
- Exécutez à partir de Windows™ le logiciel *Install.exe* (par exemple via le gestionnaire de fichiers). La fenêtre ci contre doit s'afficher à l'écran au bout de quelques secondes.
- Sélectionnez le répertoire de destination du logiciel CALIENS.
- Cliquez sur le bouton « installer ».
- Une fois l'installation terminée, le programme vous demande si vous souhaitez qu'il crée l'icône de CALIENS dans votre bureau. Répondez « OUI » par défaut.



Entrée du numéro de série

A la fin de l'installation, lancez le programme CALIENS. Une fenêtre vous demande la langue, puis une seconde d'entrer le numéro de série fourni avec CALIENS. Remplissez tous les emplacements. En cas d'erreur, le logiciel fonctionnera en mode de démonstration, c'est à dire que tous les résultats affichés seront simulés que la caméra soit branchée ou non. Pour entrer à nouveau le numéro de licence, vous pouvez soit :

- Supprimer, puis ré-installer l'ensemble du logiciel
- supprimer le fichier "Caliens.cfg" (dans le répertoire d'installation) et relancer CALIENS.

L'installation est terminée, pour lancer CALIENS, exécutez le programme CALIENS.EXE dans le répertoire que vous avez choisi pour destination du logiciel, ou double cliquez sur l'icône CALIENS :





Après l'installation du logiciel, mettez la caméra sous tension (veillez à ce que le câble de liaison avec le PC soit débranché). Lancez le programme CALIENS. Branchez la caméra et le PC par l'intermédiaire du câble parallèle.

L'interface du logiciel

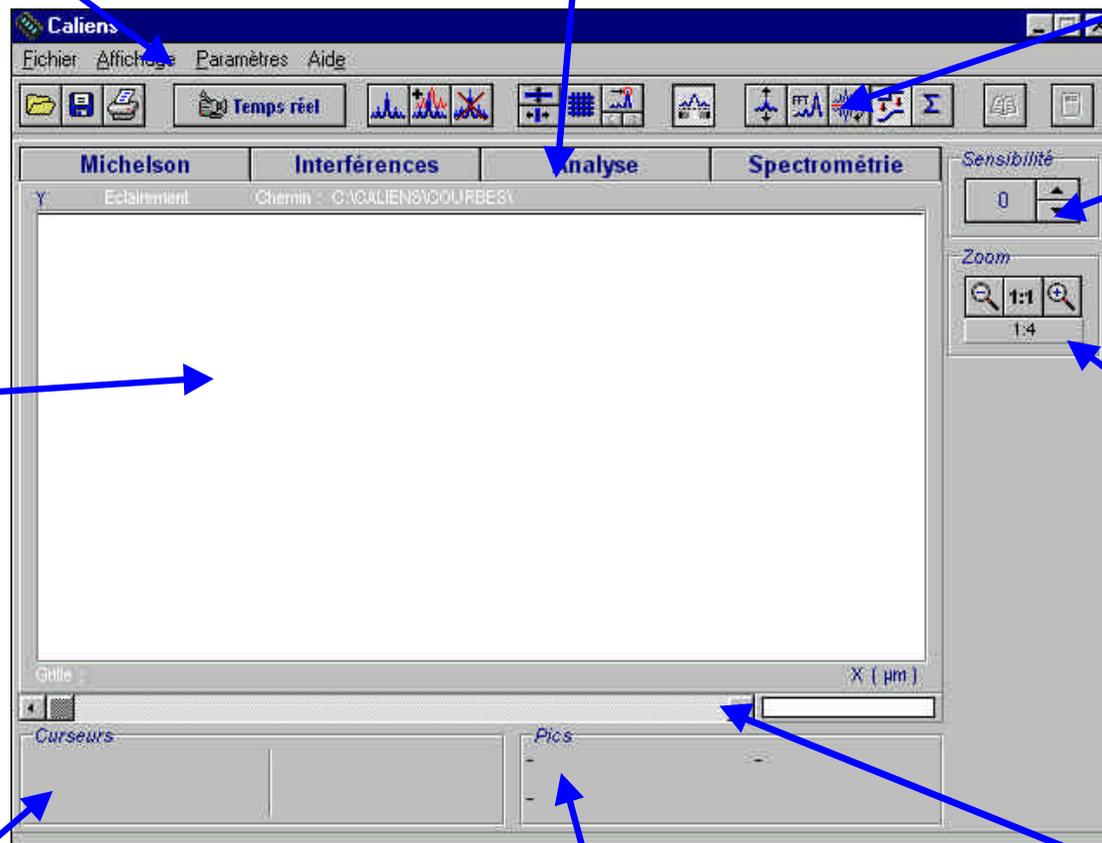
Menus généraux pour les paramètres, les réglages et les choix de l'utilisateur.

Boutons d'accès aux différents modes. Nous ne les décrirons pas dans le cadre de l'apprentissage rapide

Barre d'outils sous forme d'icônes. Permet un accès rapide aux fonctions les plus usuelles.

Ecran d'affichage des acquisitions. Le résultat des mesures et des éventuels traitements apparaîtra dans cette fenêtre.

Réglage de la sensibilité de la caméra. Forte sensibilité avec une valeur élevée, faible sensibilité pour une valeur faible. Seize niveaux sont possibles (de 0 à 15).



Réglage du zoom. Permet de changer le nombre de points affichés à l'écran

Affichage des positions relatives (abscisses et ordonnées) des curseurs sélectionnés.

Affichage des calculs issus de la détection de pics. Donne la valeur du pic trouvé par rapport à l'origine, ainsi que sa position verticale.

Barre de défilement de l'écran d'affichage. Permet de déplacer la fenêtre sur une portion du signal.



Réglage de la tête optique sur le banc

Le réglage peut souffrir de deux défauts :

◆ Colinéarité image - détecteur



Axe de la figure d'interférences
Axe d'analyse de la barrette CCD

La figure d'interférences n'est pas colinéaire à la ligne sensible. Les harmoniques seront peu visibles.

Pour restaurer la colinéarité, incliner les fentes de façons à obtenir les harmoniques symétriques et les plus visibles possible.

◆ Alignement image – détecteur



Axe de la figure d'interférences
Axe d'analyse de la barrette CCD

La figure d'interférences n'est pas à la bonne hauteur par rapport à la ligne photosensible. La figure est instable et présente de fortes irrégularités

Pour restaurer l'alignement, translater la tête optique verticalement jusqu'à obtenir une réponse maximum. Un nouvel ajustement au niveau du polariseur est souvent nécessaire.

Fonctions du logiciel

La sensibilité est maintenant réglée par l'intermédiaire du PC (potentiomètre de droite). Nous vous conseillons d'utiliser toutes les fonctions décrites ici à partir de la manipulation préconisée.

Temps réel :

Effet : visualiser instantanément et continûment le signal sur toute la longueur de la barrette CCD. C'est l'outil de réglage de la manipulation par excellence. Le signal affiché est celui observé sur toute la barrette. Les principales fonctions de réglage et de traitement sont accessibles.

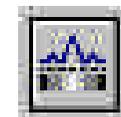
Première utilisation : Actionnez le temps réel. Placez la main devant la barrette CCD (équipée du filtre atténuateur) et vérifiez que le signal est plat en bas de l'écran d'affichage. Eclairez très progressivement la barrette et vérifiez alors que le signal se soulève lentement. Exposez la barrette à la figure d'interférences et atténuez le signal à partir du polariseur.



Niveaux de gris :

Effet : Représenter en noir et blanc le signal.

Première utilisation : Vérifiez le paramétrage de l'affichage de l'ordinateur en 24 bits - 16 millions de couleurs. Si ce paramétrage est défaillant, les niveaux de gris ne s'afficheront que en noir, blanc et quelques nuances de gris. Cliquez sur le bouton. Faites varier le flux de lumière incident sur la barrette CCD.



**Sensibilité :**

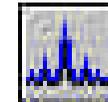
Effet : Changer la sensibilité de la barrette CCD en modifiant le temps de pose entre deux acquisitions. A une valeur 0, la barrette est peu sensible, à 15 elle est 8 fois plus sensible.

Première utilisation : Sur un signal assez bas en sensibilité 0, faites varier la valeur de la sensibilité et constatez l'effet produit sur le signal.

**Acquisition :**

Effet : Réaliser en arrière plan une "photo" du signal tel qu'il est présent sur la barrette. Ce signal est ensuite figé et permet une mesure précise sur 2048 points (et non 512 en temps réel).

Première utilisation : Lorsque vous obtenez un résultat significatif (ni à 0 ni saturé en permanence), cliquez sur le bouton acquisition. Arrêtez alors le temps réel en re cliquant sur le bouton "temps réel". La courbe apparaissant à l'écran est celle obtenue lors du dernier clic sur le bouton acquisition. Cette courbe peut être sauvegardée, imprimée...

**Zoom :**

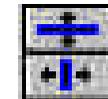
Effet : Change le mode de visualisation de la courbe. La totalité de l'acquisition peut aller du plein écran (toute l'acquisition est visualisée dans la fenêtre principale) au mode 1 : 1 (un point d'acquisition correspond à un pixel de l'écran).

Première utilisation : Sur une acquisition figée (bouton acquisition), changez le niveau de zoom et déplacez vous sur la courbe avec la barre de défilement.

**Curseurs :**

Effet : Affiche les curseurs horizontaux ou verticaux. Le positionnement des curseurs donne une mesure directement exprimée en distance (curseurs verticaux) ou en intensité relative (curseurs horizontaux).

Première utilisation : Sur une acquisition figée, activez les curseurs verticaux. Saisissez les à partir de la souris (positionnement du pointeur sur le curseur, bouton gauche pour le saisir, relâcher le bouton gauche pour l'immobiliser). La valeur absolue du curseur par rapport au premier pixel de la barrette est donné en bas à gauche de la fenêtre d'acquisition, ainsi que la différence de position entre les deux curseurs.

**Filtrage :**

Effet : Applique un filtre numérique passe bas au signal. L'affichage est lissé. Un pixel est moyenné par rapport à ses voisins. Le filtre est paramétrable.

Première utilisation : Enclenchez le filtre pour observer l'effet produit sur la courbe.



Vous avez maintenant une première vision des possibilités offertes par le logiciel CALIENS. Une multitude d'autres fonctions sont décrites dans la partie Fonctionnalités CALIENS.



Fonctionnalités générales de CALIENS

L'interface

Choix des différents modes de travail (optionnel).

Fenêtre d'affichage du signal

Espace de mesure (valeurs des curseurs ou des mesures automatiques).

Barre d'outils générale (affichage des outils toujours à disposition).

Barre d'outils utilisateur (affichage des outils spécifiques à chaque mode de travail).



Les icônes de la barre d'outils principale



Fonctions sur les fichiers



L'ouverture d'un fichier

Accède au menu d'ouverture d'un fichier au format CCD pour l'acquisition spatiale. Attention, si l'affichage n'est sélectionné que pour une seule image, l'ouverture d'une acquisition entraînera la suppression des courbes précédemment affichées sur l'écran. Le nom du fichier en cours d'utilisation s'affiche en couleur blanche en haut à droite de la fenêtre d'acquisition. CALIENS ne dispose pas de possibilités d'importation.



Sauvegarde d'un signal

Permet la sauvegarde de la dernière acquisition affichée sur l'écran. Le format par défaut est le format .CCD . Les possibilités de sauvegarde sous d'autres formats sont :



- image bitmap .BMP : format image en mode point, récupération possible depuis tous les logiciels de dessin et traitements de texte
- fichier texte .TXT : valeurs des échantillons au format ASCII pour récupération depuis logiciels de traitements de données et tableurs
- Regressi (limité à 8192 points en mode Michelson). Le format d'enregistrement en mode « .rw3 » est directement compatible.
- Synchronie (enregistrement en mode « Texte » conformément à la syntaxe attendue par le logiciel.

Pour exporter un fichier, utilisez le menu [fichier / exporter](#)



L'impression d'un signal

Donne accès à la fenêtre de définition des caractéristiques d'impression.



CALIENS utilise le port de l'imprimante

L'utilisation de l'imprimante est déconseillée lors des manipulations avec la caméra (blocage possible de CALIENS ou de l'imprimante). Utilisez de préférence l'impression à la fin des manipulations en rappelant les courbes sauvegardées. En cas de problème, mettez la caméra hors tension, annulez les impressions en cours, puis remettez CALIENS sous tension. Procédez de façon similaire en cas de blocage de l'imprimante par un ordre d'acquisition.



Temps réel



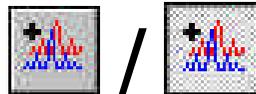
Cliquez sur ce bouton pour l'activer. Recliquez pour l'arrêter. Le temps réel est le mode de réglage. Le signal perçu par la barrette est instantanément affiché à l'écran. Sans le temps réel, l'ajustement serait des plus fastidieux. Notez que le bouton d'acquisition est toujours disponible, ce qui permet de prendre en arrière plan des "photos" sur lesquelles il sera possible d'effectuer par la suite des mesures. Le zoom n'est pas utilisable en temps réel. La quasi totalité des fonctions d'affichage et de traitement du signal sont toujours accessibles. La fluidité dépendra de la rapidité du PC. La vitesse du temps réel est calibrée sur la vitesse du PC.

Fonctions d'acquisition et de superposition



Acquisition

Déclenche une acquisition du signal issu de la caméra et affiche le résultat conformément aux réglages choisis. La courbe est figée et contient l'information des 2048 pixels de la caméra. Si aucune option d'affichage simultané est activée, une nouvelle acquisition écrase les acquisitions précédentes non sauvegardées.



Affichage simultané

Non sélectionné, une seule courbe apparaît lors de l'acquisition. Sélectionné, les courbes se superposent les unes à la suite des autres à chaque acquisition. Au delà de 4 courbes affichées, une nouvelle acquisition supprimera la plus ancienne des 4 courbes. Les couleurs des courbes successives sont paramétrables dans le menu [Affichage / Courbes...](#)

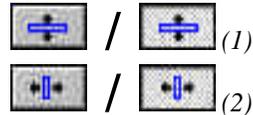


Rafraîchissement progressif

A chaque clic sur ce bouton, la dernière des courbes sera effacée de l'écran. Attention, les précédentes acquisitions sont définitivement détruites si elles n'ont pas été sauvegardées.



Fonctions de mesure et d'affichage



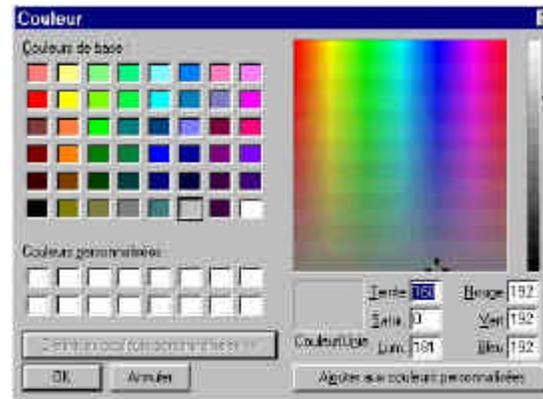
Curseurs

Active ou désactive l'affichage des curseurs horizontaux (1) ou verticaux (2). Pour mesurer une distance ou une intensité, saisissez avec le bouton gauche de la souris l'un des curseurs, et le déplacez le jusqu'à la position voulue. Relâchez alors le bouton gauche. La taille des curseurs est paramétrable dans le menu [affichage / curseurs](#). Vous pouvez sélectionner la largeur des curseurs (1, 2 ou 4 pixels) ainsi que la couleur. Une fois les choix effectués, cliquez sur valider.



