



OHANA-SPE-LAR

OHANA : Spécifications Ligne à Retard

Version 1.0

1. Description du système

1.1. Fonction de la ligne à retard

Les rayons issus d'un objet astronomique et passant par deux télescopes distincts sont en général de longueur différente sauf lorsque l'objet passe au méridien de la base. La ligne à retard a pour fonction de retarder ou d'avancer la lumière de façon à égaliser les chemins optiques dans les deux bras de l'interféromètre. Elle se compose de plusieurs miroirs se déplaçant sur des chariots dont on doit pouvoir contrôler la position à une fraction de longueur d'onde. L'objet astronomique étant en mouvement apparent du fait de la rotation terrestre, la ligne à retard doit également permettre de maintenir la différence de marche nulle en suivant le déplacement du paquet de franges à mesure que la source observée traverse le ciel.

1.2. Spécificités ligne à retard OHANA

1.2.1. Interféromètre fibré

La ligne à retard OHANA s'insérera dans un interféromètre utilisant des fibres optiques monomodes. Elle devra donc comporter toutes les optiques nécessaires et leurs montures pour réaliser l'injection (entrée et sortie) des faisceaux lumineux dans les fibres.

1.2.2. Trois bandes astronomiques (J,H,K)

L'interféromètre OHANA devra fonctionner dans les trois bandes astronomiques J, H et K et utiliser pour cela un type de fibre monomode pour chaque bande. Comme pour les platines d'injection OHANA, la ligne à retard devra donc pouvoir passer d'une fibre à l'autre. Un système de positionneur de fibre identique à celui de la platine d'injection sera utilisé à cet effet.

1.2.3. Ligne à retard à trois étages

Compte tenu de la difficulté de satisfaire à la fois le besoin d'égalisation de la différence de marche sur de grandes longueurs et de suivi précis des franges, la ligne à retard OHANA comporte trois étages :

- le **Chariot Central** : sa fonction est de réaliser l'égalisation grossière de la différence de marche. Il peut pour cela se déplacer sur une course d'environ 12 m. Supportant 4 dièdres, il génère ainsi une variation de retard maximale de 48 m.
- le **Chariot Aerotech** : sa fonction est de maintenir la position de différence de marche nulle fixe au cours du temps dans l'interféromètre. Il doit être précis en position et en vitesse. La lumière est réfléchiée par un dièdre traduisant ainsi la course mécanique maximale de 1 m en un retard maximum de 2 m.
- le **Fast Scan** (balayage rapide en anglais) : ce système, constitué d'un miroir plan monté sur une céramique piezo-électrique, permet de faire varier linéairement la différence de marche d'une centaine de microns autour de la différence de marche nulle pour « dessiner » le paquet de franges. Le Fast Scan d'abord conçu pour l'instrument FLUOR puis intégré à VINCI sur le VLTI n'est pas décrit dans ce document et considéré comme un système disponible sur étagère.

1.2.4. Autoalignement

La ligne à retard devra être capable de s'aligner très rapidement après déplacement du Chariot Central ou après changement de fibre. Cela impliquera de motoriser un certain nombre d'axes sur le Chariot Central et d'inclure dans la ligne à retard un système de contrôle de l'alignement.

1.2.5. Mode autocollimation

La ligne à retard devra être capable de faire du suivi de frange en autocollimation. Ce mode de fonctionnement permettra de vérifier le bon fonctionnement de la ligne à retard indépendamment du reste de l'interféromètre et de lever ainsi rapidement un doute en cas d'échec de la recherche de franges. Un quatrième élément en translation servira ainsi à simuler un retard variable inconnu que devra compenser le reste de la ligne à retard (*Chariot Schneeberger*). Avant d'être un mode de vérification, ce mode d'autocollimation de la ligne à retard servira à valider les procédures de recherche des franges en laboratoire.

