



TITRE : Conception optique

REF. : NEONARVAL-XXX-IRAP-NT-XXX

VERSION : 1.0

DATE : 14/06/2016

PAGE : 1/ 21

Neo-Narval
Conception optique

Préparé par :	Signature
Nom: Laurent Parès Yoan Micheau Institut: IRAP/OMP Date: 15/06/2016	
Accepté par :	Signature
Nom: Institut: Date:	
Approuvé par :	Signature
Nom: Institut: Date:	

Sommaire: Ce document décrit l'étude optique de NeoNARVAL

Keywords: NEONARVAL, optique



TITRE : Conception optique

REF. : NEONARVAL-XXX-IRAP-NT-XXX

VERSION : 1.0

DATE : 14/06/2016

PAGE : 2/ 21

MODIFICATIONS

Version	Révision	Date	Pages modifiées	Observations
1	0	15/06/2016		Création

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	4
1.1. PORTÉE DU DOCUMENT.....	4
1.1. DOCUMENTS APPLICABLES	4
1.2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCES	4
1.3. ACRONYMES.....	4
2. GÉNÉRALITÉS.....	5
2.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU BESOIN.....	5
2.2. L'EXISTANT	5
2.3. MODIFICATIONS APPORTÉES À L'EXISTANT AU NIVEAU DU SPECTROMÈTRE.....	6
2.4. ARCHITECTURE OPTIQUE DE NEO-NARVAL	7
3. SPECIFICATIONS DES SOUS-ENSEMBLES MODIFIÉS	9
3.1. FIBRES	9
3.1.1. présentation	9
3.1.2. Designs préliminaires.....	10
3.2. SLICER	14
3.3. RÉSEAU ECHELLE	15
3.4. CROSS DISPERSER	16
3.5. CORRECTEUR DE CHAMP.....	18
4. PERFORMANCES DE NEO-NARVAL	19
4.1. TRANSMISSION.....	19
4.2. COUVERTURE SPECTRALE.....	20
4.3. POUVOIR DE RÉOLUTION	21
Figure 1: Schéma optique du spectromètre NARVAL	6
Figure 2: Architecture optique de Neo-Narval.....	7
Figure 3: Schéma optique du spectromètre Neo-Narval	8
Figure 4: Configuration 1 des liens fibrés Neo-Narval	10
Figure 5: Configuration 2 des liens fibrés Neo-Narval.....	11
Figure 6: Design opto-mécanique du double scrambler	12
Figure 7 : Configuration 3 des liens fibrés Néo-Narval.....	13
Figure 8 : Estimation de la transmission spectrale pour les liens fibrés Néo-Narval	14
Figure 9: Fente en sortie du slicer.....	15
Figure 10: Cross-dispersion comparée entre Neo-Narval et Narval.....	16
Figure 11: Zoom sur la cross-dispersion minimale	17
Figure 12: Transmissions comparatives Neo-Narval, Narval	19
Figure 13: Disposition des ordres (FSR=free spectral range).....	20
Figure 14: Pouvoir de résolution Neo-Narval	21



TITRE : Conception optique

REF. : NEONARVAL-XXX-IRAP-NT-XXX

VERSION : 1.0

DATE : 14/06/2016

PAGE : 4/ 21

1. INTRODUCTION

1.1. PORTEE DU DOCUMENT

1.1. DOCUMENTS APPLICABLES

N°	Titre du document	Numéro	Version / Date

1.2. DOCUMENTS DE REFERENCES

N°	Titre du document	Numéro	Version / Date
RD1	Éléments mécaniques de Neo-Narval		
RD2	Stabilisation thermique de Neo-Narval		
RD3	Neo-Narval Calibration Unit		

1.3. ACRONYMES



TITRE : Conception optique

REF. : NEONARVAL-XXX-IRAP-NT-XXX

VERSION : 1.0

DATE : 14/06/2016

PAGE : 5/ 21

2. GÉNÉRALITÉS

2.1. DESCRIPTION GENERALE DU BESOIN

La conception optique s'appuie sur l'instrument existant NARVAL situé au Pic du Midi.

