



OHANA-SPE-ALAR

**OHANA : Spécifications Système
d'Alignement Automatique de la Ligne à
Retard**

Version 1.0



1. Description du système

1.1. Objectif

La ligne à retard 'OHANA est composée de plusieurs éléments :

- Chariot Central : chariot supportant 4 dièdres et fixe pendant une observation ;
- Table à Retard Continu : table comprenant la chariot Aerotech permettant le suivi des franges
- Table à Retard Simulé : table comprenant le chariot Schneeberger permettant de simuler un déplacement continu des franges.

Les fonctions de la ligne à retard sont décrites dans le document OHANA-SPE-LAR et ses éléments principaux sont rappelés dans la Figure 1.

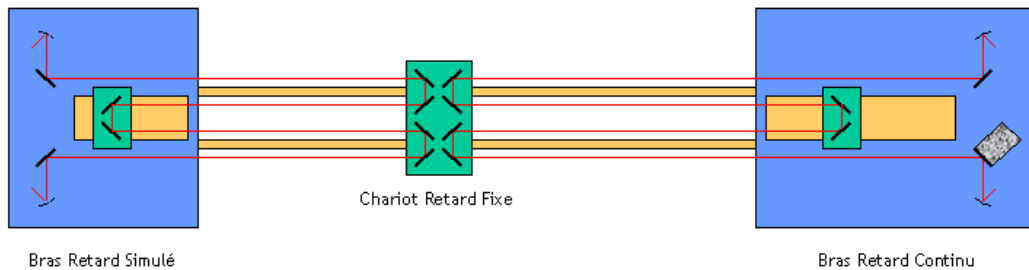


Figure 1 : Les trois ensembles de la LAR : la table à retard simulé (TRS), le chariot central (CC) et la table à retard continu (TRC).

La ligne à retard a été conçue comme un système mécanique imparfait en ce sens qu'afin de garantir un coût raisonnable des contraintes ont été relâchées sur les précisions de positionnement et sur les optiques mais dans une enveloppe assurant un alignement de départ correct à perfectionner par des systèmes de contrôle.

Il est en particulier nécessaire après déplacement du Chariot Central de procéder à une correction d'attitude ce qui est l'objet du système d'alignement décrit dans ce document. La ligne à retard devra être capable de s'aligner très rapidement (en moins de 5 minutes) après déplacement du Chariot Central ou après changement de fibre. Cela implique 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. Description du Chariot Central

Le concept mécanique du Chariot Central est donné en Figure 2

Le Chariot Central est surmonté de 4 dièdres, 2 par faisceau. Les dièdres sont constitués chacun de deux miroirs plans dont l'angle de 90° est un réglage mécanique « d'usine ». Pour un faisceau incident dont le vecteur directeur est de composante non nulle selon l'arête d'un dièdre, le faisceau est renvoyé selon une direction dont le vecteur directeur a une composante

selon l'arête symétrisée par rapport à son plan perpendiculaire et dont les deux composantes dans ce plan perpendiculaire sont tout simplement opposées aux composantes du vecteur incident. En d'autres termes, le faisceau n'est réfléchi exactement dans sa direction d'arrivée que s'il est contenu dans le plan perpendiculaire du dièdre. Ce n'est donc pas un rétro-réfecteur parfait. En pratique, on est donc sensible à toute inclinaison du faisceau par rapport à l'arête du dièdre.

Après un déplacement du Chariot Central il faut donc s'assurer que l'arête est bien perpendiculaire aux faisceaux incidents pour garantir un bon couplage dans les fibres de sortie. Une façon d'éviter cet écueil est d'utiliser des coins de cube plutôt que des dièdres. Dans ce cas-là, 30% de surfaces optiques sont rajoutées et la ligne à retard ne peut être conçue en 2D mais en 3D la rendant complexe.

Afin de remédier à ce problème, et de ne pas imposer de contraintes trop importantes à la mécanique garantissant un alignement constant de l'arête quelle que soit la position du chariot, une correction est prévue : la partie supportant les dièdres peut pivoter autour de l'axe perpendiculaire aux rails (axe X et angle θX). Comme on le verra plus loin, une translation le l'on de X est également prévue pour rattrapper un décalage latéral de pupille dû à un défaut de non-linéarité des rails (« S » aplati).