1.3. Installation au télescope Canada-France-Hawaii

1.3.1. Emplacement

La ligne à retard OHANA sera installée dans la salle Upper Coudé Room située dans le pilier central du télescope Canada-France-Hawaii (Figure 1). Ce pilier circulaire, isolé du bâtiment contenant les servitudes du télescope, fournira un environnement exempt de vibrations à la ligne à retard. Cette salle contiendra déjà un spectrographe appelé Gecko occupant le centre de la salle Coudé et s'étendant vers le Sud. Le quart Sud-Est de la salle sera réservé à l'instrument ESPADON. La ligne à retard pourra donc s'étendre, le long d'une corde, au nord de cette salle circulaire. La longueur hors tout de la ligne à retard avoisinera alors les 14 mètres.

1.3.2. Mode de fixation

Le télescope Canada-France-Hawaii impose d'utiliser un système de plaques collées sur le sol pour fixer les instruments installés sur place. Une description détaillée du mode de fixation et des libertés laissées aux instruments a été demandée au CFH au mois d'août 2002.

1.3.3. Contraintes des infrastructures

La taille des éléments de la ligne à retard sera compatible avec les infrastructures (ascenseurs, tailles des coursives, portes) du télescope. Les tailles maximales et poids maximum autorisés des constituants individuels de la ligne à retard ont été déterminés en concertation avec le CFH au mois d'août 2002. L'implantation est présentée en Figure 1

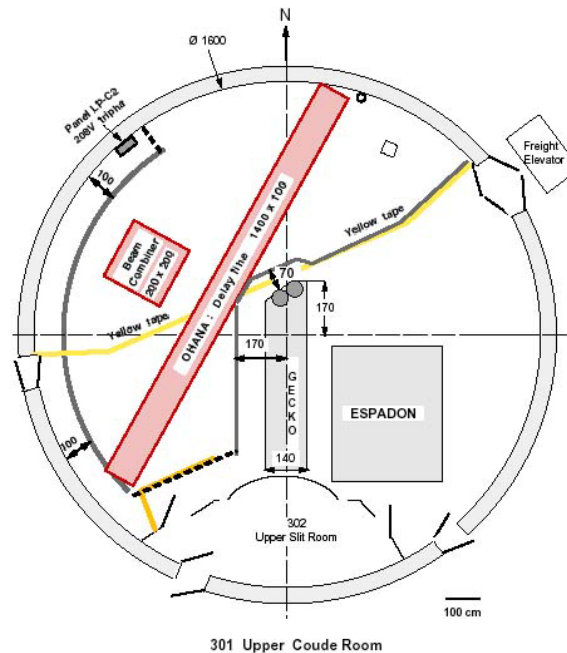


Figure 1: Implémentation de la ligne à retard OHANA dans la Upper Coude Room au télescope Canada-France-Hawaii

2. Conventions et définitions

2.1. Termes

Identifiant	Version abrégée	Description
Ligne à Retard	LAR	Système global
Chariot Central	CC	Chariot générant le retard fixe maximum de 48 m
Chariot Aerotech	CA	Chariot permettant de maintenir la différence de marche nulle
Fast Scan	FS	Miroir sur translateur piézo-électrique pour le balayage de la différence de marche nulle
Chariot Schneeberger	CS	Chariot de simulation d'une différence de marche variable
Table à retard continu	TRC	Ensemble comprenant notamment le chariot Aerotech et le Fast Scan
Table à retard simulé	TRS	Ensemble comprenant le chariot Schneeberger

2.2. Axes

Les axes sont définis par un repère tridimensionnel direct orienté dans la direction de propagation du faisceau. Par convention, l'axe Z pointe dans la direction de propagation du

faisceau, l'axe vertical Y est orienté vers le haut et le troisième axe X est horizontal (Figure 2).