La demande s'inscrit dans l'amélioration de la stabilité de la vitesse radiale de NARVAL. Le but est d'atteindre une stabilisation de la précision de mesure de la vitesse radiale autour de quelques mètres par seconde. Le nouvel instrument s'appellera Neo-NARVAL.

La précision de mesure de vitesse radiale est limitée dans NARVAL par la variation de l'indice de réfraction de l'air due à la variation de pression et à la variation de la température.

Le détecteur doit être lui-aussi changé : nous passons d'un $2048 \times 4608 \times 13.5 \mu\text{m}$ à un $4096 \times 4096 \times 15 \mu\text{m}$.

Il a été aussi identifié que l'ajout d'un spectre de référence pour la vitesse radiale lors de la prise du spectre d'une étoile est indispensable pour garantir la mesure précise de la vitesse radiale.

2.2. L'EXISTANT

NARVAL est un spectro-polarimètre à dispersion croisée. Il est composé d'un module polarimètre fixé au foyer Cassegrain du télescope. Ce module polarimètre permet d'analyser la polarisation en provenance d'une étoile en la répartissant entre deux fibres optiques en polarisations orthogonales.

Les deux fibres sont acheminées ensemble à travers un lien fibré appelé bundle depuis la coupole jusqu'au niveau du spectromètre. Un dissecteur d'image (slicer) permet de découper chaque fibre en trois et de former ainsi une longue fente.

Le spectromètre est un montage en pupille blanche utilisant un réseau échelle R2 avec 79t/mm. La cross-dispersion utilise deux prismes en PBL25Y. Un objectif de chambre de focale 388mm permet d'obtenir un spectre simultané des deux polarisations.