Le menu "couleurs"

Pour changer la couleur, sélectionnez « Autre... ». Choisissez la couleur qui vous convienne dans celle proposées, et validez par « OK ». Si aucune de ces couleurs ne vous satisfait, cliquez sur « Définir des couleurs personnalisées ».



Couleurs personnalisées

A l'aide de la jauge et des curseurs, déterminez une couleur. Cliquez alors sur « Ajouter aux couleurs personnalisées ». Sélectionnez cette couleur dans la partie en bas à gauche, puis validez par « OK ».

Les unités d'axe et de mesure sont modifiables à partir du menu [Affichage / axes...](#). Vous disposez de trois unités d'axe possibles : les millimètres (mm), les micromètres (μm) ou les pixels (taille d'un pixel de 14 μm).

L'axe des ordonnées peut être configuré en linéaire (par défaut), c'est à dire des valeurs 0 à 255 ou en axe logarithmique. L'axe logarithmique est utile pour l'observation des phénomènes de faible intensité. Cependant, le bruit éventuel et la quantification numérique rendent l'erreur de mesure potentiellement élevée.





Affichage de la grille

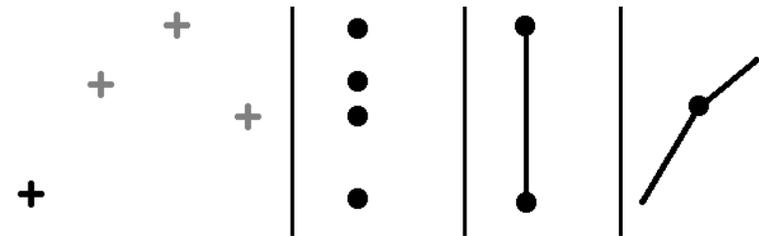
Active ou désactive l'affichage de la grille de mesure de fond d'écran. Le paramétrage de cette grille (forme, pas...) est accessible au menu **affichage / grille**.

Vous pouvez sélectionner le type de trait (pointillé, continu ou axe), le pas de la grille ainsi que la couleur (voir page précédente). Une fois les choix effectués, cliquez sur valider.

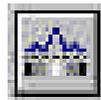


Affichage en mode pic, vecteur et point (ce paramétrage est accessible depuis le menu **Affichage / Mode...**)

Ce réglage détermine la façon dont seront représentés les points issus de l'acquisition. Lors d'une acquisition standard, 2048 points de mesure sont récupérés de la barrette CCD. La fenêtre d'affichage de l'écran est de 512 pixels. Comment représenter ces 2048 points sur un écran capable d'en afficher 512 ? En mode point, chaque pixel acquis est représenté comme un point à l'écran. Ce mode est le plus proche du résultat physique mais l'image est plus complexe à interpréter. En mode pic, le logiciel trace une ligne entre le point le plus bas et le point le plus haut (nécessaire en mode Michelson). En mode vecteur, le logiciel trace une ligne entre le point précédent affiché et le point suivant (affichage non « surchargé » et le plus facile à interpréter). Par défaut, le logiciel affiche en mode « pic ».



Echantillons physiques récupérés Mode point Mode pic Mode vecteur



Affichage en niveaux de gris

Active ou désactive le double affichage en niveaux de gris. Chaque pixel est représenté par un niveau de gris proportionnel à son niveau d'éclairement. La ligne d'analyse de la barrette CCD est étendue pour former une image occupant la moitié de l'écran. Les couleurs de référence (blanc et noir par défaut) sont paramétrables à partir du menu **Paramètres / Niveaux des couleurs...** . Pour changer la couleur du maximum de lumière, activez le bouton *Maximum* et choisissez parmi les 8 couleurs proposées (ou entrez directement la longueur d'onde et validez par la touche *Entrée*). Pour changer le minimum, cliquez dans la case *Changer le minimum*, appuyez sur le bouton *Minimum*, et choisissez la couleur désirée. Une fois le paramétrage achevé, cliquez sur *Valider*





Détection des maxima



La première sélection  donne le premier maximum du signal. La valeur affichée en bas à droite de la fenêtre d'acquisition est la position absolue du maximum sélectionné. Les curseurs de droite et de gauche  permettent de sélectionner le maximum suivant à droite ou à gauche.

Fonctions de confort visuel

Autogain



Adaptation automatique de la dynamique : lorsque ce bouton n'est pas sélectionné, l'affichage est sur la totalité de la dynamique de la caméra (256 niveaux numériques) quel que soit le signal issu de celle-ci. Lorsque la fonction est activée, le signal apparaît automatiquement entre la maximum et le minimum de l'écran. Ceci peut se traduire par un signal très bruité lorsque le signal est très plat. En revanche, les mesures d'éclairement relatif et de contraste seront simplifiées.

Inversion



Inversion de l'image. Non sélectionné :

- Les niveaux hauts correspondent à un éclairement maximum.
- Les niveaux bas correspondent à l'obscurité.

Sélectionné, plus le niveau est haut, plus l'éclairement est élevé. Ces boutons permettent également de sélectionner le mode positif ou négatif de l'affichage en niveaux de gris.

Fonctions de réduction du bruit

En plus des bruits d'origine physique (bruit thermique, bruit de l'électronique, non uniformités dans la fabrication des pixels), l'utilisation d'une sortie numérique ajoute un bruit dit de « quantification ». Il est dû à l'impossibilité de représenter par des niveaux discrets un phénomène analogique. CALIENS dispose d'un codage sur 8 bits, soit 256 niveaux. Le bruit apporté est de l'ordre d'un demi niveau, soit 0,2%, bruit qui reste inférieur au bruit analogique. Un phénomène d'instabilité du signal peut apparaître (vibration du signal sur l'oscilloscope, ou en mode « temps réel »). Ce phénomène est issu de la modulation des sources à courant alternatif. CALIENS est équipée pour réduire cette instabilité.



Moyennage

Réduit le bruit temporel par moyennage entre plusieurs acquisitions effectuées successivement. Le nombre d'acquisitions peut être modifié depuis le menu [paramètres / filtrage - moyennage](#). Le moyennage permet de réduire le bruit temporel. La valeur d'un pixel prend la valeur moyenne de ce pixel à plusieurs intervalles de temps séparés.

Entrez la valeur du nombre d'acquisition à moyenner pour obtenir le signal visualisé à l'écran. Un nombre élevé diminue la vitesse d'affichage.



Pour utiliser le moyennage, il faut activer l'icône . Le paramètre de réglage du moyennage est accessible dans le menu [paramètres / filtrage - moyennage](#).

La valeur moyenne dans le temps du bruit étant nulle, plus le nombre d'échantillons moyennés sera important, plus le bruit temporel sera faible. Elle est idéale pour la mesure de phénomènes fixes dans le temps. En revanche, l'opération de moyennage comporte des inconvénients :

- Elle est dangereuse sur le plan de la fiabilité de la mesure lorsque le phénomène étudié est en mouvement. Le moyennage d'événements non identiques donnera des résultats erronés.
- Elle ne modifie pas le bruit spatial, correspondant à des imperfections de manipulation ou à des non uniformités pixel à pixel.



Filtrage

Réduit les hautes fréquences présentes dans le signal. La fonction applique un filtre numérique au signal. L'ordre de ce filtre peut être modifié dans le menu [paramètres / filtrage - moyennage](#). La valeur d'un des pixels devient la valeur de ce pixel pondéré par les valeurs des pixels voisins.

Le filtrage est une opération qui a pour but de diminuer les éventuels bruits de non uniformité. Elle est particulièrement appréciée pour l'utilisation de sources cohérentes (problèmes liés à la granularité des lasers par exemple). Le principe est de prendre en compte la valeur des pixels voisins pour déterminer une « meilleure » valeur du pixel considéré. A l'ordre un, la valeur du pixel « x » notée V_x deviendra :



$$V_x' = (V_x + V_{x-1} + V_{x+1}) / 3$$

Le filtrage diminue à la fois le bruit spatial mais également le bruit temporel (la moyenne du bruit temporel sur un grand nombre de pixels à un instant "t" est nulle). Son principal inconvénient est qu'il impose un filtrage des hautes fréquences, qu'elles fassent partie du bruit ou du signal. Il faut donc prendre garde à ne pas imposer des valeurs de filtre de l'ordre des valeurs des fréquences spatiales attendues pour le signal. Contrairement aux filtres analogiques, le déphasage engendré par ce filtre numérique est nul (filtre non causal).

Pour utiliser le moyennage, il faut activer l'icône . Le paramètre de réglage du moyennage est accessible dans le menu [paramètres / filtrage - moyennage](#).

Bruit ou instabilité, modulation par la lumière artificielle

Toute lumière émise par une source dont l'émission est commandée par une tension alternative est elle-même modulée à la fréquence de cette tension alternative. C'est le cas pour :

- Les éclairages fluorescents (communément appelés « néons ») dont le facteur de modulation est proche de 100%.
- Les lampes à incandescences, pour lesquelles le phénomène est moins marqué (inertie thermique du filament).
- Les lampes à vapeur de Mercure, Cadmium, Sodium... alimentées en tension alternative.

Ce phénomène est invisible à l'œil en raison de la persistance rétinienne rendant tout phénomène optique de fréquence supérieur à une vingtaine d'Hertz assimilable à un phénomène continu (principe du cinéma). Il ne l'est pas pour les systèmes de vision dotés de temps d'intégration quantifiés bien plus faibles (CALIENS par exemple, dont le temps de pose est au minimum de 5 ms, soit 200 Hz de répétition).

Le signal apparaît alors instable CALIENS est prévue pour fonctionner dans ces conditions.

Certaines valeurs de sensibilité sont étudiées pour atténuer l'instabilité. Elles sont accessibles en mode oscilloscope comme en mode PC. Cependant, seul le mode PC permet de connaître de façon sûre ces valeurs.



Elles valent **2, 6, 10 et 14** pour une modulation à 100 Hz, **6 et 14** pour une modulation à 50 Hz (et 100 Hz).

Fourier



Cliquez sur ce bouton pour l'activer. Re-cliquez pour l'arrêter. Fonction de calcul de la transformée de Fourier rapide (FFT) du signal affiché à l'écran. Le résultat donné par les curseurs est l'inverse d'une distance. Pour ce qui concerne l'utilisation de la FFT en mode Michelson, consultez la partie "Mode de travail".



Les fonctions de la barre d'outils utilisateur

La sensibilité



La sensibilité règle le temps de pose de la caméra. Comme dans le cas de la photographie, plus le temps d'ouverture est long, plus la sensibilité sera élevée. C'est le même procédé qui est utilisé pour CALIENS. Ce réglage affecte le temps d'attente entre le début et la fin de l'intégration du flux lumineux (nommé t en millisecondes), selon une formule :

$$t = 5 + 2,5 \times \text{Sensibilité}$$

A sensibilité 0, le temps d'intégration est de 5 ms, à sensibilité 15 (maximum), il est de 42,5 ms. Cela explique la présence de modes "anti 100Hz" à sensibilité 2, 6, 10 & 14, soit des temps de pose de 10, 20, 30 et 40 ms (multiples de la période du secteur). Etant donné l'extrême sensibilité de CALIENS utilisée sans filtre, il est nécessaire de monter le filtre atténuateur sur toutes les manipulations courantes.

Le zoom

Barre de défilement pour changer la zone visualisée dans l'espace



Le zoom permet de paramétrer l'échelle de vue du signal. Le zoom maximum est de 1 pour 1, c'est à dire que chaque pixel à l'écran représente un échantillon réel. La fenêtre d'affichage ayant une dimension de 512 pixels d'écran, une acquisition des 2048 points de la barrette CCD pourra être représentée en :

- 1/4 (un pixel sur 4), c'est à dire que toute la barrette est visualisée dans la fenêtre, mais seul un pixel sur 4 est affiché.
- 1/2 (un pixel sur 2), l'écran visualise la moitié de l'acquisition. Les barres sont actives.
- 1/1 (tous les pixels), l'écran visualise ¼ de l'acquisition mais tous les pixels sont affichés (barres actives).

En mode de travail « Michelson », le zoom peut prendre des valeurs plus basses que 1 pixel sur 4.



Les modes de travail

Mode "Interférences"

Le mode interférences vous permet d'aller plus loin avec CALIENS dans l'étude expérimentale des phénomènes issus de la diffraction.

Barre d'outils utilisateur

Si vous cliquez sur l'intercalaire « Interférences », la droite de l'écran prend la forme suivante :



Le réglage de la sensibilité conserve le même aspect. La sensibilité est identique dans tous les modes utilisés par la caméra.

Fonctions de simulation. Ces touches donnent accès à la simulation d'une réponse théorique et permettent de superposer la courbe expérimentale et la courbe pratique. Les barres de défilement font varier la position et le gain de la courbe simulée.

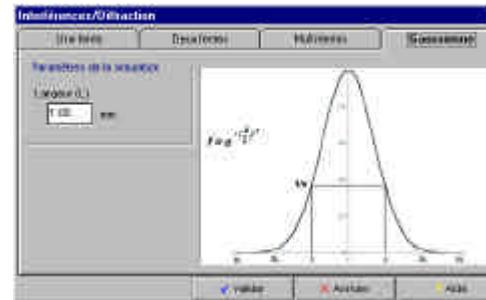


Fonctions de soutien à l'utilisateur. Permettent d'avoir accès et de naviguer dans les planches de rappels. La calculatrice propose les applications numériques les plus courantes.

Mesures, calculs & simulation

Fonctions de simulation

Le module *Interférences* est doté de fonctions de simulation de la courbe théorique pour la manipulation d'une fente de diffraction, des fentes d'Young, de fentes multiples (réseaux), et d'une gaussienne (faisceaux gaussiens). Si vous travaillez sur un résultat de manipulation, sauvegardez le. Depuis le module *Interférences*, cliquez sur la touche « Param. ». La fenêtre suivante apparaît :



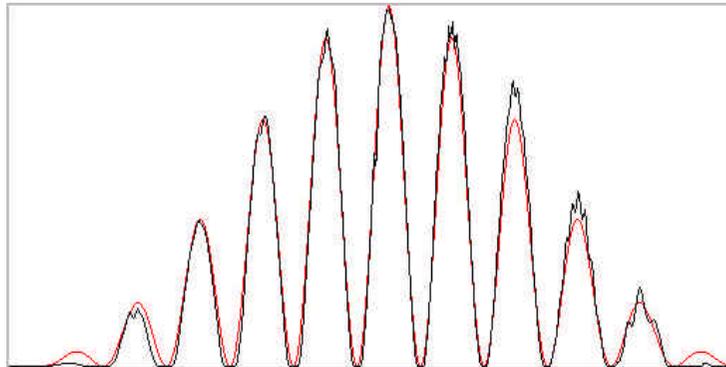
Ci-contre, la fenêtre des paramètres pour la simulation. Un exemple d'application est fourni en page suivante.