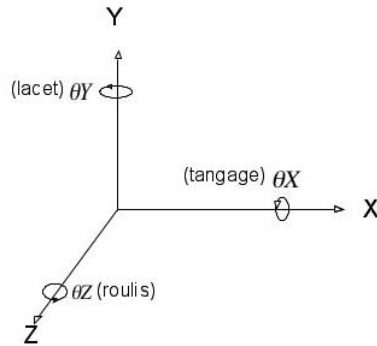


Figure 2: définition des axes et angles

2.3. Angles

Les inclinaisons de faisceaux sur l'axe optique sont définis par les trois angles θX , θY et θZ orientés dans le sens trigonométrique. Le faisceau étant à symétrie de révolution, l'angle θZ n'est pas utilisé. Les correspondances avec les angles d'attitude utilisés pour les chariot en translation sont également données en Figure 2 (roulis-roll, tangage-pitch, lacet-yaw).

3. Spécifications mécaniques

La ligne à retard (LAR) est composée de trois ensembles principaux (voir Figure 3) :

- La table à retard continu qui comporte notamment le Chariot Aerotech et le Fast-Scan (TRC);
- La table à retard simulé sur laquelle se trouve le Chariot Schneeberger (TRS);
- Le chariot central à retard incrémental ;

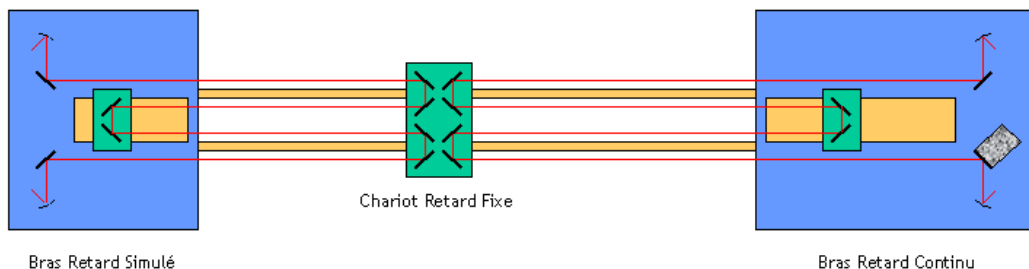


Figure 3: Les trois ensembles de la LAR : la table à retard simulé (TRS), le chariot central (CC) et la table à retard continu (TRC).

3.1. Table à Retard Continu

3.1.1. Table optique

Table optique supportant les optiques du TRC.

L'ensemble des éléments du TRC sont posés sur une table optique.

La table d'interface avec le support mécano-soudé a été dessinée par Martial Lopez à la DT/INSU.

3.1.2. Système d'injection en entrée

3.1.2.1. Porte-fibres

Système permettant de positionner différentes fibres au foyer de la parabole d'injection.

Il s'agit du système FI développé pour le module d'injection. 4 fibres sont nécessaires : J, H, K et une fibre de calibration.

Voir études mécanique du module d'injection.

3.1.2.2. Parabole d'injection

Parabole hors-axe permettant de produire un faisceau afocal à partir de la fibre placée à son foyer.

Elle est dimensionnée pour une ligne à retard de 50 mètres (les caractéristiques exactes sont disponibles auprès de Jean-Michel Reess) :

Focale : 50,8mm
Diamètre : 50,8mm.

Le montage de la parabole doit être similaire à celui de la parabole P2 des modules d'injection.

Voir études mécanique du module d'injection.

3.1.2.3. Miroir plan d'injection d'entrée

Miroir de pointage fin permettant de faire correspondre les fibres d'entrée et de sortie du bras de la ligne à retard.

Il s'agit d'un système semblable au miroir M2 du module d'injection dont il assure la même fonction d'injection fine dans la fibre de sortie.

Voir études mécanique du module d'injection.

3.1.3. Chariot Aerotech

Table de translation chargée de produire le retard continu de la LAR.

Produit commercial : table de translation Aerotech de 1 mètre de course. Elle est spécifiée en précision de positionnement et en stabilité de vitesse de translation.