Les rails et l'alignement mécanique de la ligne à retard sont spécifiés pour que l'écart à la rectitude des rails soit au maximum de 1 mm. Dans la suite nous le supposerons de 2 mm au maximum pour conserver une marge. Les dimensions du Chariot Central sont de 440 mm dans le sens de la largeur et 360 mm dans le sens de la longueur. Les calculs d'angles seront effectués par la suite en prenant une dimension caractéristique de 400 mm.

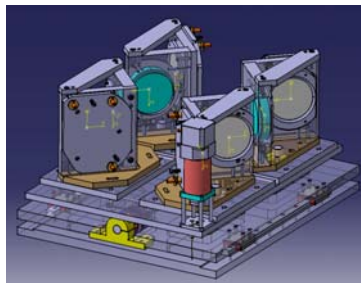


Figure 2 : concept opto-mécanique du Chariot Central

2. Conventions et définitions

2.1. 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 3).

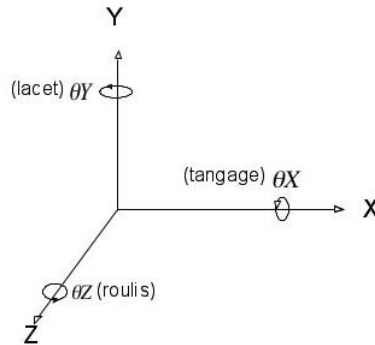


Figure 3: définition des axes et angles

2.2. Angles

Les inclinaisons de faisceaux sur l'axe optique sont définies 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 chariots en translation sont également données en Figure 3 (roulis-*roll*, tangage-*pitch*, lacet-*yaw*). Dans la suite, les indices « cc » et « s » indiquent le contexte Chariot Central ou Injection de Sortie (X_s et X_{cc} , par exemple)

3. Caractéristiques des optiques et des faisceaux

Les faisceaux scientifiques (par rapport au(x) faisceau(x) d'alignement) 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

4. Dimensionnement du système d'alignement du Chariot Central

4.1. Correcteur d'attitude

Plutôt que d'imposer de fortes contraintes sur le tangage et le placement transverse du chariot (seules sources de désalignement), on a choisi de monter les quatre dièdres sur une monture de translation transverse X_{cc} et de tangage θ_{cc} (voir Figure 4).

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

4.2. Impact des imprécisions mécaniques sur le faisceau

Les rails sont spécifiés pour être rectilignes à 1 mm près. Nous prenons une marge et considérons une rectitude à 2 mm près.

4.2.1. Défaut latéral selon X

Un dièdre décalé transversalement de δX_{cc} induit un décalage sur le faisceau de sortie de $2\delta X_{cc}$. Ainsi si le Chariot Central est décalé de δX_{cc} , le faisceau est décalé de $2\delta X_{cc}$ après le premier dièdre. Le dièdre des tables Aerotech ou Schneeberger reporte ce décalage sur le troisième dièdre lui-même décalé de δX_{cc} par rapport à l'axe nominal. Les décalage ne se compensant pas, le décalage total en entrée du dernier dièdre est donc de $2\delta X_{cc} + \delta X_{cc}$ par rapport au faisceau nominal soit un décalage final en sortie de $\delta X_s = 6\delta X_{cc}$.

4.2.2. Défaut de tangage θX

Un tangage de $\delta\theta X_{cc}$ d'un dièdre induit sur le faisceau sortant par rapport à un faisceau nominal entrant une déviation d'un angle $2\delta\theta X_{cc}$ par rapport à la verticale et de même signe. Avec un tangage du Chariot Central de $\delta\theta X_{cc}$, le faisceau arrive sur le dièdre de la table Aerotech ou Schneeberger en faisant un angle $2\delta\theta X_{cc}$ par rapport à la verticale. Il est réfléchi par ce dièdre en conservant le même angle. Le deuxième dièdre du Chariot Central ajoute une déviation supplémentaire de $2\delta\theta X_{cc}$ soit une déviation totale de $\delta\theta X_s = 4\delta\theta X_{cc}$.

4.3. Amplitude des défauts d'alignement et précision de correction

Le tangage $\delta\theta X_{cc}$ peut se calculer en mesurant le déplacement d'une source à l'infini en amont du Chariot Central dans le plan focal d'un capteur situé en aval. Le déplacement latéral X_{cc} peut se calculer en mesurant le déplacement d'une section de faisceau. La mesure des deux effets peut-être faite simultanément avec un seul système, celui décrit en Figure 5, ou par deux systèmes, l'un travaillant à l'infini et l'autre dans une section du faisceau. Nous allons préciser les défauts à corriger pour faire un choix de solution.