Vous pouvez entrer les principaux paramètres de la manipulation en cours. Une fois ceci effectué, cliquez sur « Valider ». Pour pouvoir comparer la théorie à la pratique, cliquez sur « Simul. ».

Lorsque la simulation « Gaussienne » est activée, l'utilisateur peut faire varier la largeur à 1/e en temps réel.



Procédez à une acquisition, ou ouvrez un fichier sauvegardé. Les barres de défilement des touches de simulation vous permettent d'ajuster le gain et la position de la courbe simulée.



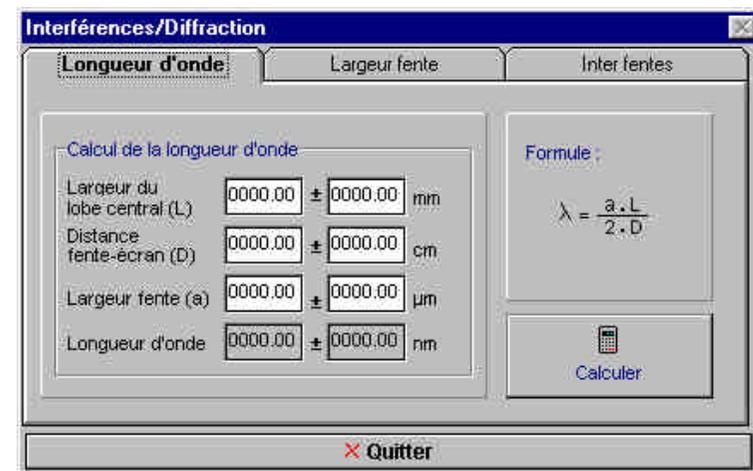
Lobe principal d'une figure d'interférences (fentes d'Young). La courbe simulée apparaît en rouge, la courbe expérimentale apparaît en noir.

Planches de rappel

Chacun des modes de travail dispose de rappels sur le phénomène étudié. C'est le cas pour le mode *Interférences*. Pour accéder à ces planches, cliquez sur l'icône en forme de livre ouvert à droite de la barre d'outils principale. Les planches de rappel se manipulent comme une aide WindowsTM. Vous pouvez passer à la page suivante ou rechercher par mot clé à partir des barres d'outils en haut de la fenêtre.

Calculatrice spécifique

Le module *interférences / diffraction* est enrichi d'une calculatrice spécifique accessible depuis la touche située en haut à droite de l'écran.



Cette calculatrice vous permet de déduire certains paramètres de la manipulation en supposant les autres connus. Cela peut être le cas pour :

- La longueur d'onde sur une manipulation de diffraction
- La largeur de la fente sur une manipulation de diffraction
- La distance inter-fentes sur une manipulation de fentes d'Young



Mode "Analyse"

Le mode de travail Analyse regroupe des outils mathématiques destinés à l'analyse des niveaux de l'image.

Si vous cliquez sur l'intercalaire « Analyse », la droite de l'écran prend la forme suivante :



La sensibilité garde son aspect habituel. Les *Look Up Tables* (L.U.T) sont des tables d'équivalence vous permettant de modifier logiquement le type de sensibilité de la caméra. La LUT sélectionnée par défaut est l'identité (aucun changement). Une LUT vous permet de donner plus d'importance aux niveaux extrêmes, c'est à dire de dilater les niveaux faibles ou les niveaux forts.

Fonctions d'histogrammes. Ces boutons donnent accès à la visualisation statistique des niveaux numériques, c'est à dire à la répartition de l'éclairement. Le bouton supérieur propose l'affichage du nombre de pixels à un niveau donné, le bouton inférieur indique la quantité de pixels supérieure à un niveau donné.

Pour que vous puissiez expérimenter les fonctions que nous allons détailler, nous vous conseillons de réaliser une expérience de fentes d'Young . Une fois l'expérience en place, cliquez sur le bouton *Analyse*.

Les Look Up Tables (correction Gamma)

Description générale

Les L.U.Ts sont des fonctions qui ont pour objet de modifier la perception visuelle du signal. Pour chaque acquisition, la valeur de chaque pixel de la barrette CCD est une valeur entière issue d'une conversion analogique vers numérique. A chaque niveau numérique donné existe une correspondance vers le niveau qui sera affiché à l'écran (position verticale de chaque pixel) - voir schéma page suivante. La LUT *identité* est une table qui associe le même niveau issu du pixel au même niveau lorsqu'il est affiché. Sur 8 bits (256 niveaux), un pixel de niveau 15 sera affiché à la valeur 15 (à une "altitude" de 15).

Pour renforcer les niveaux faibles, la LUT sera une fonction logarithmique, c'est à dire que chaque niveau aura un niveau plus élevé en sortie. La table de correspondance devient une fonction qui associe :

Valeur du pixel affiché normalisé = ln (valeur du pixel d'entrée)

Le résultat est normalisé, et un coefficient permet de faire varier l'importance donné au logarithme. Pour exemple, un pixel de niveau 25 pourra être associé à une valeur 55 pour l'affichage. Un pixel de niveau 240 sera lui affiché aux alentours de 250.

Pour renforcer les niveaux forts, le processus est inverse. La fonction est de type exponentielle. Par exemple, un pixel de niveau 25 sera affiché à une valeur 8. Le pixel de valeur 240 sera affiché à un niveau de 195.

Le paramétrage de ces L.U.T. est accessible depuis le menu [Paramètres / Correction Gamma](#).



Outil de paramétrage

Caliens vous propose d'appliquer au signal 2 LUTs paramétrables. Une est destinée à favoriser l'affichage des faibles niveaux, l'autre des forts niveaux. Vous avez également la possibilité de revenir à la LUT identité (affichage standard). Pour paramétrer les LUT, sélectionnez dans la barre de menu la fenêtre [Paramètres / Correction Gamma](#). La fonction bleue correspond au renforcement des faibles niveaux, la rouge au forts niveaux, et la grise à l'identité. Lorsque les paramètres sont corrects, cliquez sur « Valider ». Pour appliquer une des LUT au signal, cliquez sur l'une des touches dédiées



Les histogrammes

Description générale

Les histogrammes sont des outils d'analyse statistique de l'image. Le principe des histogrammes est de compter le nombre de pixels ayant la même valeur (ou des valeurs suffisamment voisines). Deux types de graphes peuvent être affichés :

- L'affichage du nombre de pixels dans un intervalle donné
- L'affichage intégré du nombre de pixels



L'utilisation des histogrammes permet de travailler sur la notion de contraste et de bruit.

Paramétrage des histogrammes

Le principal réglage au niveau des histogrammes concerne la largeur de l'intervalle compris entre deux niveaux de comptage distincts. La sélection s'effectue à partir du menu [Paramètres / Histogrammes](#). La fenêtre vous permet de sélectionner la largeur des bandes d'analyse.



Synthèse des fonctions d'analyse

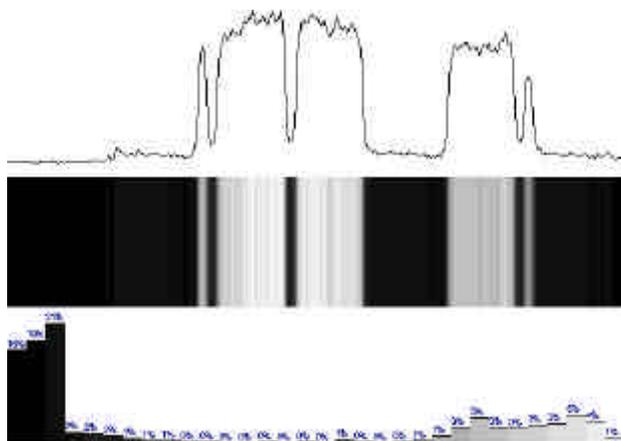
Voici quelques résultats de la même acquisition (image d'une mire) en affichage standard, niveaux de gris, et statistique. Une image est donnée en LUT identité, une en renforcement des faibles niveaux et une en renforcement des forts niveaux.

LUT identité

La LUT identité permet de visualiser en sensibilité linéaire la réponse de la caméra à une mire (composée de 3 bandes blanches séparées par des liserés noirs, d'une bande noire et d'un cadre blanc). Ce mode est adapté pour des mesures d'éclairément, ou toutes mesures photométriques énergétiques.

La réponse visualisée est moins contrastée que celle qui apparaît à l'œil. Les faibles niveaux sont moins discernés, tandis que les forts sont mieux définis.

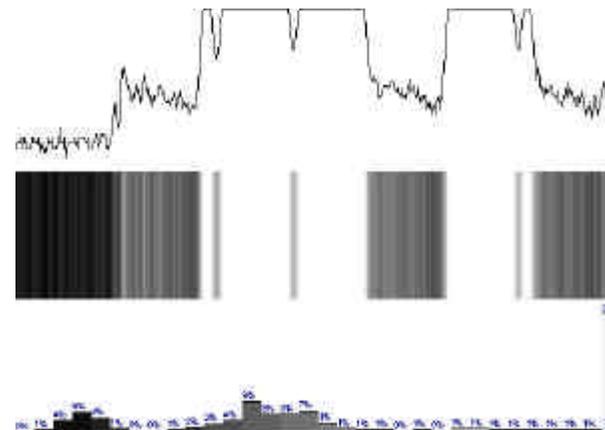
L'outil d'analyse statistique fait apparaître une image en noir et blanc (forte concentration des niveaux aux deux extrêmes de l'histogramme).



Renforcement des faibles niveaux

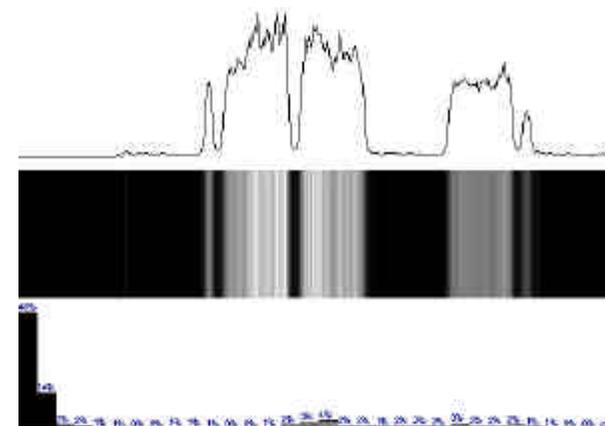
La sensibilité est comparable à celle de l'œil. Les blancs sont saturés, les faibles niveaux apparaissent clairement inhomogènes. L'analyse statistique met

en relief le bon discernement des petits niveaux, et la saturation rapide des autres.



Renforcement forts niveaux

La LUT exponentielle va mettre en relief les détails au niveau des zones de fort éclairément. Contrairement à la LUT logarithmique, les non uniformités des faibles niveaux sont estompées tandis que celles des forts niveaux sont dilatées.





Mode "Spectrométrie"

Si vous cliquez sur l'intercalaire « Spectrométrie », de nouveaux boutons apparaissent à la droite de l'écran :



Les planches de rappel présentent les caractéristiques essentielles des prismes, réseaux et systèmes dispersifs en longueur d'onde.



Les fonctions d'étalonnage en longueur d'onde sont destinées à faire correspondre à une position sur la barrette CCD une longueur d'onde. A partir de deux points de référence, le logiciel déduira pour chaque pixel une longueur d'onde correspondante.

Le calibrage en amplitude est nécessaire pour les mesures en absorption. Vous pouvez spécifier au logiciel une courbe de référence. Les acquisitions suivantes seront normalisées par rapport à cette courbe.

Le mode "spectrométrie" dispose de deux modes d'affichage en couleurs. Un mode (signal spectral) ajoute à la courbe traditionnelle une représentation en couleurs. Un mode (niveaux de couleurs) affiche sur la moitié de l'écran la représentation de la couleur en fonction de la longueur d'onde et de l'éclairement.

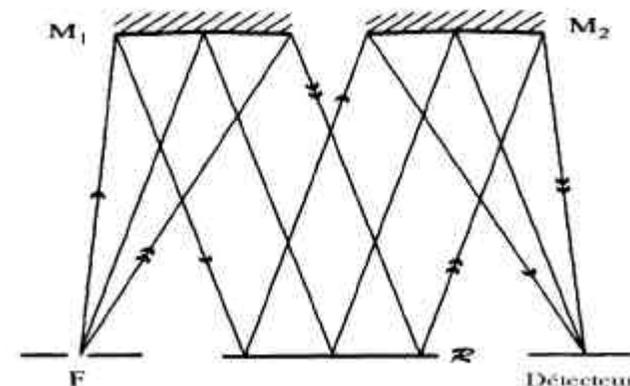
Paramétrage initial

La sensibilité spectrale de CALIENS s'étend de 400 nm à 1 000 nm, avec une zone privilégiée de 400 à 750 nm.

Cadre de l'expérience

La qualité du montage du spectromètre influera sur la finesse des observations. Nous vous conseillons de réaliser un montage type Czerny-Turner constitué d'une fente d'entrée, d'un réseau plan (le réseau par réflexion est préférable au réseau par transmission) et de deux miroirs sphériques M1 et M2 (les deux miroirs peuvent être remplacés par des lentilles).

D'autres montages plus simples (montages à prisme, à réseau par transmission, à une seule lentille...) suffisent à donner un aperçu des montages spectrométriques.



La source est focalisée sur la fente F d'entrée. Plus la fente est large, plus la luminosité est élevée mais plus les raies seront larges (une raie monochromatique aura une largeur importante au niveau de la barrette CCD).



Étalonnages

Étalonnage en longueur d'onde

La barrette CCD ne distingue que des flux lumineux (énergie), et n'est pas sensible à l'information de couleur. Pour utiliser CALIENS en spectrométrie, il est nécessaire de calibrer le système par rapport aux longueurs d'onde, c'est à dire d'indiquer à quels endroits se positionnent certaines longueurs d'onde de référence. Pour effectuer cet étalonnage, vous devez utiliser une source d'émission connue (comme le mercure), et indiquer au système au moins deux longueurs d'onde de référence. Le logiciel calculera alors pour chaque pixel la longueur d'onde associée. Pour une lampe au mercure, les raies principales sont :

- Jaune à 578 nm, Vert à 546 nm, Bleu à 436 nm, Violet à 406 nm

Vous pouvez définir jusqu'à 6 points de référence en utilisant la procédure suivante :

- Placez vous en mode « Spectrométrie ».
- En utilisant la source de référence (à l'entrée du spectromètre) et le mode temps réel, obtenez le signal laissant apparaître les raies de longueur d'onde connues (ajustez pour obtenir les raies les plus fines, et repérez visuellement la position des raies principales). Réalisez une acquisition de cette image à partir du bouton d'acquisition. Sortez du mode « temps réel ».
- Activez les curseurs verticaux. Placez l'un des curseurs sur l'une des raies dont vous connaissez la longueur d'onde. Appuyez sur la touche F5 du clavier. Une fenêtre apparaît alors. Entrez la longueur d'onde de la raie. Cliquez sur « Valider ». Renouvelez cette opération sur au moins une autre raie (pour limiter les

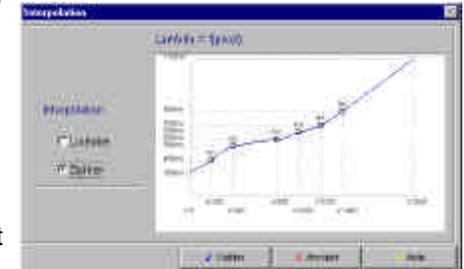


erreurs, la seconde raie est si possible éloignée de la première).