Référence du chariot : ALS 5000

Documentation disponible sur site web Aerotech
(www.aerotech.com/products/stages/als5000.html).

3.1.3.1. Correction des défauts de translation du chariot Aerotech

L'alignement du faisceau de la ligne à retard est sensible aux erreurs de tangage du chariot Aerotech et aux translations selon X. Les mesures de caractérisation ont montré qu'une correction du tangage était nécessaire. Elle s'effectuera en agissant sur le miroir plan d'entrée. Le dièdre supporté par le chariot Aerotech ne nécessite donc pas un réglage θ_X commandable à distance. Seul un réglage fixe est nécessaire.

3.1.3.2. Positionnement du chariot Aerotech

L'axe du chariot Aerotech devra être positionné parallèlement à la direction de translation moyenne du chariot central. Compte-tenu de la masse du chariot, il est préférable de l'aligner lors de son installation par rapport à une direction fixe (laser ou lunette autocollimatrice) qui définira la direction de référence pour l'ensemble des composants du système (voir Chapitre 5).

3.1.4. Système d'injection de sortie

3.1.4.1. Miroir plan d'injection de sortie – Fast Scan

Miroir permettant de moduler rapidement la longueur de la ligne à retard de façon à explorer le paquet de frange d'interférence produit par l'interféromètre.

Pour ce qui est de l'alignement et de l'injection dans la fibre de sortie, ce miroir plan a la même fonction que le miroir plan d'injection d'entrée. Il faut donc motoriser les réglages angulaires θX et θY . La technique utilisée pour l'interfaçage des moteurs pas-à-pas avec les vis de réglage des montures Newport-Microcontrôle peut être réutilisée pour motoriser les réglages existants. Il est impératif d'utiliser des moteurs pas-à-pas de même type que ceux déjà utilisés pour OHANA

3.1.4.2. Porte-fibres

Idem 3.1.2.1

3.1.4.3. Parabole d'injection

Idem 3.1.2.2

3.2. Table à Retard Simulé

3.2.1. Table optique retard simulé

Table optique supportant les optiques du TRS.

L'ensemble des éléments du TRS sont posés sur une table optique.

Cette table est à définir en fonction des éléments à y implanter et du support mécano-soudé.

3.2.2. Systèmes d'injection en entrée et en sortie

Idem 3.1.2. Il n'y a pas de différence pour cette table entre systèmes d'injection en entrée et en sortie.

3.2.3. Table de translation retard simulé

Table de translation chargée de produire un retard simulé dans le but de vérifier les capacités de suivi de retard de la ligne à retard dans une phase d'intégration et de vérifier son bon fonctionnement en général.

Produit commercial : table de translation Schneeberger de 20 centimètres de course.

Référence du chariot : chariot type NCB de course 200 mm.

Caractéristiques techniques sur www.schneeberger.fr

3.3. Chariot central

Ce chariot est surmonté de quatre dièdres : deux faisant partie du faisceau optique d'un bras de l'interféromètre, les deux autres appartenant à l'autre bras. Il est monté sur des rails, lui permettant de se déplacer entre les deux tables optiques afin de générer un retard différentiel entre les deux bras de l'interféromètre.

3.3.1. Rails

Ils permettent de déplacer le chariot central entre les tables TRC et TRS.

Il n'y a pas de forte contrainte sur la qualité des rails. La précision est reportée sur le correcteur d'attitude.

3.3.2. Correcteur d'attitude

Plutôt que d'imposer de fortes contraintes sur le roulis et le placement transverse du chariot (seules sources de désalignement), on choisira de monter les quatre dièdres sur une monture de translation transverse X et de tangage θ (voir Figure 4).

Figure 4: Correction d'attitude du chariot à retard fixe.

3.3.3. Système d'entraînement

Motorisation du déplacement du chariot.

À définir.