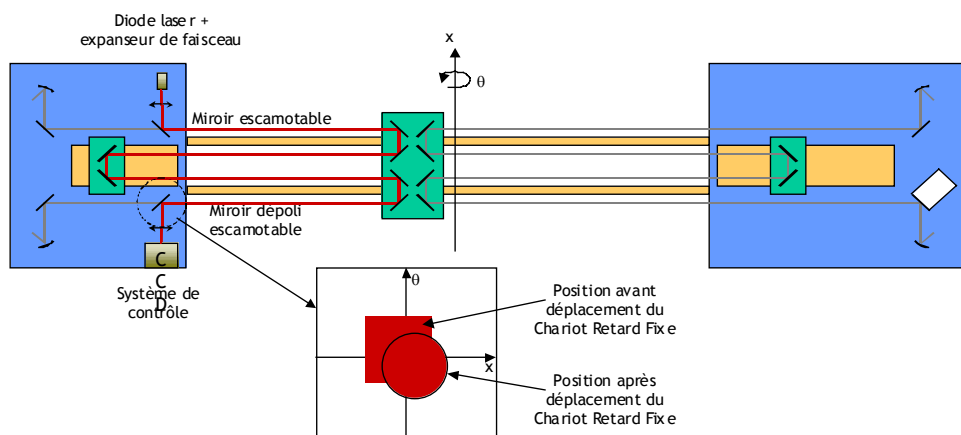


Figure 5 : système d'alignement rapide du Chariot Central par mesure dans une section du faisceau.

4.4. Déplacement latéral

Il est donné par l'écart à la rectitude des rails soit $\Delta X_{cc} = 2 \text{ mm}$ au maximum entraînant un décalage de pupille de 6 mm au maximum. La précision de correction requise est de $\delta X_s = 1 \text{ mm}$ au niveau de la pupille soit une précision au niveau du chariot de $\delta X_{cc} = 160 \text{ }\mu\text{m}$.

4.5. Tangage

Il est donné par par l'écart à la rectitude des rails rapporté à la dimension du chariot soit : 2 mm / 400 mm ce qui donne une amplitude de tangage $\Delta\theta_{\square} = 5 \text{ mrad}$. Cela se traduit en sortie de ligne à retard par une inclinaison de faisceau de $\Delta\theta_s = 20 \text{ mrad}$. La tolérance est donnée par la précision de centrage du faisceau par rapport à la fibre au foyer de la parabole d'injection. Une injection parfaite est obtenue lorsque la précision de centrage est de $1/20^{\text{ème}}$ de cœur de fibre soit $0,25 \mu\text{m}$ qui se traduit pour une focale de 50,8 mm par une précision angulaire de $\delta\theta_s = 5 \mu\text{rad}$ (1''). En tenant compte du facteur x4 d'amplification de la ligne à retard, cela donne une précision sur la correction de tangage de $\delta\theta_{\square} = 1,25 \mu\text{rad}$.

4.6. Mesure du tangage

4.6.1. Mesure par la technique du déplacement angulaire

Une source placée à l'infini génère un faisceau afocal qui est réfléchi par les dièdres de la ligne à retard et qui est imagée dans un plan focal. À un pixel dans le plan focal doit correspondre la précision sur le tangage recherchée $\delta\theta_{\square}$. Pour un capteur CCD classique 1000x1000 le champ disponible est alors de 1,25 mrad soit 8 fois moins que le champ total nécessaire de $2\Delta\theta_{\square}$.

4.6.2. Mesure par la technique du déplacement de faisceau

Le faisceau collimaté produit par la source à l'infini est intercepté par un écran diffusant pour matérialiser le faisceau. Le tangage du Chariot Central induit alors un déplacement vertical de la trace du faisceau.

Si L est la distance entre les dièdres du Chariot Central et le point d'injection du faisceau de correction et l la distance entre le dièdre du chariot Aerotech ou Schneeberger et ce même point alors le décalage total du faisceau au niveau du point de sortie du faisceau de test vaut : $4\theta(2L+l)$. Le décalage est de $2\theta(L+l)$ sur le deuxième dièdre, puis de $4\theta(L+l)$ sur le troisième et enfin $4\theta(2L+l)$ au point de mesure.