- Pour terminer l'étalonnage, cliquez sur la touche « Mettre à jour »



La fenêtre ci-contre apparaît à l'écran.



La courbe récapitule les points de référence. Les extrémités estimées de la barrette sont signalées par des carrés grisés. Vous disposez de deux types d'interpolation possible : l'interpolation linéaire ou par fonctions Spline. Pour des réseaux, utilisez plutôt l'interpolation linéaire. Pour des prismes, l'interpolation Spline. Cliquez sur valider pour mettre à jour l'étalonnage.

Le logiciel détermine alors pour chaque pixel la longueur d'onde associée. Les curseurs donnent une information en longueur d'onde et les modes d'affichage en couleurs sont initialisés à partir de cette calibration.

L'étalonnage sera sauvegardé en même temps que le fichier de données.

CALIENS vous permet de paramétrer l'étalonnage avec 6 points au maximum. Si vous souhaitez modifier un étalonnage, utilisez les fonctions de la barre d'outils utilisateur.



← Numéro du point de référence (de 1 à 6).

← Longueur d'onde de référence (en nanomètres).

← Numéro du pixel de référence.

Pour supprimer un point de référence, entrez une valeur de longueur d'onde nulle (0). Le logiciel sauvegarde et recalcule seulement si vous demandez à nouveau la mise à jour.

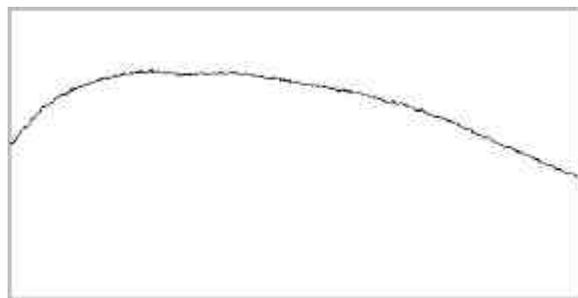


Remarque : En spectrométrie, lorsque la courbe est exportée en mode « texte », le logiciel génère deux fichiers. Le premier contient la valeur de chacun des pixels. Le second, précédé d'un caractère « _ » contient pour chaque pixel la longueur d'onde associée.

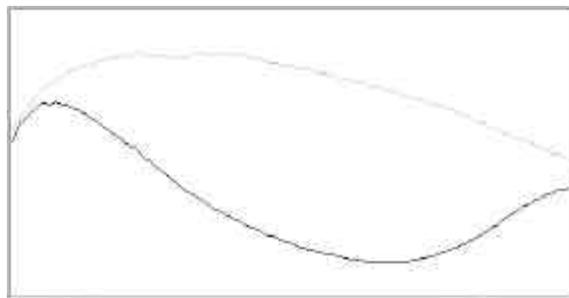
Étalonnage en amplitude

Les spectres donnés par CALIENS ne sont pas calibrés en amplitude. Pour un même flux lumineux à deux longueurs d'ondes distinctes, l'efficacité du montage ne sera pas la même. L'étalonnage en amplitude est nécessaire pour réaliser des expériences d'absorption ou de transmission relative. Il permet de mesurer la courbe de transmission de tout type de filtre optique, ou d'élément susceptible d'interagir avec la lumière (analyse de solutions chimiques et biochimiques...). Le principe consiste à enregistrer un spectre de référence, et à afficher les mesures en proportion de ce spectre de référence.

- Pour procéder à un étalonnage en amplitude, réalisez l'acquisition du spectre de la source de référence.
- Sauvegardez cette courbe (nommée "etalon.ccd" dans la suite du document). Les éventuels réglages de filtrage et moyennage seront pris en compte.
- Cliquez sur le bouton  d'appel à une courbe de référence. Sélectionnez le fichier "etalon.ccd". L'acquisition de référence est maintenant chargée.
- Pour activer l'étalonnage en amplitude, cliquez sur le bouton . Les courbes affichées à l'écran seront désormais calibrées par rapport à la courbe "étalon.ccd". La courbe de référence apparaît en grisé.
- Pour désactiver l'étalonnage en amplitude, re-cliquez sur la touche .



Courbe de référence



Courbe d'étude



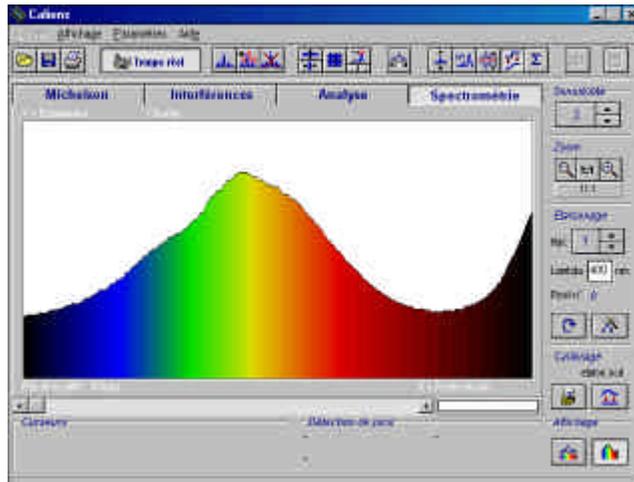
Courbe d'étude par rapport à la courbe de référence



Affichage

Signal spectral

Le signal spectral ajoute à la courbe traditionnelle une information de couleur.



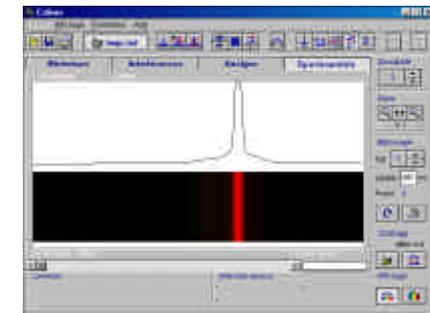
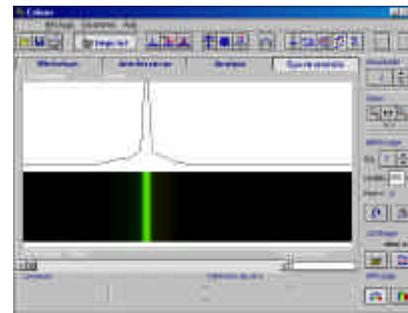
Le bouton  active ou désactive l'affichage du signal spectral

Niveaux de couleurs

Les niveaux de couleurs sont l'extension des niveaux de gris au domaine de la spectrométrie. Chaque pixel est affiché par rapport à :

- sa longueur d'onde associée
- son amplitude

L'image donnée par les niveaux de couleurs est (si l'étalonnage en longueur d'onde est correctement effectué) semblable au spectre sur la tête optique de CALIENS.



Il est impossible de recréer les couleurs monochromatiques (couleurs pures) à partir d'un écran d'ordinateur. Les couleurs affichées sont une approximation des couleurs pures telles qu'elles sont synthétisables à partir des canaux Rouge Vert Bleu d'un tube cathodique, et telles que l'œil les perçoit.



Mode "Michelson"

Si vous cliquez sur l'intercalaire « Michelson », la droite de l'écran prend la forme suivante :



Le réglage de la sensibilité conserve le même aspect. La sensibilité est identique dans tous les modes utilisés par la caméra.

Réglage par l'utilisateur de la durée d'intégration. Peut varier de 2 secondes et demie à plus d'une heure et demie.



Les planches de rappel et la calculatrice spécifique au mode Michelson sont activées.

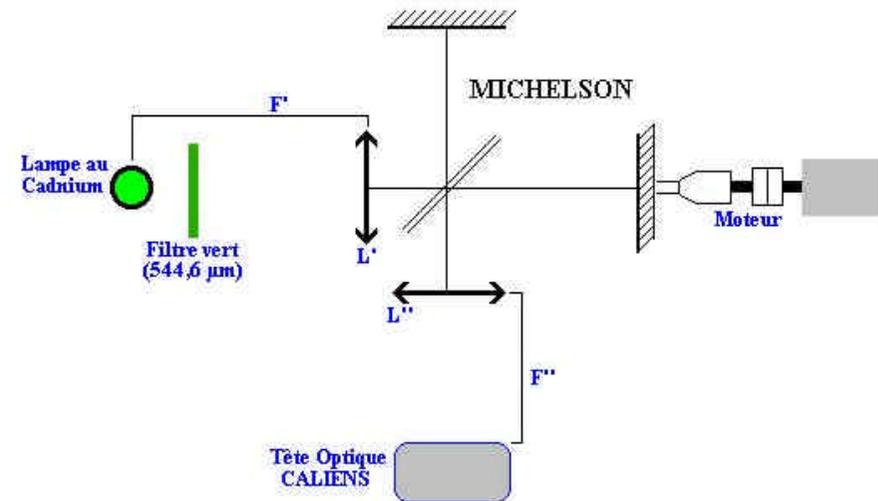
Paramétrage initial

Cadre de l'expérience

Nous vous proposons d'enregistrer les oscillations créées par le déplacement d'un des miroirs de l'interféromètre soumis à une longueur d'onde unique. Nous supposons l'interféromètre réglé.

Prenons par exemple une lampe au Cadmium (si possible alimentée en tension continue). Elle sert à générer une émission à 544,6 nm. Elle est placée au foyer d'une lentille L' . Une seconde lentille, L'' , permet d'observer sur un écran les franges d'interférences.

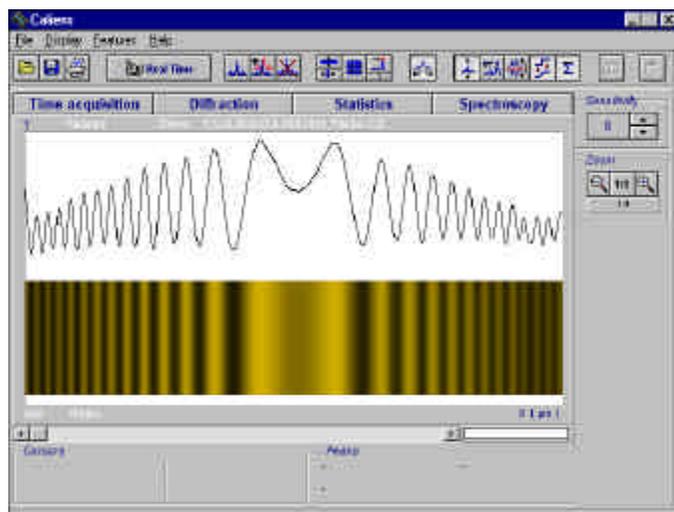
Une fois les franges obtenues, remplacez l'écran par la caméra. La manipulation prend la forme suivante :





Ajustez le signal à la dynamique de la caméra par l'intermédiaire du bouton *temps réel*.

Remarque : Si l'alimentation de la lampe est alternative, il se peut que vous constatiez une instabilité du signal. Préférez alors les sensibilités 2, 6, 10 et 14. Pour plus de précision sur l'instabilité à 100 Hz, consultez le descriptif des fonctions de "Réduction du bruit".



Anneaux d'une lampe à vapeur de Sodium – Gain automatique, Filtrage et moyennage activés

Mettez alors le moteur en route, vous pouvez observer en temps réel (ou sur oscilloscope) le déplacement des franges. Stoppez le moteur.

Le réglage pour obtenir un contraste élevé et une bonne uniformité de la lumière est quelquefois difficile à obtenir.

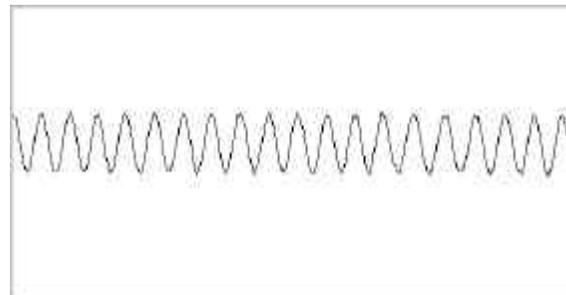
Acquérir dans le temps

Description générale

L'acquisition dans le temps consiste à échantillonner le pixel central de la caméra à intervalle de temps régulier, et ainsi reconstituer l'évolution des phénomènes temporellement variants. Plusieurs paramètres rentrent en compte, parmi lesquels :

- La durée durant laquelle l'acquisition va avoir lieu. C'est un paramètre réglé par l'utilisateur. Le logiciel effectuera ensuite le choix de la durée réelle de l'acquisition parmi les valeurs quantifiées possibles. Cette durée est fonction de la sensibilité (du temps de pose) et de la profondeur mémoire.
- La profondeur mémoire détermine le nombre total d'échantillons de l'acquisition. Le minimum est de 512 points, le maximum est de 131 072 points. Le nombre de points par seconde dépend de la sensibilité. Pour accélérer les traitements après l'acquisition, ne surestimez pas le temps nécessaire.

Les fonctions de mesure du mode d'acquisition dans le temps diffèrent très peu des fonctions de mesure classiques. L'affichage des valeurs mesurées par les curseurs sera en secondes.



Exemple d'une acquisition dans le temps à partir d'une source monochromatique. La fenêtre d'affichage présente 512 points sur les 4096 issus de l'acquisition.



Séquence des opérations

L'acquisition dans le temps se fait à partir du mode « Michelson ». Cliquez sur cet intercalaire. Suivez alors la procédure suivante :



Choisissez une sensibilité adaptée à la mesure des battements (faites défiler quelques anneaux en mode temps réel et assurez vous que le minimum et le maximum restent compris dans la fenêtre d'affichage). Arrêtez le moteur.



Indiquez ensuite la durée souhaitée de l'acquisition. Le programme arrondi à la valeur possible supérieure. Pour les expériences les plus courantes, un temps de quelques minutes est suffisant. L'affichage est donné en secondes.



Cliquez sur « Démarrer » et attendez la fin de la période d'enregistrement.