3.3.4. Ruban de mesure de position

Système permettant de mesurer la position du chariot et donc la différence de longueur entre les deux bras de la LAR.

Solution commerciale. La précision de la mesure de la position du chariot central est de 100 μm soit donc une précision sur la différence de marche de 400 μm . Voir documentation jointe.

Nom du système : MeterDrive/Z301AAS

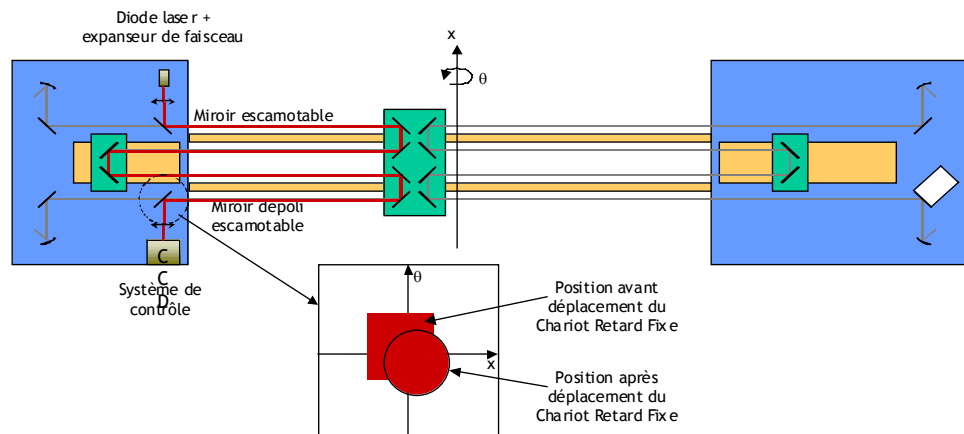


Figure 5 : système d'alignement rapide du Chariot Retard Fixe.

3.3.5. Système d'alignement

Système permettant l'alignement du CC.

Ce système doit contrôler le correcteur d'attitude (voir 3.3.2).

L'alignement du CC doit s'effectuer rapidement et sans perturber les faisceaux scientifiques. Le dispositif d'alignement est représenté sur la Figure 5. Le faisceau est matérialisé par un laser He-Ne dont le diamètre de mode est ramené à un diamètre comparable à celui du faisceau scientifique par un extenseur de faisceau. Le faisceau d'alignement est « envoyé » grâce à un miroir à 45° escamotable. Lorsque le CC se déplace induisant de légères erreurs en X et θ , la trace du faisceau dans une section se déplace verticalement et horizontalement proportionnellement à X et θ . Un deuxième miroir escamotable à 45° renvoie le faisceau en aval des dièdres sur une petite caméra video ou CCD permettant de mesurer les déplacements transverses du faisceau. Le faisceau peut-être matérialisé en utilisant un miroir dépoli à la place du miroir de renvoi (image elliptique) ou au moyen d'un écran diffusant. La mesure du déplacement se fait en deux temps. Les miroirs escamotables n'ont pas une grande précision de repositionnement. Avant le déplacement du CC, la position du centroïde du faisceau est mesurée et sert de référence à la position trouvée après le déplacement des dièdres.

Ce système sera plus précisément défini lors de l'intégration de la ligne à retard lorsque les défauts à corriger auront été évalués.

3.4. Dihèdres

Les dièdres seront constitués de deux miroirs plans à assembler mécaniquement.

3.4.1. Précision d'assemblage des miroirs

Une erreur de α sur l'angle entre les deux miroirs par rapport à 90° se traduit par une erreur sur le faisceau réfléchi de 2α . Dans le pire des cas, une même erreur sur les trois dièdres de chaque bras de l'interféromètre conduit donc à une déflexion du faisceau de 6α . Les déplacements des différents chariots mobiles induisent donc un déplacement latéral du

faisceau au maximum de $6\alpha L$ ou L est la course du chariot central soit 12 m. Le maximum acceptable pour ce déplacement latéral du faisceau est de 1 mm ce qui donne une valeur maximale $\alpha = 2,5$ secondes d'angle.