Connaissant la valeur maximale du tangage, $\Delta\theta_{\square}$, on déduit l'écart maximum Δy de la trace du faisceau qui vaut pour $l=0$ et L entre 1 et 12 m entre 40 et 480 mm. Quant à la précision de correction δy sa valeur dépend également de L et l et vaut entre 20 et 240 μm . On voit donc que cette méthode présente trois inconvénients. Premièrement, la mesure de la correction dépend de la position des chariots mobiles de la ligne à retard. Deuxièmement, la précision de mesure dépend également de la position des chariots (effet de bras de levier). Enfin, pour les bras de levier les plus courts, il faut pouvoir mesurer le barycentre de la tache avec une précision de quelques dizaines de microns (voire moins) ce qui suppose une répétabilité de la forme de la tache excellente et donc des perturbations négligeables par la diffraction, les défauts du détecteur (variations de champ plat et de carte de courant d'obscurité) ou d'autres phénomènes, et une grande robustesse au bruit.

4.7. Choix du système d'alignement

En raison du bras de levier important de la ligne à retard, il est nécessaire d'avoir une pré-compensation des défauts d'attitude du chariot sans quoi le vignettage probable du faisceau empêchera de faire la mesure. Le défaut le moins contraignant est le décalage X . Si la correction *a priori* lors du positionnement du Chariot Central permet d'atteindre une précision de $\delta X_{cc} = 160 \mu\text{m}$ alors il n'est pas nécessaire de prévoir une mesure et une correction supplémentaire. Il paraît légitime de penser que cette précision peut être atteinte dans la mesure où les défauts des rails sont statiques et où il s'agit essentiellement de répétabilité.

Cela simplifie considérablement le problème puisqu'il suffit de corriger le tangage qui lui est bien plus contraignant et nécessite une précision importante pour optimiser l'injection dans la fibre en bout de chaîne.

La méthode la plus appropriée est de ce fait la méthode du déplacement angulaire. La correction *a priori* permet d'être près de la solution. La dynamique angulaire $\Delta\theta_{\square}/\delta\theta_{\square}$ que permettent les capteurs étant limitée, on peut donc optimiser le système en faveur de la précision à atteindre plutôt que du champ à explorer.

5. Spécifications mécaniques

5.1. Moteurs de correction

Les moteurs pas-à-pas utilisés pour les corrections font originellement 200 pas par tour au pas de 500 μm pour la vis entraînée. Ils sont munis d'un réducteur x16 et les pas sont interpolés par 8 micro-pas. Au total, un pas logiciel correspond donc à un déplacement de vis de 0,3 μm . Cette résolution convient largement pour la correction du décalage latéral X_c . Le bras de levier de la correction du tangage θ_c par rapport à l'axe de rotation du plateau est d'environ 200 mm soit une correspondance pas logiciel – pas angulaire de 0,1 μrad au niveau du Chariot Central et de 0,4 μrad en sortie de ligne à retard offrant ainsi une résolution suffisante.

5.2. Capteur

La précision que doit atteindre le capteur sur la mesure du tangage est de 5 μrad . Le capteur peut-être une matrice CCD au foyer d'un objectif dont la focale est définie de telle sorte que le pixel corresponde à la précision recherchée. Pour un pixel de 6 μm la focale est donc de $px/\delta\theta_c = 6\mu\text{m}/5\mu\text{rad}$ soit $f = 1,2 \text{ m}$. Cette grande longueur va certainement poser problème et des solutions sont à trouver. Pour un détecteur 1000x1000 le champ est alors de 5 mrad x 5 mrad, soit 1/16^{ème} du champ nécessaire avant pré-correction ce qui devrait être suffisant.

5.3. Faisceau d'alignement

Le faisceau d'alignement peut-être généré par une LED du type de celles déjà utilisées dans 'OHANA. Cette LED peut éclairer une fibre monomode placée au foyer d'un collimateur. La taille du faisceau (et donc la focale du collimateur) sera choisie en fonction de l'objectif du capteur. Il n'y a pas de spécification particulière de sa taille.

6. Documents de référence

6.1. Ligne à retard 'OHANA

Document OHANA-SPE-LAR, 'OHANA Spécifications Ligne à Retard, v1.0

6.2. Observatoire de Paris – Positionneur de fibres

Plans du positionneur de fibres

7. 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 : Guy Perrin
- Coordination : Jean-Guerin