

Statut technique du spectrographe LHIRES2

ARAS

<http://www.astrosurf.com/aras>

1 Introduction

Ce document de travail fait le point sur les évolutions souhaitables du spectrographe LHIRES2, mi-novembre 2004. Ces évolutions semblent nécessaires pour aboutir à un modèle de série pleinement satisfaisant.

Les remarques et conclusions sont le fruit de 6 mois intensifs d'exploitation du premier prototype de LHIRES2 (schéma mécanique de André Rondi et réalisation mécanique Mecastronics).

On ne souligne ici que les points à revoir. On ne s'attarde pas sur les très grandes qualités de LHIRES2, qui s'avère une formidable machine à observer, ouvrant réellement les portes de l'astrophysique aux amateurs ! Voir la page et suivantes <http://astrosurf.com/buil/lhires2/lhires2.htm>.

2 Formule optique

Les figures 1 et 2 rappellent le principe optique de LHIRES2 (type Littrow).

Il faut souligner une particularité de ce schéma : le petit miroir de renvoi est exactement à 45° et il replie le faisceau provenant de la fente symétriquement par rapport à l'axe optique du collimateur. Cette option a été choisie afin de simplifier les réglages optiques. Par une simple autocollimation à la sortie du doublet il est en effet facile de vérifier l'alignement et la focalisation par retour inverse de la lumière sur la fente d'entrée.

Un autre point à relever est le petit tirage optique laissé après le miroir à 45° afin de minimiser les aberrations optiques. Ce tirage a été choisi pour que l'on puisse focaliser une caméra SBIG (de justesse et sans roue à filtre). Il n'y a aucun problème sur ce point avec une Audine.

Cependant la formule optique du premier prototype a montré des faiblesses à l'usage.

Tout d'abord la taille réelle du miroir de renvoi à 45° a été mal prise en compte. Ce miroir est de taille trop importante et il produit un vignettage sévère dans la configuration nominalement prévue au départ. La perte en flux s'élève à plus d'un facteur 2 (voir la figure (3)). En positionnant le spectre sur le bord opposé du CCD par rapport au bord nominal (le plus près de l'axe optique du doublet) le vignettage devient faible, voir quasi nul, ce qui a permis en fin de compte d'exploiter LHIRES2. La contre-partie est qu'il est alors nécessaire

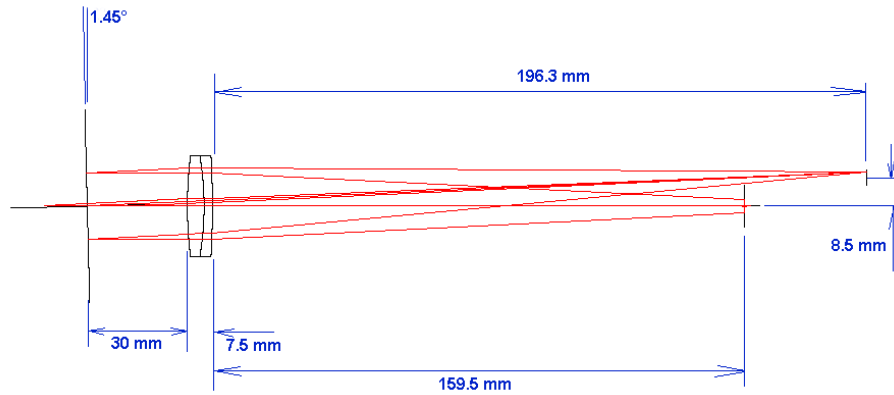


Fig. 1. Le schéma de la première version de LHIRES2 (vue face à l'axe optique du télescope).

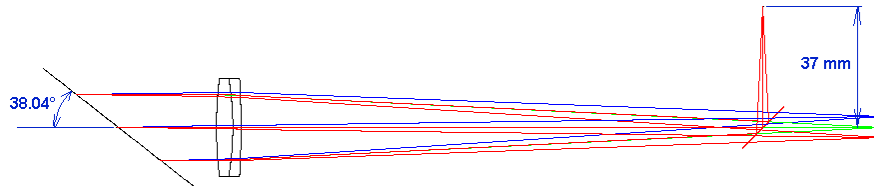


Fig. 2. Le schéma de la première version de LHIRES2 (vue perpendiculaire l'axe optique du télescope).

d'utiliser le doublet dans un mode plus off-axis que prévu, ce qui joue sur la qualité du spectre (léger empâtement des raies spectrales).