Applications de l'acquisition dans le temps

L'acquisition dans le temps est couramment utilisée pour visualiser les phénomènes tel que :

- L'étude d'une source monochromatique (ou rendue monochromatique par un filtre). La sinusoïde résultante est proportionnelle à la longueur d'onde.
- Doublet de lampes spectrales comme le sodium ou le mercure. L'analyse d'une lampe spectrale à vapeur de sodium est une manipulation un peu plus longue, mais plus facile à réaliser (intensité importante et utilisation possible sans filtre).
- La largeur spectrale de filtres. Une lampe blanche éclaire un filtre interférentiel. Au voisinage de la teinte plate, l'enregistrement dans le temps donne une sinusoïde modulée par une gaussienne (si le filtre a une réponse gaussienne) dont la largeur est liée à la largeur spectrale du filtre.
- Et bien d'autres manipulations comme l'indice de l'air, la cohérence d'une source...

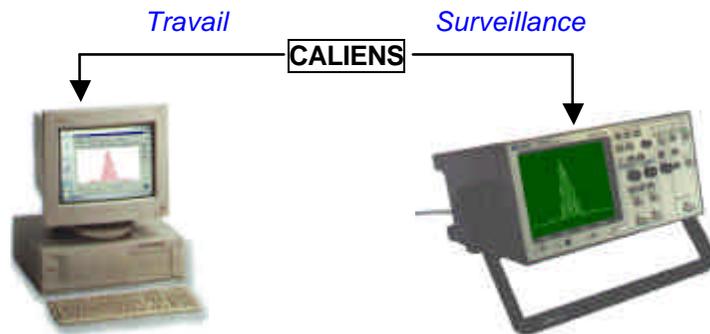
Des exemples d'applications détaillées et les rappels sur les formules sont données dans les planches de rappel du mode Michelson.



Une fois que le signal s'affiche, vous pouvez naviguer à partir de la barre de défilement et du réglage du zoom.

Vous pouvez sauvegarder le signal dans le temps comme s'il s'agissait d'une acquisition dans l'espace (le fichier est un .CCT au lieu d'être un .CCD). A noter que les paramètres (temps, nombre de point...) sauvegardés sont ceux choisis au moment du début de l'acquisition.

Le fonctionnement de l'acquisition dans le temps implique une certaine période durant laquelle aucune surveillance du phénomène via le PC n'est possible. Pour faciliter la manipulation, nous conseillons de brancher un oscilloscope à la caméra et surveiller ainsi le bon déroulement de l'acquisition.



Analyse de Fourier

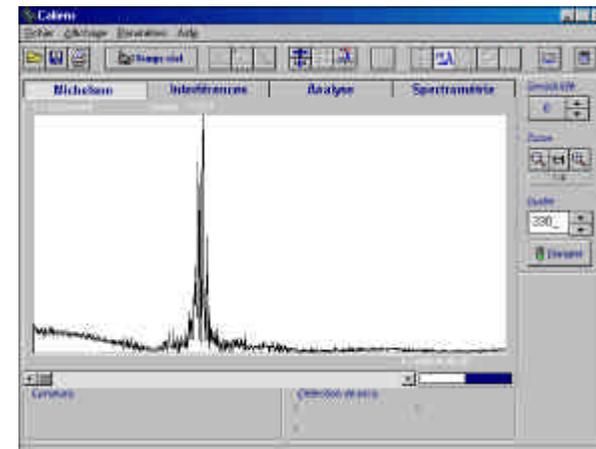
Le calcul de la transformée de Fourier se commande par le bouton central. Pour obtenir le résultat, il faut :

- faire une acquisition
- cliquer sur « Fourier »

L'indicateur de progression vous donne alors l'état du calcul. Le résultat s'affiche lorsque la jauge atteint 100%.

La courbe obtenue après l'acquisition doit être comparable à celle présentée précédemment. A l'aide des curseurs, mesurez la période du signal. Si vous enclenchez la détection de pics, vous pouvez noter que la valeur estimée du nombre de périodes entre les curseurs est donnée en bas à droite de la fenêtre d'acquisition.

Lancez un calcul de transformée de Fourier, et mesurez à l'aide des curseurs la fréquence principale ainsi extraite. Cette fréquence en Hertz est logiquement l'inverse de la période mesurée précédemment.



Cliquez alors sur le bouton « calculs », en mode « Raie simple / doublet ». Entrez la fréquence mesurée, la vitesse de translation axiale du moteur et cliquez sur « Calculer ». Vous devez retrouver la longueur d'onde de la source. Si la vitesse du moteur ne vous est pas connue, consultez la page suivante.

Remarque : L'outil transformée de Fourier permet d'obtenir très facilement la fréquence principale. Pour travailler avec des doublets, il est souvent difficile de mesurer précisément l'écart en fréquence. La transformée de Fourier permet de confirmer les résultats temporels.

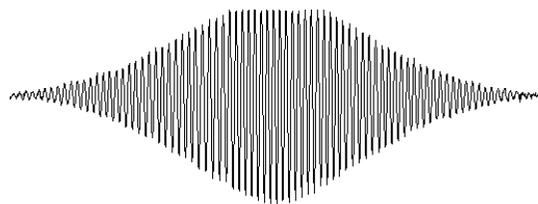


Quelques conseils...

Etalonner la vitesse du moteur

La vitesse de translation du moteur est souvent donnée par le constructeur, sous la forme utilisée avec CALIENS, ou sous une forme équivalente. Nous vous conseillons cependant d'étalonner la vitesse du moteur par l'intermédiaire des fonctions d'acquisition de CALIENS. Suivre alors les étapes suivantes :

- Eclairez le Michelson avec une lampe spectrale dont une seule des raies de longueur d'onde parfaitement connue est conservée (par filtre interférentiel).
- Procédez à l'enregistrement des oscillations sinusoïdales en faisant défiler les anneaux et en lançant un enregistrement dans le temps à partir du mode « Michelson ».
- Mesurez la période des oscillations aussi précisément que possible en secondes (ou la fréquence après transformée de Fourier en Hz). Pour une période, le miroir du Michelson s'est déplacé de la moitié de la longueur d'onde. Vous connaissez donc le déplacement et le temps mis pour ce déplacement.
- A l'aide de la calculatrice dédiée (bouton en haut à gauche de la barre d'outils principale), entrez la fréquence en Hz, et procédez par approximations successives (en entrant différentes vitesses de moteur : 0,6 $\mu\text{m/s}$ pour commencer) pour retrouver la bonne longueur d'onde. Ne



Filtre interférentiel éclairé en lumière blanche

vous limitez pas aux deux décimales suggérées par le logiciel. Les décimales entrées d'ordre supérieur seront également prises en compte. Une fois cet étalonnage effectué, vous disposez de la vitesse de translation de votre moteur.

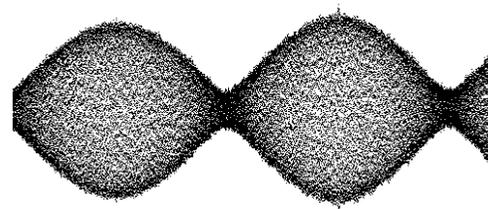
Autres conseils

Pour enregistrer des phénomènes longs contenant des battements internes à une enveloppe (filtres, source imparfaitement monochromatique...), il est possible de procéder en deux temps :

- Une acquisition de courte durée permettant de mesurer précisément la fréquence des battements sinusoïdaux.
- Une acquisition de longue durée permettant la récupération de l'enveloppe.

Les variations de luminance à 100 Hz induites par des sources alimentées alternativement conduisent à l'apparition d'une modulation, souvent peu dommageable pour les mesures, lors des acquisitions dans le temps. Elles seront réduites dans le cas d'un réglage de sensibilité à 2, 6, 10 ou 14.

Le lancement d'une acquisition dans le temps rend CALIENS indisponible pour la durée de l'acquisition. Un contrôle à l'oscilloscope est cependant toujours possible.



Plusieurs battements du Sodium affichés en mode "point"

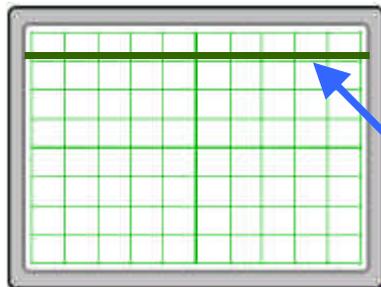


Utilisation de l'oscilloscope

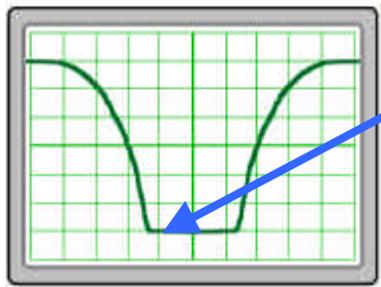
Obtenir le signal, ajuster la dynamique

La qualité des mesures données par CALIENS sera maximale lorsque le signal mesuré sera adapté à la dynamique de la caméra. Nous allons décrire comment obtenir un signal correspondant à cette dynamique. Positionner tout d'abord l'oscilloscope en déclenchement extérieur via la sortie « *Trigger* » du boîtier électronique CALIENS (oscilloscope en calibre $500\text{ mV} / \text{division}$, base de temps $0,5\text{ ms} / \text{division}$). La sortie "signal" de CALIENS doit être raccordée à une des entrées de l'oscilloscope. Le signal apparaît entre 0,5 et 2,5 V.

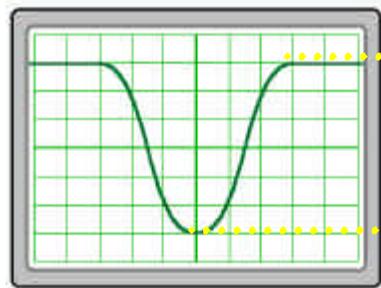
L'affichage est donné à titre d'exemple



Niveau d'obscurité



Niveau du maximum



Minimum

Maximum

- Masquer la zone utile de la caméra. Le signal obtenu est celui du noir. Il servira de référence (réponse de la caméra dans l'obscurité) Les zones claires seront en bas, les sombres au dessus.
 - Positionner le niveau de l'obscurité ainsi obtenu en haut de l'écran de l'oscilloscope.
 - Saturer légèrement le signal de façon à obtenir la position du maximum de lumière. Adapter le calibre vertical de l'oscilloscope pour que ce maximum corresponde au bas de l'écran.
 - Mettre CALIENS dans la position de l'expérience (ajuster à l'œil la position de la zone sensible par rapport à l'image de la mire).
- Si le signal est trop intense :
- Réduire la luminance en jouant sur la position de l'un des polariseurs)
 - Jouer sur la sensibilité (potentiomètre en face avant, ou logiciel).
- jusqu'à obtenir un signal maximum en limite de saturation.
- Effectuer les derniers ajustements en réglant au vu de l'écran la position de la caméra.



Le signal paraît inversé

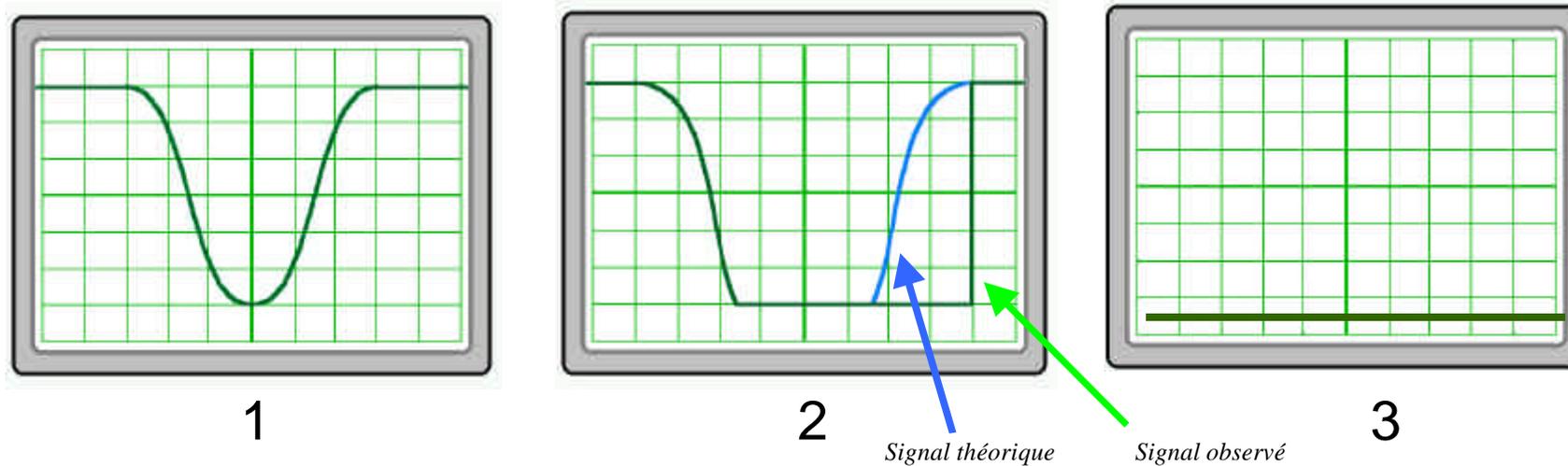
Comme nous le verrons, le flux lumineux est composé de photons qui arrachent des électrons (de charge négative), avec une certaine probabilité appelée « rendement quantique », créant ainsi un signal électrique. Plus l'éclairement est élevé, plus la densité de photons est grande, et donc plus le nombre d'électrons provisoirement stocké devient grand. Etant donné la charge négative de ce dernier, la tension est donc diminuée. Lorsque le pixel est lu, sa tension associée est donc plus faible lorsque l'éclairement correspondant est plus élevé. Il est en général facile d'inverser le signal via les réglages de l'oscilloscope



Eviter et remédier à la saturation

La saturation consiste à dépasser la limite de la dynamique du CCD. Le signal est à une position stable et ne représente plus linéairement l'éclairement du CCD. Dans le cas de la caméra CALIENS, on peut distinguer trois stades de saturation correspondant à un éclairement de plus en plus intense :

- La saturation simple (le signal plafonne à une tension donnée) - 1.
- La saturation avec blooming (débordement de la zone saturée sur une zone en théorie linéaire) - 2.
- La saturation totale (disparition du signal vidéo) - 3.



Observer la saturation

Pour étudier ces 3 états à partir de n'importe quelle manipulation, il suffit d'éclairer progressivement la barrette CCD (en partant du noir complet).