3.4.2. Attitude des dièdres

Un dièdre conserve la direction du faisceau après réflexion selon θY seulement (le dièdre est dans le plan XZ). Une rotation de θX du dièdre fait tourner le faisceau sortant de $2\theta X$. Un calcul semblable à celui du paragraphe précédent montre que le plan de chaque dièdre doit être confondu avec un plan de référence (l'horizontale par exemple) avec à une précision de 2,5 secondes d'angle. Cette attitude peut-être soit garantie mécaniquement soit obtenue par réglage.

4. Caractéristiques des optiques et des faisceaux

Les faisceaux sont gaussiens et leur diamètre est donné par la focale des paraboles : 50,8 mm
 Diamètre des faisceaux à 99,9% d'énergie après 50 m de propagation : 37 mm
 Écartement minimum des faisceaux centre-à-centre : 37 mm

Les caractéristiques des miroirs plans et des paraboles sont disponibles auprès de Jean-Michel Reess.

5. Montage de la ligne à retard

On suppose que tous les dièdres ont été alignés individuellement. L'ordre de montage suivant est proposé pour obtenir un alignement optimum :

- Table à retard continu :
 - Chariot Aerotech : le dièdre a été aligné de sorte que l'angle entre l'axe du dièdre et la direction de translation du chariot est inférieur à 1° .
 - Système de sortie de la fibre : le faisceau doit être parallèle à la direction de translation du chariot Aerotech qui définit la référence et taper au centre supposé du premier miroir du premier dièdre du chariot central ; la précision latérale de positionnement selon X pour l'ensemble parabole+miroir plan est de 1mm.
- Table à retard simulé :
 - Système de sortie de la fibre : le miroir plan est centré par rapport au faisceau provenant du système de sortie de fibre de la table à retard continu. L'ensemble FI+parabole est alors positionné en centrant la parabole par rapport au faisceau. L'alignement optimum du miroir plan est obtenu en maximisant l'injection dans la fibre. Les deux systèmes de sortie de fibre produisent ainsi deux faisceaux identiques.
- Chariot central :
 - Le chariot central est positionné et orienté de sorte que le faisceau est renvoyé dans la direction exactement inverse à sa direction d'arrivée et selon l'écartement nominal de faisceau. Cet écartement nominal doit être respecté à 1 mm près.
- Table à retard continu :
 - Le Fast Scan doit maintenant être installé de sorte que le faisceau vienne taper au centre du miroir. L'ensemble parabole+FI est positionné de sorte que le faisceau soit centré par rapport à la parabole. L'orientation précise du Fast Scan est obtenue en maximisant le flux injecté dans la fibre.

- Table à retard simulé :
 - Chariot Schneeberger : il est positionné et orienté de sorte que l'écartement des faisceaux soit respecté à 1 mm près et que le déplacement du chariot soit approximativement parallèle à la direction du faisceau (la précision requise n'est pas très importante car ce chariot est immobile pendant les observations et se déplace sur de faibles courses en mode simulation).
 - Système d'entrée dans la fibre : même procédure que pour l'ensemble Fast Scan + parabole + FI de la table à retard continu.

6. Spécifications moteurs

On distinguera deux types de motorisations : une motorisation de positionnement concernant les trois retards (Suivi, Fixe et Simulé) et une motorisation d'alignement d'optique.

6.1. Motorisation de positionnement de ligne à retard

6.1.1. Chariot Aerotech (Z)

Le table de translation Aerotech possède son propre système de motorisation et de mesure de position.

6.1.2. Chariot Schneeberger (Z)

La table de translation Schneeberger possède déjà son propre système de motorisation et de mesure de position.