Ensuite, le tirage optique pour focaliser facilement sur une caméra autre que Audine est trop faible. A vrai dire, la mécanique actuelle rend assez difficile l'usage d'une SBIG genre ST7 par exemple (l'interface n'a pas été achevée et elle est délicate - filetage ?). A l'usage, il est apparu gênant de ne pas pouvoir utiliser un boîtier reflex numérique. Ces boîtiers sont certes mal adaptés à la spectrographie (matrice de Bayer et détecteur bien trop grand dans le cas de LHIRES2), mais il est impossible de les oublier aujourd'hui compte tenu de leur large diffusion. Les reflex ne peuvent aussi que progresser en performance, en principe. Le tirage minimal pour un reflex est de l'ordre de 45 mm. Impossible donc de focaliser avec le LHIRES2 actuel.

On propose une évolution du schéma optique, dans lequel les deux problèmes ci-dessus sont traités. Ce schéma est très proche de l'original, il ne remet rien

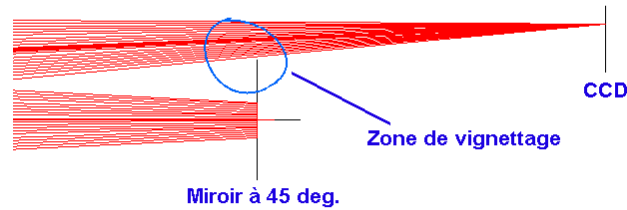


Fig. 3. Problème de vignettage dans LHIRES2 première version. Normalement il était prévu d'exploiter la partie inférieure du CCD (dans cette figure) - mais ceci a été impossible à cause de la taille du miroir de renvoi mal évaluée.

en cause (même éléments optiques) et il n'apporte, semble-t-il, que des améliorations. Ce schéma est coté sur les figures (4) et (5).

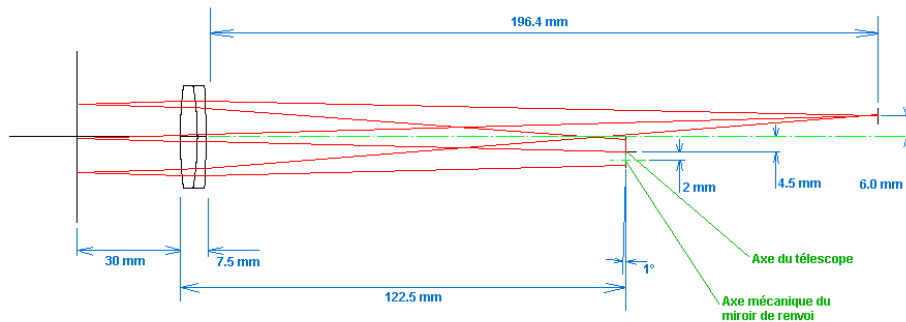


Fig. 4. Nouveau schéma optique de LHIRES2 (vue face à l'axe optique du télescope).

A présent, le spectre se forme au voisinage du centre du CCD sans vignettage (remarquer que l'axe mécanique du miroir elliptique de renvoi est décalé de 2 mm par rapport à l'axe optique du télescope, i.e. le contour du faisceau est décalé de 2 mm par rapport au contour mécanique du miroir suivant son petit axe).

Le miroir de renvoi est très légèrement pivoté (de 1°) pour envoyer le faisceau au centre du doublet. Une différence importante avec la première version du schéma est qu'en revanche le tilt de 1.4° du réseau n'est plus nécessaire. Ceci facilite fortement certaines options techniques visant à fixer le réseau (par ex-

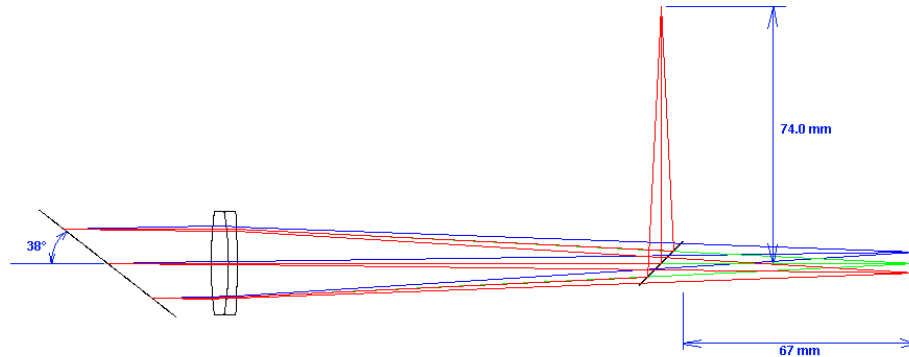


Fig. 5. Le nouveau schéma optique de LHIREs2 (vue perpendiculaire à l'axe optique du télescope).

emple, montage du réseau sur un *bouchon* fermant un tube rond ou carré style Audine).