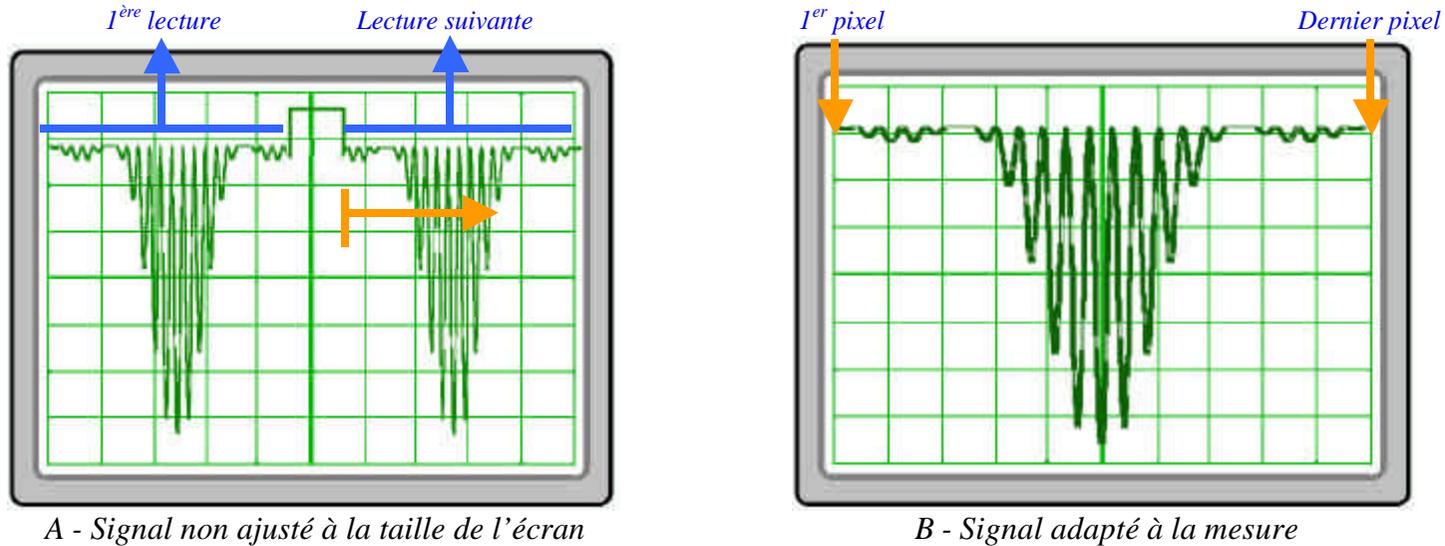
Le blooming

Le phénomène dit de "blooming" peut avoir deux origines : optique (rarement dans notre cas, le signal est si intense que les réflexions parasites suffisent à éclairer les pixels voisins) ou électronique (en simplifiant, les charges d'un pixel surexposé débordent dans le pixel voisin, surexposé ou non. Les zones exposées normalement à la suite deviennent donc elles aussi saturées).



Calculer une distance

Images typiques de la manipulation proposée



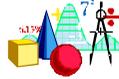
Le plan mécanique de la barrette CCD équipant la caméra CALIENS indique une zone utile de 28,67 mm. C'est en connaissant cette distance que l'on peut accéder à la mesure des phénomènes physiques. Le procédé est l'application d'une simple règle de trois.

- Tout d'abord, repérer la zone utile de la barrette CCD en exposant la barrette à un éclairage relativement uniforme, ou à une scène de manipulation (A).
- Pour simplifier les mesures, ajuster cette zone utile à une largeur d'écran d'oscilloscope (en décalibrant la base de temps de l'oscilloscope - vue B). La totalité de la zone utile est représentée dans la longueur de l'écran (10 carreaux en règle générale).
- La mesure peut alors être effectuée en mesurant sur l'écran le nombre de carreaux du phénomène (noté « n »), et en effectuant (si l'oscilloscope affiche 10 carreaux en longueur) :

$$L = (n \times 28,67) / 10$$

L est la mesure recherchée en mm.

Remarque : le temps entre une acquisition et la suivante est très largement fonction du temps de pose de la barrette, temps réglé par le potentiomètre de sensibilité.



Manipulations conseillées & technologie CCD

Nous décrivons ici les manipulations les plus courantes et les plus simples à réaliser. CALIENS est conçue pour être utile à toute manipulation d'optique. N'hésitez pas à nous consulter si vous souhaitez utiliser CALIENS en dehors des applications les plus courantes décrites ici.

Diffraction, interférences, réseaux

Manipulation

Objet :

Mettre en évidence les principes et conséquences de la diffraction. La manipulation met en évidence les principaux phénomènes de diffraction d'un point de vue qualitatif et/ou quantitatif.

Matériel requis :

L'étude de la diffraction nécessite des sources lumineuses (lasers de préférence), un banc, un jeu de fentes (éventuellement double ou multiple pour les réseaux). L'utilisation de CALIENS implique pour seul instrument supplémentaire par rapport au matériel traditionnel un jeu de 2 polariseurs (ou tout autre moyen d'atténuer le faisceau au gré de l'utilisateur).

Préparation :

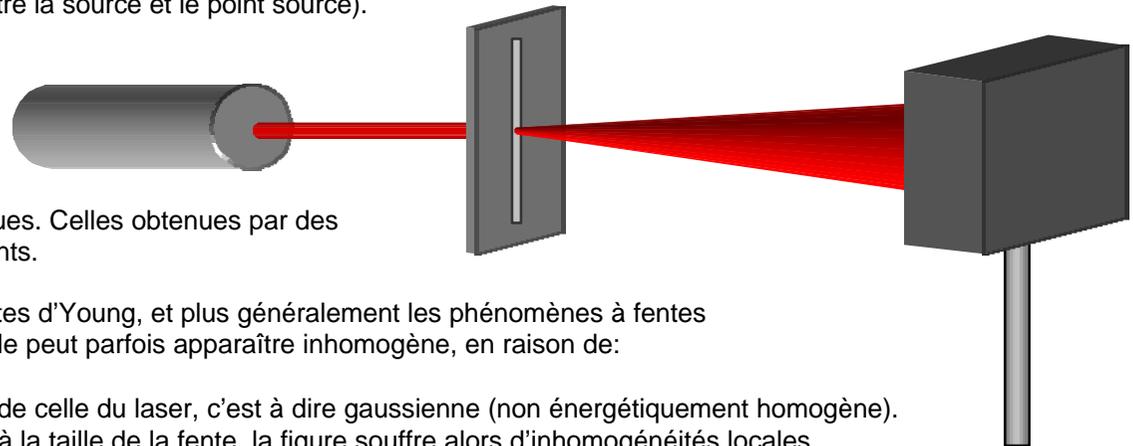
Réalisez la manipulation habituelle de diffraction / interférences. Comme décrit en page 8, interposez les polariseurs en sortie du laser. Si vous réalisez des manipulations avec des sources blanches ou des lampes spectrales, l'utilisation des polariseurs n'est pas strictement nécessaire. Il existe alors d'autres moyens de moduler le flux lumineux (par exemple en jouant sur la distance entre la source et le point source).

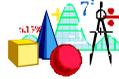
Attention également à la qualité de la fente. CALIENS vous donnera systématiquement la représentation du flux auquel vous l'exposez. Si les fentes présentent des défauts, la figure ne sera pas idéale.

Les fentes présentant la meilleure qualité sont des fentes métalliques. Celles obtenues par des procédés photographiques donneront des résultats moins concluants.

Les résultats les plus spectaculaires sont ceux donnés par les fentes d'Young, et plus généralement les phénomènes à fentes multiples. Dans le cas de la diffraction à une fente, la tâche centrale peut parfois apparaître inhomogène, en raison de:

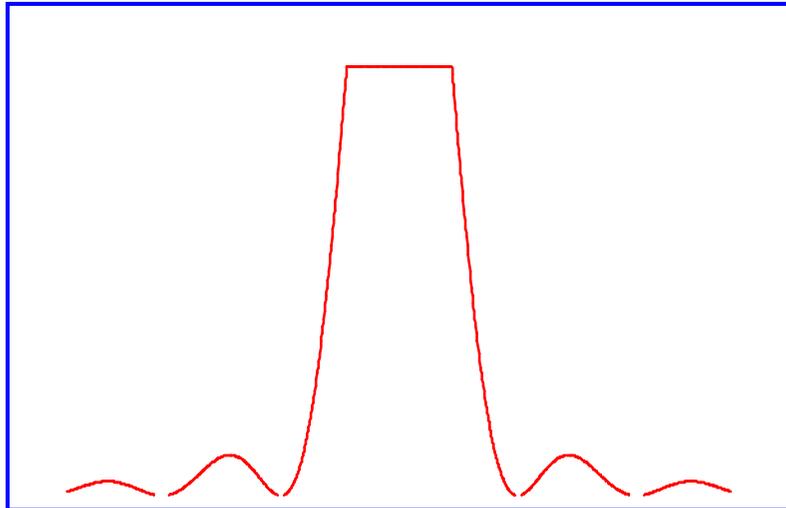
- L'onde plane incidente sur la fente à la répartition énergétique de celle du laser, c'est à dire gaussienne (non énergétiquement homogène).
- La granularité laser (speckle) est inversement proportionnelle à la taille de la fente, la figure souffre alors d'inhomogénéités locales.





Principales observations

Diffraction



Pour réaliser les réglages, placez vous en mode « temps réel ». Le réglage de l'orientation de la fente doit être effectué au début de l'expérience, et à chaque fois qu'elle est bougée (pour de plus amples informations, consultez le chapitre de formation rapide). Le réglage de hauteur doit être retouché à chaque mouvement de l'un des éléments du montage.

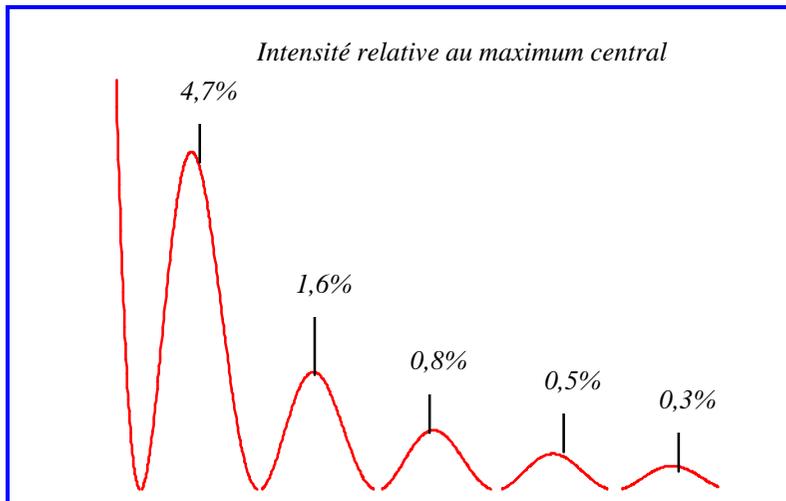
Pour mesurer la largeur temporelle de la tache centrale, *il convient de saturer la barrette CCD afin de bien visualiser les premiers minima.*

A partir de la mesure ou de la connaissance :

- de la tache centrale de diffraction (de largeur d)
- de la longueur d'onde de la source
- de la distance fente - barrette

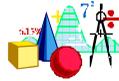
la formule de diffraction : $a = 2 \cdot l \cdot \frac{L}{d}$, permet de déduire la largeur a de la fente.

Il peut également être intéressant de visualiser les harmoniques secondaires. Cela dit, la tache principale étant très saturante, il est préférable de la masquer par rapport à la zone sensible pour n'exposer la barrette qu'aux lobes secondaires.



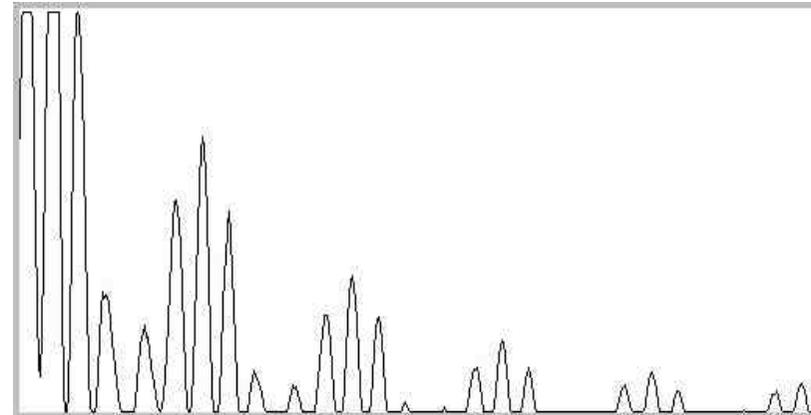
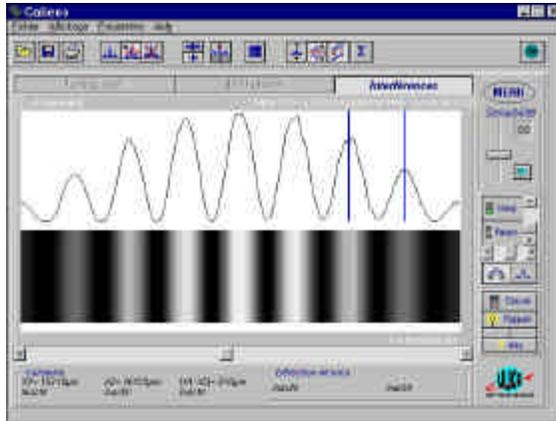
La sensibilité du CCD étant linéaire (contrairement à l'œil à sensibilité logarithmique), les harmoniques d'ordres élevés, bien que visibles à l'œil, sont plus difficilement observables par CALIENS. On parvient cependant à visualiser sans difficulté la 5^{ème} harmonique.

La mesure des maxima relatifs d'intensité est possible mais reste délicate. Une mauvaise colinéarité du CCD et de la figure d'interférences produit des effets importants sur la fiabilité des résultats.



Fentes d'Young, réseaux

Le montage pour les fentes d'Young nécessite simplement le remplacement de la simple fente par une double fente. Le principe de réglage est identique à celui de la diffraction. Globalement, les mêmes remarques sont applicables.



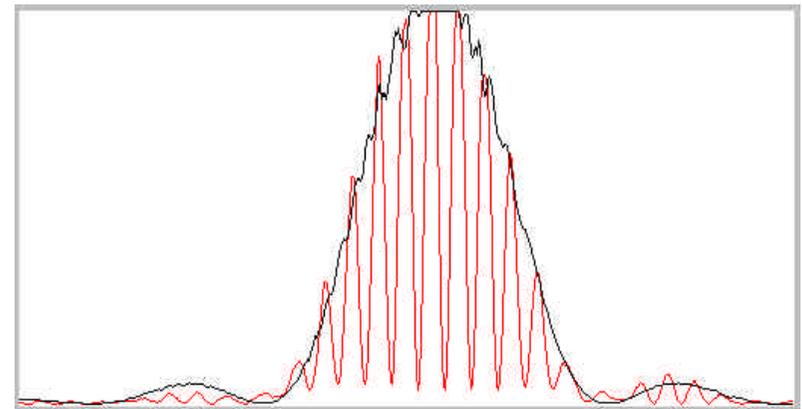
Exemples d'acquisitions sur la manipulation des fentes d'Young (lobe principal à gauche, harmoniques à droite)

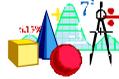
On peut comme dans le cas de la diffraction, revenir à la distance entre les deux fentes à partir de la mesure temporelle de l'interfrange*i*.

$$d = \frac{\lambda}{i} \cdot L$$

Une expérience intéressante consiste à superposer les figures de diffraction et d'interférences à deux fentes. Pour cela, réalisez une acquisition de la figure d'interférences (fentes d'Young). Masquez le plus efficacement possible l'une des deux fentes. Vous obtenez alors une figure de diffraction (souvent entachée d'un résidu d'interférences...). A l'aide des fonctions de superposition, vous montrez alors que les fentes d'Young sont la conjugaison d'un phénomène de diffraction et d'interférences.