6.1.3. Chariot Central (Z)

Un système de motorisation doit être développé pour la ligne à retard fixe. Il doit être composé d'un système d'entraînement et d'un système de mesure de position.

En ce qui concerne l'entraînement, le choix est libre entre un système à base de courroie et un système à base de crémaillère.

6.2. Motorisation d'alignement

6.2.1. Positionneurs de fibres (XYZ)

Les positionneurs de fibres étudiés à l'Observatoire de Paris sont déjà équipés de moteurs pas-à-pas. Ils réalisent un positionnement XYZ des têtes de fibres.

6.2.2. Miroirs injecteurs ($\theta_x \theta_y$)

Les miroirs injecteurs, qui réalisent l'injection fine, doivent être motorisés selon les axes θ_x et θ_y avec la même précision que les miroirs M2 des modules d'injection.

6.2.3. Dihèdres du chariot central

Le plateau supportant les 4 dièdres du chariot central doit être corrigé de deux défauts : le tangage (θ_x) et le déplacement transverse (X). La précision sur l'alignement transverse est de 1 mm. Un déplacement de X du plateau dièdres décale la pupille de $4X$. La précision de déplacement requise pour X est donc au minimum de 250 μm . De même une erreur angulaire du chariot de θ_x se traduit par une erreur angulaire sur le faisceau de $4\theta_x$. Après correction, on doit rester très proche des conditions d'injection optimale dans la fibre c'est-à-dire que l'image au foyer des paraboles ne doit pas se déplacer de plus de 0,5 μm . Avec une focale de 50,8 mm cela se traduit par une précision d'ajustement de θ_x de 2''. Cette précision se traduit

par une précision de mesure de la trace du faisceau dans le plan de l'écran d'environ $8\theta \square L$ (un calcul exact du déplacement de l'image mérite d'être conduit) où L est la distance entre le dièdre fixe et les dièdres du plateau. L étant au maximum égal à 12 m, la précision de mesure du déplacement doit être de : 1 mm soit $1/37^{\text{ème}}$ de la tache environ.

7. Spécifications des mouvements d'alignement

7.1. Dihèdres

Amplitude						Précision					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	θX (°)	θY (°)	θZ (°)	X (μm)	Y (μm)	Z (μm)	θX (")	θY (")	θZ (")
			5						2,5		
			N						N		
			B						B		

7.2. Plateau porte-dihèdres du chariot central

Amplitude						Précision					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	θX (°)	θY (°)	θZ (°)	X (μm)	Y (μm)	Z (μm)	θX (")	θY (")	θZ (")
5			5			100			1		
M			M			M			M		
R			R			R			R		

7.3. Miroirs plans

Amplitude						Précision					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	θX (°)	θY (°)	θZ (°)	X (μm)	Y (μm)	Z (μm)	θX (")	θY (")	θZ (")
			5	5					1	1	
			M	M					M	M	
			R	R					R	R	

7.4. Paraboles (idem parabole P2 des modules d'injection)

Amplitude						Précision					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	θX (°)	θY (°)	θZ (°)	X (μm)	Y (μm)	Z (μm)	θX (")	θY (")	θZ (")
			5	5					30	30	
			N	N					N	N	
			B	B					B	B	

7.5. Porte-fibres

Ces systèmes sont identiques à ceux développés pour les modules d'injection et le recombineur aux interfaces fibres près.

Amplitude						Précision					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	θX ($^{\circ}$)	θY ($^{\circ}$)	θZ ($^{\circ}$)	X (μm)	Y (μm)	Z (μm)	θX ($''$)	θY ($''$)	θZ ($''$)
Idem FI	Idem FI	Idem FI				1	1	10			
M	M	M				M	M	M			
R	R	R				R	R	R			

8. Electronique de contrôle

8.1. Architecture

Le contrôleur UNIDEX 500 prévu pour la table de translation Aerotech est un contrôleur 4 axes : trois axes restent disponibles.