Le tirage optique a été fortement augmenté : il atteint près de 67 mm en partant du bord du miroir elliptique. Pour mémoire, la distance entre le plat de la baïonnette et le plan du film (ou détecteur) dans le cas d'un reflex EOS Canon est de 44.0 mm. Cette même distance dans le cas d'un Nikon (D70 par exemple) est de 46.5 mm. A ces épaisseurs il faut ajouter celles des bagues T pour pouvoir attacher le boîtier au spectro via un filetage ($D=42$ mm au pas de 0.75 mm). La bague T pour un EOS est épaisse de 10.85 mm et celle du Nikon fait 8.35 mm. Au final, pour les deux boîtiers équipés des bagues T respectives, le tirage optique nécessaire est le même (il est normalisé !) : 54.85 mm. Le tirage optique offert dans la nouvelle combinaison optique (67 mm) permet donc d'implémenter un boîtier reflex à l'extrémité du spectrographe LHIREs2 (il reste 12 mm pour réaliser l'interface proprement dite).

La qualité image délivrée par la nouvelle combinaison est légèrement meilleure que celle de la première, et cela malgré l'accroissement du tirage (voir les FWHM dans la table 1 et les figures 6 et 7). Compte tenu de la largeur physique de la fente (28 microns) les aberrations optiques ont un impact faible sur la résolution spectrale, quelque soit le schéma optique.

En revanche, à cause de la rotation du miroir de renvoi les raies spectrales ont un tilt plus important dans la seconde version (6°) que dans la première (4°). Ce n'est pas trop problématique, cet effet se corrige bien avec une commande du type *SLANT* dans Iris. La figure 8 montre les raies du néon sur une hauteur de 120 pixels dans un spectre réel pour la première version et dans une simulation pour la seconde version.

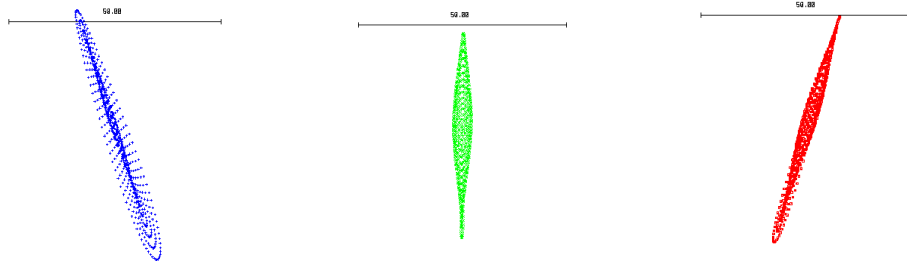


Fig. 6. Aspect d'une raie spectrale avec la première combinaison optique. De gauche à droite; pour les longueurs d'ondes de 6520 Å, 6563 Å et 6600 Å. La graduation en haut représente une longueur de 50 microns.

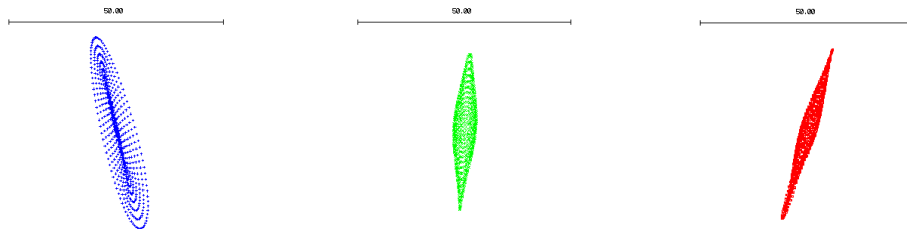


Fig. 7. Aspect d'une raie spectrale avec la seconde combinaison optique.



Fig. 8. A gauche, inclinaison des raies du neon au voisinage de $H\alpha$ dans la première version. A droite, inclinaison des raies dans la seconde version.

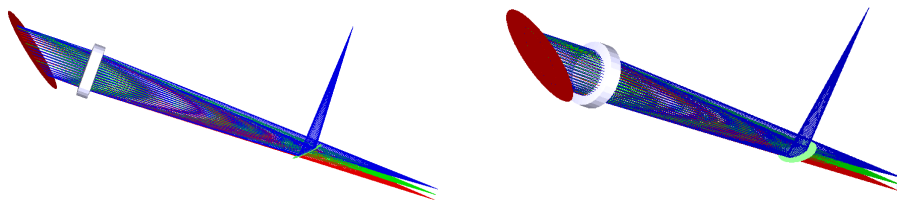


Fig. 9. Vues 3D du spectrographe deuxième version.