Pour l'étude des systèmes multi-fentes (réseaux...), le principe de la manipulation reste entièrement valable.





Optique géométrique, code barre

Manipulation

Objet :

Mettre en évidence les propriétés fondamentales de l'optique géométrique (grandissement, focale...) à partir d'applications concrètes. Etudier le fonctionnement d'une barrette CCD.

Matériel requis :

La manipulation nécessite une mire d'alternances noires et blanches (un code barre convient très bien, ou une mire éventuellement en niveaux de gris), un système optique capable de former une image réelle (lentille convergente, objectif...), un jeu de caches opaques (type papier Canson™ noir), une ou plusieurs sources lumineuses.

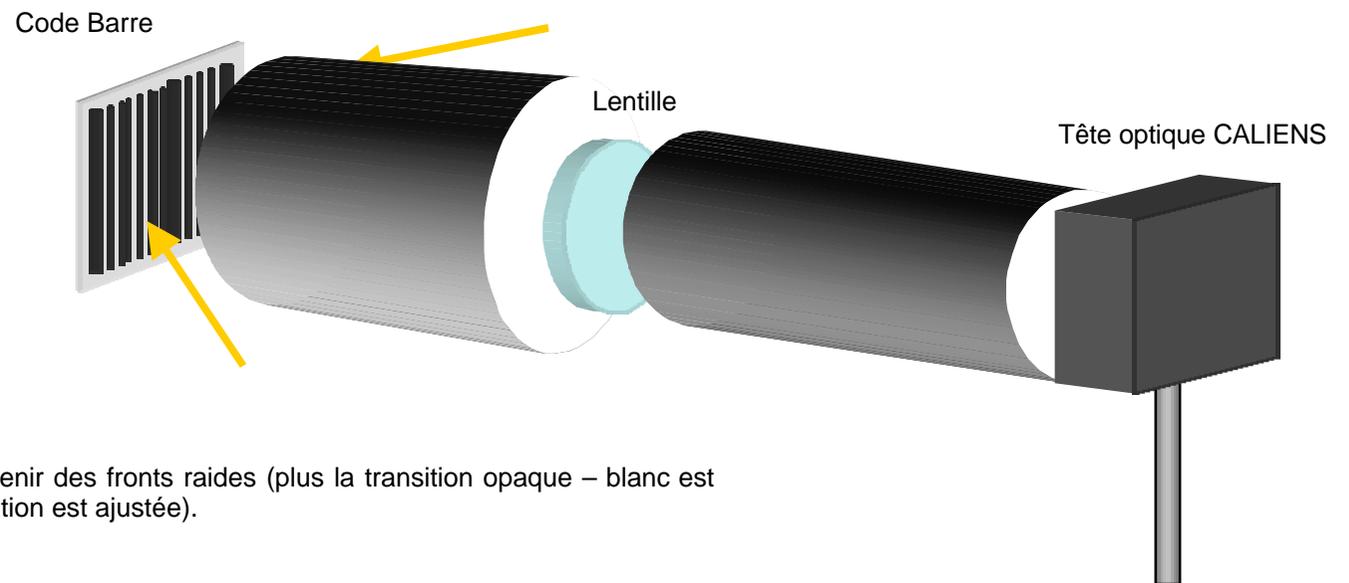
Préparation :

Placez un écran blanc à une distance $2xf$ (f : focale du système optique) de la lentille. La focale de la lentille doit être de l'ordre de 200 mm. CALIENS est placée sur le plan image à la distance $2xf$ de la lentille. Eclairez l'écran par les côtés en plaçant les caches de façon à ne pas laisser passer dans la manipulation de lumière autre que celle réfléchi par l'écran.

La manipulation fait intervenir de nombreux phénomènes qui nécessitent de comprendre tout d'abord le principe de la lecture par le CCD. Il est nécessaire d'optimiser les principaux réglages du système.

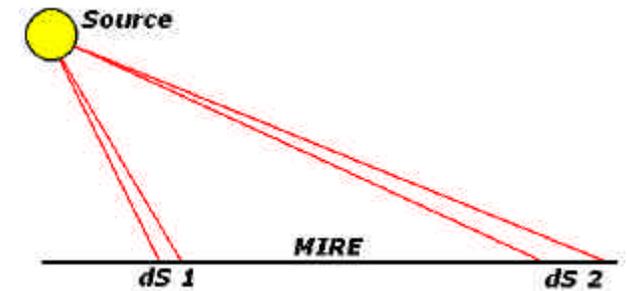
Munissez vous d'un objet fin et opaque, et translatez le horizontalement au niveau de l'écran pour observer l'effet produit au niveau du signal CCD. La quantité de lumière doit être réglée pour obtenir un signal le plus haut possible au niveau de l'image de l'écran blanc, et le plus bas possible au niveau de l'image de l'objet opaque.

La distance Lentille-CCD doit être ajustée pour obtenir des fronts raides (plus la transition opaque – blanc est rapide, plus l'image est nette et donc plus la focalisation est ajustée).



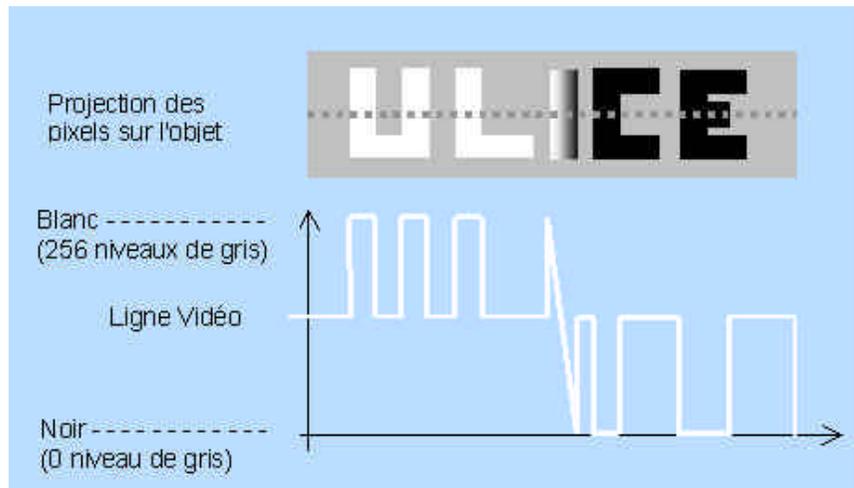
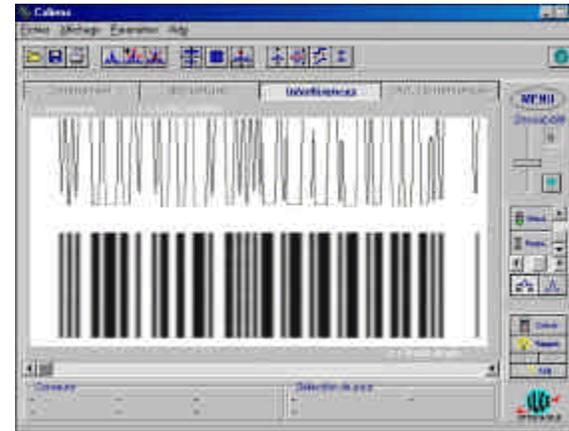
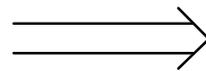


Si l'objet est éclairé dans une seule direction, les blancs ne seront pas homogènes. En effet, pour une source inclinée par rapport à la mire, un même cône d'émission éclairera des surfaces $dS1$ et $dS2$ de taille très différente. L'énergie reçue par unité de surface sera elle aussi différente. La représentation de $dS1$ sera ici plus lumineuse que $dS2$. En plaçant des sources de chaque côté de la mire, ce phénomène est réduit.



Principales observations

Lecture de code barre



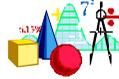
Le code barre est placé au niveau de l'écran.

Un système similaire, doté d'un logiciel d'interprétation des données, équipe les lecteurs de code barre portatifs.

Connaissant les principales dimensions du code barre, il est facile de réaliser un calcul de grandissement. Le signe du grandissement sera donné par l'inversion ou non du code barre.

En réalisant la même expérience avec une mire en niveaux de gris, il est aisé d'étudier le phénomène de génération d'une image vidéo. CALIENS représente alors une ligne de l'image.

Lorsque la mire est réalisée à partir d'une imprimante et que la focalisation est ajustée (si le système optique est de bonne qualité), il est possible d'apercevoir un bruit au niveau des gris. Ce bruit correspond à l'image en apparence grise de la mire et constituée d'une succession de points noirs et blancs.



Les barrettes CCD

La technologie

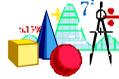


Exemples de barrettes CCD.

Les **CCD** : **C**oupled **C**harge **D**evice (Dispositif à Transfert de Charge), ont été inventés en 1970 par Boyle et Smith des laboratoires Bell Labs aux Etats-Unis. Initialement, cette technologie basée sur le transfert de charges était destinée à réaliser des lignes à retards pour signaux analogiques. Vite adaptés à l'imagerie, ces composants échantillonnent l'image par des cellules élémentaires nommées pixels. Ils ont vite remplacé les systèmes à balayage (l'image optique est alors balayée sur un seul élément sensible) et ont facilité l'expansion de l'imagerie dans le domaine du grand public.

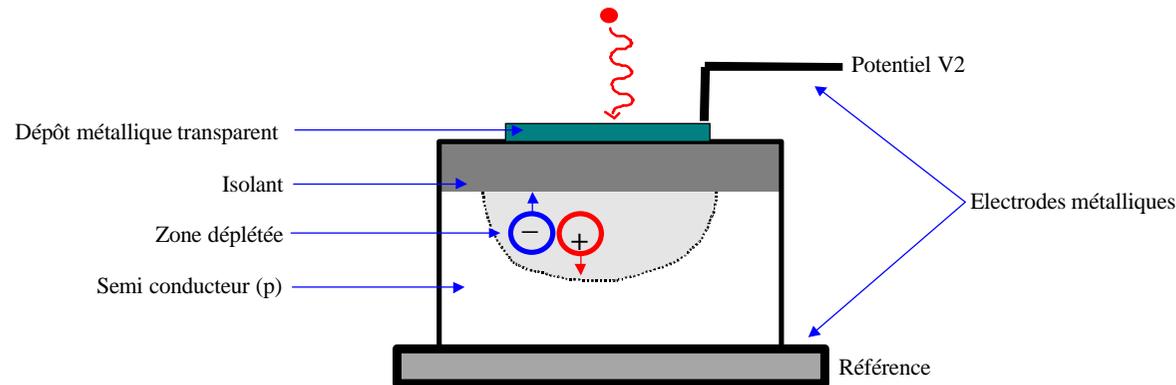
Basé sur la conversion du flux lumineux en un signal électrique, le CCD silicium travaille majoritairement dans le domaine visible. Il est possible de mesurer ou de desceller des rayonnements optiques situés en dehors du domaine spectral de sensibilité de l'œil c'est à dire dans le domaine de l'ultraviolet ou de l'infrarouge. C'est le cas de certains types de CCD (à éclairage par le dos - back illuminated).

Les CCD ont de nombreux domaines d'applications dans la vie courante : Caméscopes, Télécopieurs, Scanners informatiques, Systèmes à code barre...



Mécanisme de conversion du flux lumineux en un signal électrique exploitable.

Lorsque la barrette CCD est éclairée, les photons interagissent avec certaines parties photosensibles de cette puce nommées *Pixels* (Picture Element – Élément d'image). Il en résulte la création de paires électron-trou : création d'un trou dans la bande de valence du substrat suite à l'extraction d'un électron de la surface de la puce. L'électron est alors capté dans un puits de potentiel créé par une électrode maintenue à un potentiel V_2 . Au cours du temps, d'autres photoélectrons sont produits à proximité de l'électrode et sont aussi dirigés vers le puits de potentiel.



Principe d'extraction des photoélectrons du substrat.

Il y a ainsi stockage des électrons et création d'une charge électrique dont la valeur est proportionnelle à la quantité de lumière incidente sur le pixel.

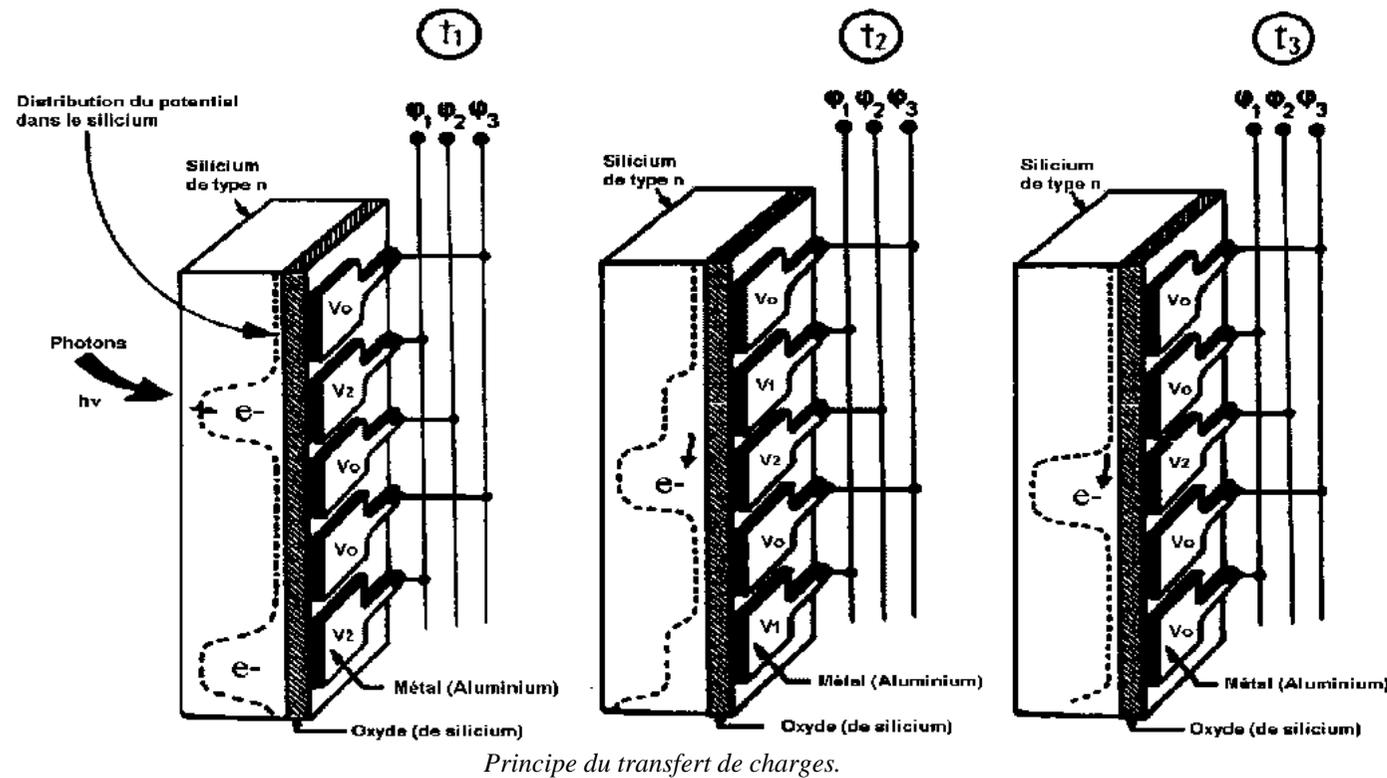
La probabilité pour un photon incident de créer une paire électron trou est nommée rendement quantique.