Un deuxième axe doit pouvoir être utilisé pour contrôler le moteur et le capteur de position de la ligne à retard fixe.

Deux autres axes restent disponibles pour effectuer une correction d'attitude du dièdre placé sur la ligne à retard.

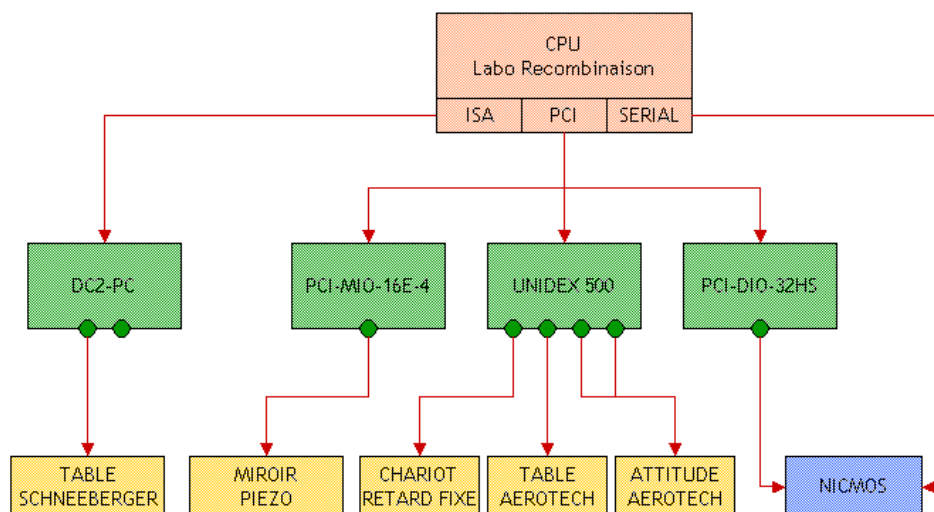


Figure 6: Electronique de contrôle de la ligne à retard. Les tables de translation Schneeberger et Aerotech ainsi que le miroir piézoélectrique ont une électronique de commande dédiée. Le chariot à retard fixe utilise un des ports libres de l'électronique de la table Aerotech. Si besoin, les deux derniers ports seront attribués au contrôle de l'attitude de la table Aerotech.

9. Étude

- Fixation des deux tables optiques dans la salle coudé du CFHT
- Chariot central et son système de rails, d'entraînement et de mesure de position (une solution par ruban est proposée)
- Monture de contrôle d'attitude (translation transverse, roulis) des 4 dièdres du chariot à retard fixe, et motorisation
- Monture et attitude individuelle des dièdres
- Motorisation des réglages θX et θY du Fast Scan
- Placement à hauteur de faisceau optique des différents composants

10. Documents de référence

10.1. Aerotech – Platine de positionnement motorisée

Devis OP0102052AEROREV4.doc
 Bon de commande L 00126/E366
 Descriptif de la platine ALS5000.pdf
 Manuel d'utilisation du contrôleur UNIDEX500.pdf
 Exemples de tests platine

10.2. Schneeberger – Platine de positionnement motorisée

Plans de la platine (Format DWG)
 Site Web Schneeberger : www.schneeberger.fr

10.3. Observatoire de Paris – Positionneur de fibres

Plans du positionneur de fibres

10.4. Observatoire de Paris – Fast Scan

Plans : Alain Piacentino

10.5. Système de mesure position chariot central MeterDrive

Descriptif du système disponible : Julien Woillez, Guy Perrin

11. Contacts et interfaces

- Opto-mécanique : Thierry Goelzenlichter
- Réalisation mécanique : Claude Collin
- Optique : Jean-Michel Reess
- Electronique et motorisation : Denis Ziegler
- Cablage : Roger Hulin
- Structure et rails : Martial Lopez
- Specifications : Julien Woillez, Guy Perrin
- Coordination : Jean-Guerin