Table 1. Largeur instrumentale d'une raie (hors effet de la fente).

	6520 Å	6563 Å	6600 Å
Ancienne version	12 μm	3.5 μm	10 μm
Nouvelle version	7 μm	4 μm	8 μm

3 Réglage du réseau

Une vis micrométrique a été ajoutée (tant bien que mal) sur le prototype pour ajuster la longueur d'onde centrale. Cet équipement est absolument indispensable sur un LHIRES2 de série et ne grève pas significativement le coût.

L'inconvénient est que la course est faible : il est impossible avec une simple vis d'explorer le spectre d'un bord à l'autre. Le domaine d'incidence à couvrir sur le réseau va en effet de 37° pour $\lambda = 3800 \text{ \AA}$ à 57° pour $\lambda = 7000 \text{ \AA}$. Une solution pouvant être jugée acceptable est par exemple l'ajout d'une cale angulaire que l'on peut changer en démontant le spectro afin de couvrir le domaine par zones de 10° (jeu de 3 cales).

4 Rigidité et masse

La seule vraie mauvaise surprise du premier prototype a été un manque de rigidité mécanique qui a pour effet de produire un décalage spectral significatif en cours de pose. Pour fixer les idées, en fonction de l'orientation du télescope, le shift spectral au bout d'une heure de pose est compris entre 0 et 2 pixels. En longueur d'onde cela représente des erreurs de calibration pouvant atteindre jusqu'à 0.23 \AA , alors même qu'il s'avère que l'on peut potentiellement mesurer avec LHIRES2 des décalages spectraux de seulement 0.1 \AA (technique de corrélation avec le peigne de raies H₂O au voisinage de H α par exemple).

Au-delà des problèmes de calibration spectrale, le shift oblige parfois au moment du traitement du spectre à faire un recentrage en λ des poses individuelles. Cette technique est bien connue et fonctionne correctement, mais on espérait quelle ne soit pas nécessaire sur un spectro à fente tel que LHIRES2 : elle alourdit un peu le traitement (automatisation difficile), elle produit une convolution du spectre qui affecte légèrement la résolution, ...

Il faut travailler sur cet aspect sur le modèle de série en rigidifiant mieux le spectro tout en faisant très attention au problème de la masse. La poids de LHIRES2 est actuellement de 2.3 kg tout compris avec la caméra Audine, une vis micrométrique, le cube de guidage et une caméra de guidage Watek (pour mémoire le poids d'une caméra Audine est de 0.6 kg). Une masse totale de 2.3 kg est réellement le maximum acceptable, alors que la masse visée au départ était de 1.8 kg. Le problème de la masse est jugé très critique pour la diffusion de ce spectro auprès d'amateurs n'ayant pas de monture très massive. Un faible poids à aussi un côté rassurant pour l'utilisateur futur.

Donc, le challenge est à la fois de rigidifier le spectro et de l'alléger. On a envisagé pour cela des nervures de renfort (on casse peut alors le concept *banc optique* actuel - mais on ne gagne rien coté masse), l'usage d'un tube carré type Audine pour le corps du spectro (80 mm de coté) ou encore utiliser les techniques de la tôle pliée afin de constituer un caisson rigide. Un travail important demeure à faire.

5 Etanchéité à la lumière

Il est très délicat avec le prototype actuel d'éviter l'entrée de lumière parasite. Même en faisant un capot en tôle plié bien ajusté, il y a peu d'espoir d'atteindre le niveau requis (on rappelle que le spectro peut être utilisé de jour pour l'observation du Soleil !). Actuellement la solution a été l'emploi d'une grande quantité de ruban adhésif aluminium pour boucher les interstices, mais ce n'est pas une solution sérieuse sur un modèle de série.

C'est le principe du capot rapporté qui pose difficulté (manque de chicanes), mais aussi l'interface caméra / spectro qui laisse une zone béante actuellement que l'on arrive à boucher tant bien que mal. Pour ce dernier point une liaison rigide apparaît indispensable (au départ on a testé sur le proto la possibilité de tilter le plan du CCD par rapport au spectre afin d'optimiser la focalisation en fonction de la longueur d'onde, mais l'expérience montre que c'est inutile, les problèmes de chromatisme étant quasi absents dans LHIRES2). Une interface du type $\phi = 42$ mm apparaît souhaitable entre la caméra et le spectro. L'augmentation du tirage optique facilite ce type de solution.