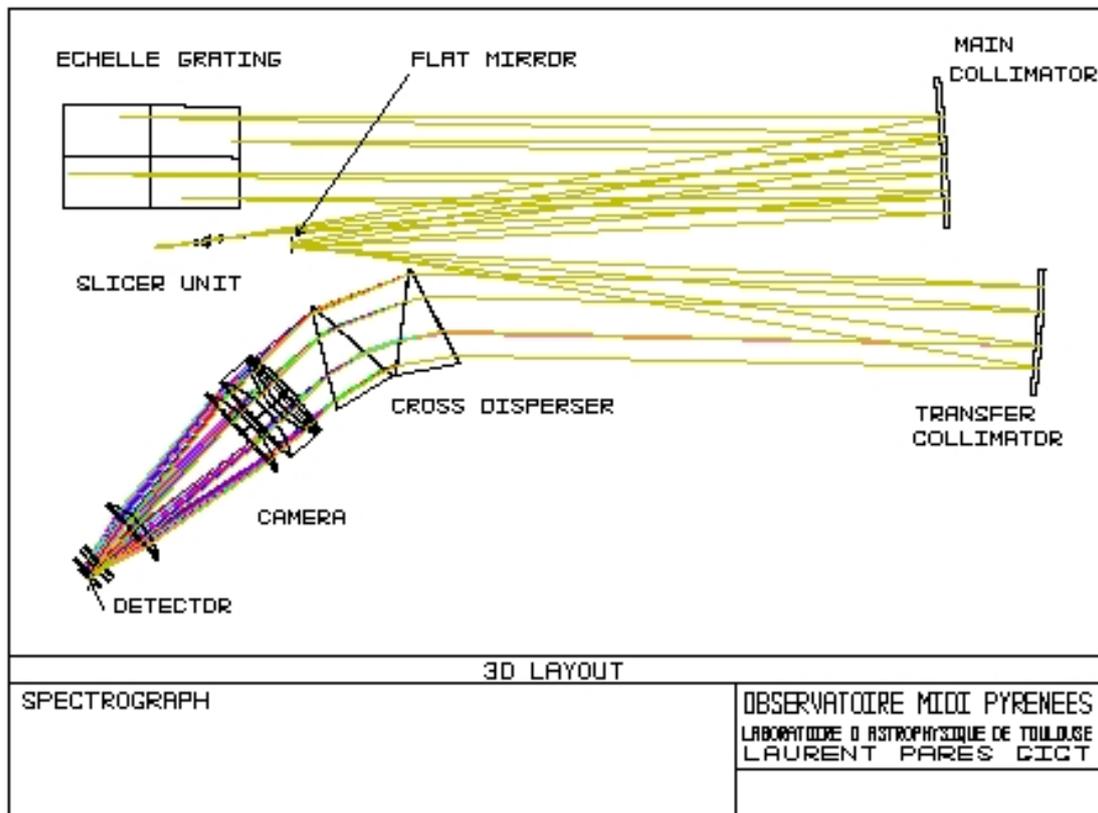


Figure 1: Schéma optique du spectromètre NARVAL

2.3. MODIFICATIONS APPORTEES A L'EXISTANT AU NIVEAU DU SPECTROMETRE

L'élément le plus sensible aux conditions atmosphériques (pression et température) est le réseau échelle. Il est particulièrement sensible à une variation de pression atmosphérique : il est nécessaire d'atteindre une variation maximale de $5\mu\text{bar}$ pour garantir 1m/s de vitesse radiale environ.

Le concept de Neo-NARVAL repose donc sur les modifications principales suivantes :

1. Stabilisation de la variation de la pression atmosphérique autour du réseau échelle au moyen d'une cuve isobarique. (RD1)
2. Stabilisation de la variation de température au niveau du spectro au moyen de différentes enceintes thermiques avec une régulation active de la température. (RD2)
3. Utilisation d'une source de référence pour la vitesse radiale, injectée de façon simultanée à l'observation astrophysique de l'objet.
4. Amélioration du brouillage de mode des fibres optiques

Toutes ces modifications principales vont entraîner d'autres modifications sur les sous-ensembles de l'instrument. Ces modifications sont détaillées dans les paragraphes suivants.