Une fois les électrons stockés au niveau de l'électrode, il est nécessaire de les transférer afin d'en analyser la charge correspondante. C'est le principe du transfert de charges.

Mécanisme du transfert de charges (circuit de lecture).

Plusieurs méthodes de transfert de charges sont utilisées. Nous décrivons dans ce qui suit, le transfert à trois phases.

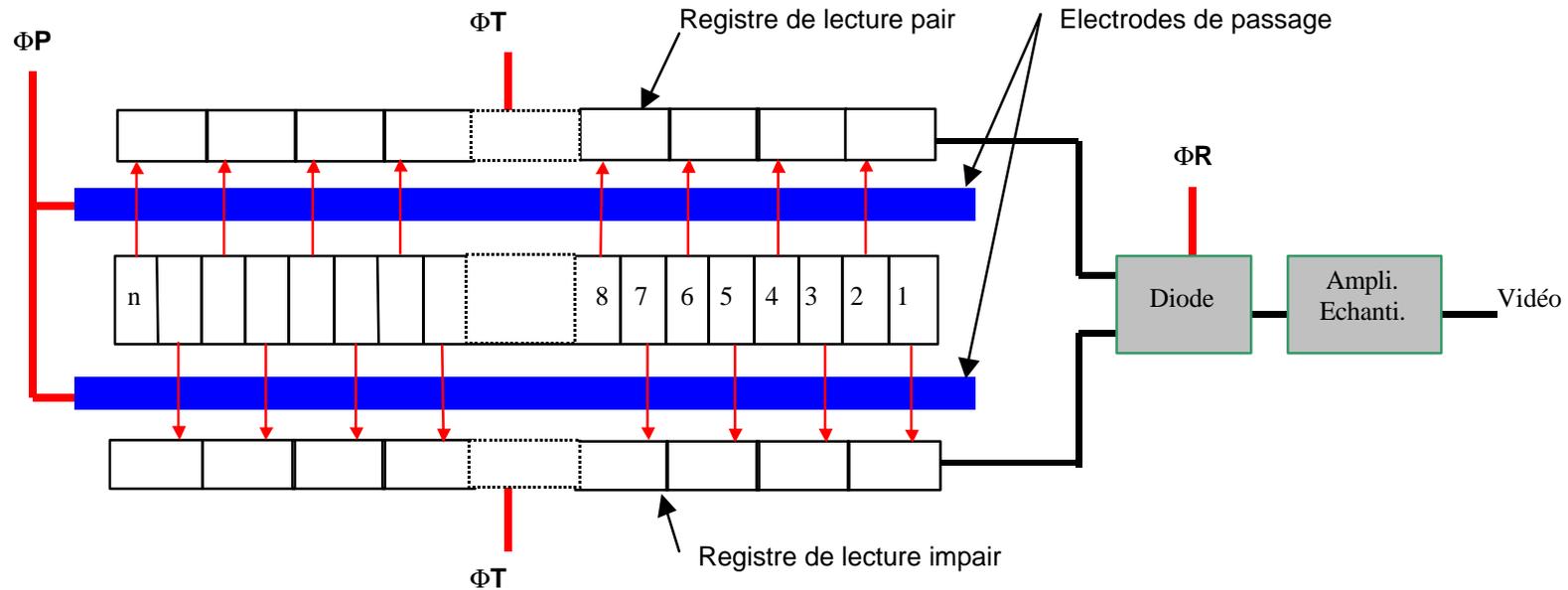
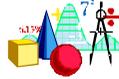
Les électrodes au niveau desquelles se sont accumulés les électrons, sont reliées par groupe de trois aux trois phases ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 qui délivrent des tensions de commande.



A t_1 , le puits de potentiel est créé sous l'électrode 1 se trouvant à un potentiel V_2 . Le puits de potentiel est composé des électrons créés par effet photoélectrique. Ces charges restent bloquées sous l'électrode 1 dont le potentiel V_2 est plus positif que le potentiel V_0 des deux électrodes voisines.

De t_2 à t_3 , l'électrode 2 est mise progressivement à l'état haut, son potentiel passe de V_0 , à V_1 puis à V_2 . Dans le même temps, l'électrode 1 est mise progressivement à l'état bas, son potentiel passant de V_2 à V_1 puis à V_0 . On obtient ainsi le vidage complet des électrons du premier puits dans le second puits. Les charges sont ensuite bloquées au voisinage de cette nouvelle électrode par le potentiel V_0 appliqué aux électrodes 1 et 3.

Le cycle recommence alors de proche en proche, avec des sauts de charges d'une électrode à la suivante.



Le transfert séquentiel des charges est géré par deux registres de lecture : l'un correspond à la lecture des pixels de rang pair, l'autre de rang impair.

Une horloge f_T gère le transfert de charge depuis chacun des photoéléments jusqu'à la diode.

L'horloge f_P indépendante de la première, commande le transfert des charges vers le registre pair ou impair, par la création de puits de potentiel.

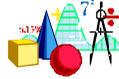
Les charges progressent jusqu'à la diode de sortie qui effectue la conversion charge - tension. Un amplificateur permet ensuite d'augmenter le signal.

Une barrette CCD transforme ainsi un signal optique incident, fonction des paramètres d'espace et de temps $F(x, y, z, t)$ en un signal électrique ou réponse qui peut être une tension, un courant ou une puissance et qui peut être facilement récupéré par ordinateur. Pour CALIENS, l'échantillonnage du

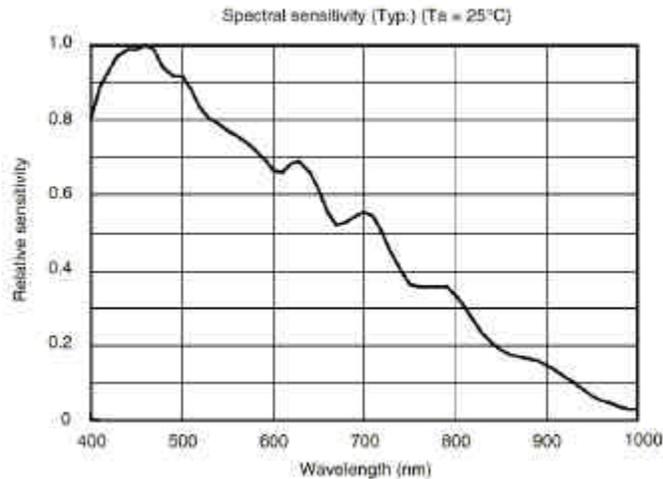
signal est synchrone des horloges de lecture pixel à pixel, ce qui signifie qu'un échantillon numérique est représentatif d'un pixel.

Une connexion du signal analogique vers l'ordinateur muni d'une carte d'acquisition ne permet pas de récupérer la synchronisation de lecture pixel à pixel. La précision n'est plus représentative de la définition de la barrette, mais tend vers elle lorsque la fréquence d'échantillonnage augmente.

Une barrette CCD permet l'obtention d'une image suivant une direction. Si l'on souhaite toujours à partir d'une barrette CCD obtenir une image en deux dimensions, ceci exige qu'un balayage de celle-ci soit effectué perpendiculairement à la ligne photosensible, ce qui augmente le temps d'acquisition. Les récents développements de la technologie CCD favoriseront de plus en plus l'utilisation d'une matrice CCD : l'élément photosensible est constitué de pixels disposés cette fois sur une surface.



Caractéristique de la barrette CCD de CALIENS.

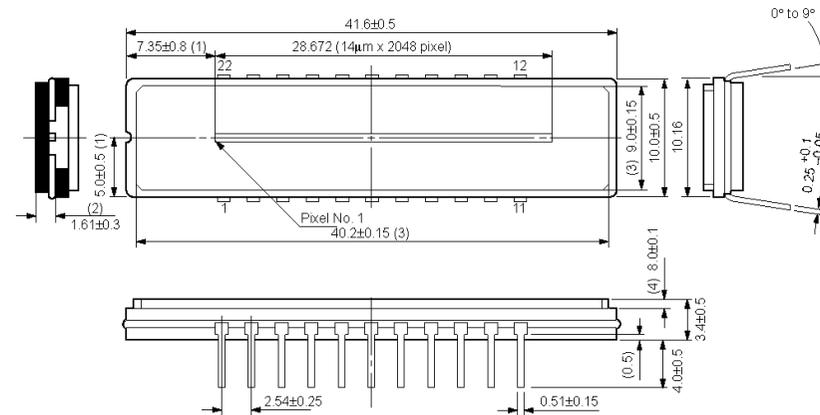
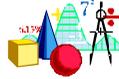


① La barrette CCD comporte une ligne de *2048 pixels actifs*, de taille *14mm x 200mm*. La fréquence de lecture de la barrette est de l'ordre de *1 MHz*, ce qui représente la fréquence de lecture de pixel à pixel.

② La sensibilité spectrale donne la réponse du détecteur en fonction de la longueur d'onde du rayonnement exciteur. Elle est donnée par la courbe $S(\lambda)$ *normalisée* et représente le rendement de la conversion du flux (Watt) tombant sur le détecteur en courant ou en tension, en fonction de la longueur d'onde.

La barrette CCD en silicium a une plage de sensibilité située dans le spectre visible 400-800 nm avec une réponse optimale autour de 500 nm. Elle s'étend au delà du domaine visible par une sensibilité non nulle dans l'infrarouge proche (jusqu'à 1 000 nm).

③ Lors de l'utilisation de la barrette CCD, on s'attachera à travailler dans *sa plage de linéarité juste en limite de saturation*. Dans ce cas, le signal de sortie est proportionnel à l'éclairement de la barrette, c'est à dire au nombre de photons reçu. La loi de linéarité n'est plus vérifiée lorsque l'on dépasse le seuil de saturation ou lorsque l'éclairement est trop faible.



Caractéristiques de la barrette CCD de Caliens

④ Le bruit : on distingue trois sortes de bruit pour un capteur CCD :

- Le bruit dans le temps dû à l'agitation thermique. Celle-ci crée des charges parasites en obscurité qui constituent alors des informations fausses à la lecture. Le bruit quantique correspond lui au phénomène corpusculaire de la lumière. Le nombre incident de photons sur un pixel dans un temps donné est une fonction statistique. Entre deux acquisitions successives, le total des charges récupérées peut être différent. Le bruit temporel est facilement visualisable lorsque l'éclairement est constant dans le temps. Le signal fourmille de petites variations représentatives en partie de ce bruit.
- Le bruit spatial, quant à lui est fixe. Il est causé par des imperfections de construction qui amènent des différences de caractéristiques entre chaque pixel. A éclairement constant, le signal est légèrement irrégulier.
- Le bruit apporté par l'électronique de contrôle et de traitement correspondant aux interférences électromagnétiques et incertitudes de l'échantillonnage. La mesure de ce bruit permet de quantifier la qualité de l'électronique de traitement.

En plus du bruit, un niveau continu peut se superposer au signal observé. Ce niveau continu dégrade la qualité des observations. Pour l'éviter, il est important de se placer dans une pièce obscure, à l'abri de la lumière artificielle.

Une caméra CCD transforme un signal spatial en un signal temporel, réalisant la même opération que les caméras à balayage. On obtient un signal

analogique dans les deux cas, mais celui-ci est auparavant échantillonné dans le cas d'un CCD. Il sera ensuite plus facile de traiter l'information à l'aide d'un ordinateur. L'absence de tout système mécanique en mouvement confère aux caméras CCD une meilleure durée de vie, un coût potentiellement plus faible, et un encombrement réduit.

Index

A

Absorption · 28
 acquisition · 11
 Acquisition · 14
 affichage de l'oscilloscope · 35
 Affichage simultané · 14
 alignement · 10
 alimentation électrique · 4
 alimentation secteur · 3
 axes · 15

B

barrette CCD · 37
 base de temps · 35
 Boîtier de contrôle · 3
 brancher · 4
 bruit · 17, 48
 bruit spatial · 18
 bruit temporel · 18

C

câble 25 points · 4
 Calibration · 27
 CCD · 43
 couleurs · 8, 15, 29
 Courbe de référence · 28
 courbes · 14
 curseurs · 11, 15

D

déclenchement · 5, 35
 diode verte · 5
 dispersion · 26
 Documentation · 3
 domaines d'applications · 43
 dynamique · 5, 35
 adaptation de · 17
 limite de · 36

E

éclairage · 6
 éclairement · 36
 effacement des courbes · 14
 électricité statique · Voir
 Etalonnage · 27, 28
 exponentielle · 24
 exportation · 13

F

faisceaux gaussiens · 21
 FFT · 19, 33
 fichier · 13
 filtrage · 11
 filtre numérique · 18
 fourier · 19, 33
 fréquence de lecture · 47

G

gaussienne · 21
 grille
 affichage de · 16

H

histogrammes · 24

I

imprimante · 13
 instabilité · 6
 installer le logiciel · 8
 interférences · 21
 interpréter les résultats · 6
 inversion · 17

L

logarithmique · 24
 logiciel · 8
 interface du · 9
 Longueur d'onde · 27
 LUT · 24

M

Mallette · 3
 manipulation · 6
 maximum · 35
 maximum du signal · 17
 mesure · 37
 mis sous tension · 5
 mode · 16
 moyennage · 18

N

niveau continu · 48
 Niveaux de couleurs · 29
 niveaux de gris · 10, 16
 niveaux numériques · 17
 numéro de série · 8

O

obscurité · 35
 oscilloscope · 35

P

pic · Voir mode
 Pixel · 44
 Placer le banc · 6
 point · Voir mode
 potentiomètre · 5

R

Réduire la luminance · 35
 référence · 35
 Regressi · 13
 Réseau · 26

S

salle · 6
 saturation · 36
 saturation avec blooming · 36
 saturation simple · 36
 saturation totale · 36
 sauvegarde · 13
 sensibilité · 3, 5, 11, 20, 35
 sensibilité de l'œil · 43
 signal · 5
 simulation · 21
 sortie analogique · 5, 6
 sortie numérique · 6
 Spectre · 26, 29
 Spectromètre · 26
 superposition · 14
 Synchronie · 13

T

temps réel · 10, 14
 Tête optique · 3
 transfert de charge · Voir CCD

V

vecteur · 16

Z

zone utile · 37
 zoom · 11, 20