6 Focalisation du spectre

L'opération de réglage consistant à focaliser un spectre net sur le CCD est difficile aujourd'hui. On l'ajuste en faisant glisser la monture du doublet dans un alésage. Ça ne marche pas bien du tout (jeu mécanique, manque de sensibilité, etc). Il faut remplacer le système actuel par un filetage sur le barillet et faire le réglage en tournant puis bloquant ce dernier.

Un réglage depuis l'extérieur du spectro serait formidable (i.e. sans avoir à l'ouvrir), mais c'est un luxe qui paraît difficilement atteignable. Un réglage peut aussi être imaginé à l'interface caméra / spectro.

7 Reflets

Le niveau de reflet parasite s'avère faible en interne dans le spectro. Un bafflage sommaire en tôle noire serait cependant une précaution intéressante.

Un niveau de reflet assez important pour certaines positions de l'image a été noté en revanche lors de l'observation du Soleil en provenance de la lame de guidage semi-transparente. Le lumière se réfléchit sur les champs de la lame. Ce n'est pas trop dramatique, mais un bafflage minimum dans le cube de guidage devrait arriver au bout de ce problème.

8 Fente

Le principe de fente à glissière, avec la possibilité de permuter un trou de grand diamètre, est un des grands succès de ce spectro. C'était pourtant une des parties vraiment critique et difficile de l'instrument. La performance en résolution en dépend directement et c'est de la mécanique fine.

La fente, faite avec des bords dressés en laiton, a une largeur fixe de 28 microns. C'est un bon compromis entre la résolution et le rendement. Parfois une fente plus étroite a fait envie, lors d'observation solaire en particulier, car c'est cette largeur qui limite la résolution spectrale. Par chance la fente actuelle est légèrement biseautée et en plus, une de ces extrémités présente un décrochage accidentel, ce qui permet de bénéficier d'une largeur de 24 microns environ sur 2 mm de longueur. Pas mal d'observations du Soleil ont été faites dans ces conditions.

Le principe d'une fente fixe en largeur est à conserver, car c'est une réduction de coût significative.

La fente actuelle a été réalisée par André Rondi. Il faut voir qu'il s'agit là d'un travail d'artiste. Il reste à démontrer que l'on peut le reproduire dans une série de spectrographes (fabrication industrielle ou semi-artisanale). C'est un point crucial à régler.

9 Système de pointage / guidage

Le dispositif actuel, à base d'une lame semi-réfléchissante en avant de la fente, est un autre bon succès du spectrographe. On perd ainsi 30% de lumière pour la science, mais ceci permet un pointage / guidage correct à partir d'une caméra vidéo miniature. La sensibilité de cette dernière (Watek 903K) permet de guider sur toutes les étoiles accessibles à LHIRE2. Une webcam est envisageable (mais non testé).

Le cube de guidage, malgré un maintien de la lame semi-réfléchissante à revoir, s'avère très stable mécaniquement : on est sûr que quand l'étoile est sur un pixel donné de la caméra de guidage la lumière entre aussi correctement dans le spectro, même après plusieurs mois d'utilisation. C'est une réussite.

La lame produit un assez fort astigmatisme, mais il a semblé peu gênant à l'usage.

La lame facilite aussi l'injection de la lumière d'une lampe spectrale dans le spectro. Cette astuce est un joli confort.

Malgré tout on perd 30% de lumière sur la voie spectro et le guidage se fait toujours en *aveugle* car on ne voit pas à la fois l'étoile et la fente avec la caméra de guidage. L'idée d'utiliser la méthode traditionnelle de la fente réfléchissante se pose donc malgré tout. Dans ce cas, la glissière n'est plus nécessaire.

Avec une fente réfléchissante, le problème est double : **(a)** fabriquer une fente en aluminium poli, **(b)** réaliser un dispositif optique plus complexe et cher pour envoyer l'image de la fente et de l'étoile sur la caméra de guidage. Rien n'est cependant insurmontable. André Rondi a réalisé avec succès de telles structures

polies - et la qualité de surfaçage n'a pas besoin d'être magnifique car on est dans le plan focal - il faut *simplement* limiter la diffusion. Coté mécanique il faut réaliser un cube avec un miroir de renvoi et une petite optique relais faite avec de petits doublets achromatiques. Ce n'est pas nécessairement bien plus cher que le système actuel à glissière. Le dispositif est fragile, mais il peut être entièrement protégé, non accessible (c'est du reste une difficulté avec la fente à glissière, que l'on peut facilement démonter et donc abîmer). Bref, une solution à étudier et à mettre en balance avec l'actuelle.

10 Le prix

Le prix de fabrication n'est pas établi aujourd'hui. C'est à faire et c'est important...