2.4. ARCHITECTURE OPTIQUE DE NEO-NARVAL

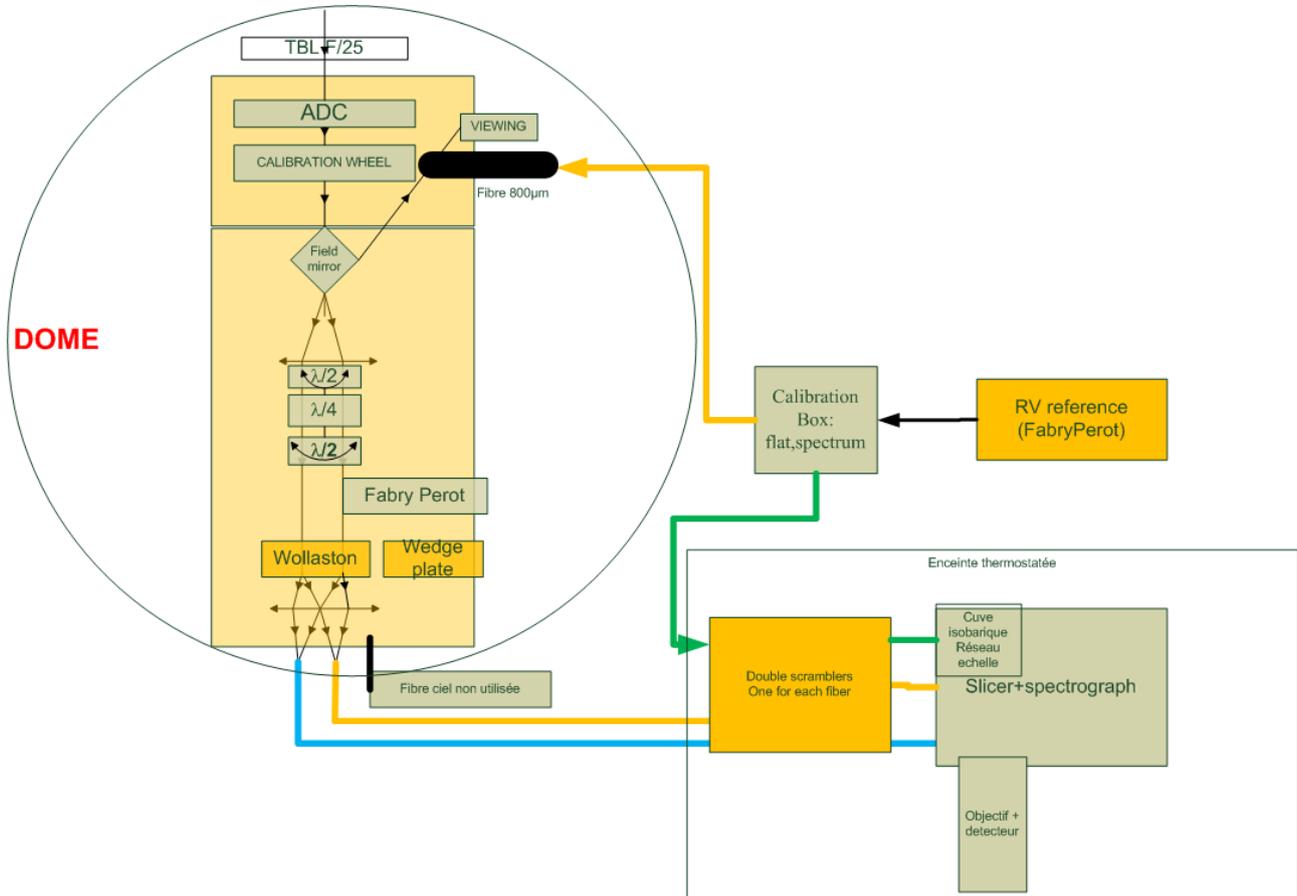


Figure 2: Architecture optique de Neo-Narval

Pour NARVAL, le prisme de Wollaston situé en fin de module polarimètre permet de projeter le flux dans deux fibres de diamètre de cœur $100\mu\text{m}$ et de diamètre de cladding $110\mu\text{m}$, espacées de $115\mu\text{m}$. Un wedge plate peut se substituer à ce prisme de Wollaston afin d'avoir un mode spectroscopique (tout le flux dans une seule fibre) avec le flux du ciel projeté dans une troisième fibre.

Pour Neo-Narval, l'utilisation d'une calibration simultanée entraîne l'abandon de la fibre ciel qui était utilisée en mode spectroscopique.

L'utilisation de nouvelles fibres (voir 3.1.) peut nécessiter la modification de ce prisme de Wollaston pour atteindre une séparation de $150\mu\text{m}$. Si l'on souhaite conserver le mode spectroscopique, une modification de la déviation du wedge plate sera aussi nécessaire. Il ne sera pas nécessaire de modifier l'entrée du slicer.

Une nouvelle boîte de calibration (calibration box) sera construite. Elle contiendra des lampes à cathode creuse pour faire une calibration spectrale, des lampes pour avoir un flat. Le module RV reference sera connecté à une boîte de calibration. Il sera vu par cette boîte comme une lampe. Il est prévu que la boîte de calibration soit ramenée au niveau de l'emplacement du RV reference (pas dans la coupole). Une fibre optique reliera cette boîte de calibration au module polarimètre via la fibre

existante de 800 μ m de cøur. Des tests doivent être menés pour voir si l'on peut se connecter directement au module polarimètre. Une seconde fibre reliera la boîte de calibration au niveau du double scrambler ou au niveau de l'interface fibres/slicer, si on n'installe pas le double scrambler.

Le spectromètre est modifié pour permettre d'accepter cette troisième fibre (RV reference), tout en conservant un fonctionnement du slicer en 3 slices par fibre. Un nouveau prisme (identique aux existants) permet d'obtenir une cross-dispersion suffisante pour accepter cette nouvelle fibre sur tout le domaine spectral.

Comme le champ, vu par l'objectif de chambre est plus important à cause de cette cross-dispersion supplémentaire, une lentille correcteur de champ est insérée entre la fin de l'objectif de chambre et le détecteur.

Le réseau échelle se trouvant dans une cuve isobarique, il est nécessaire d'introduire un hublot au niveau du réseau échelle.

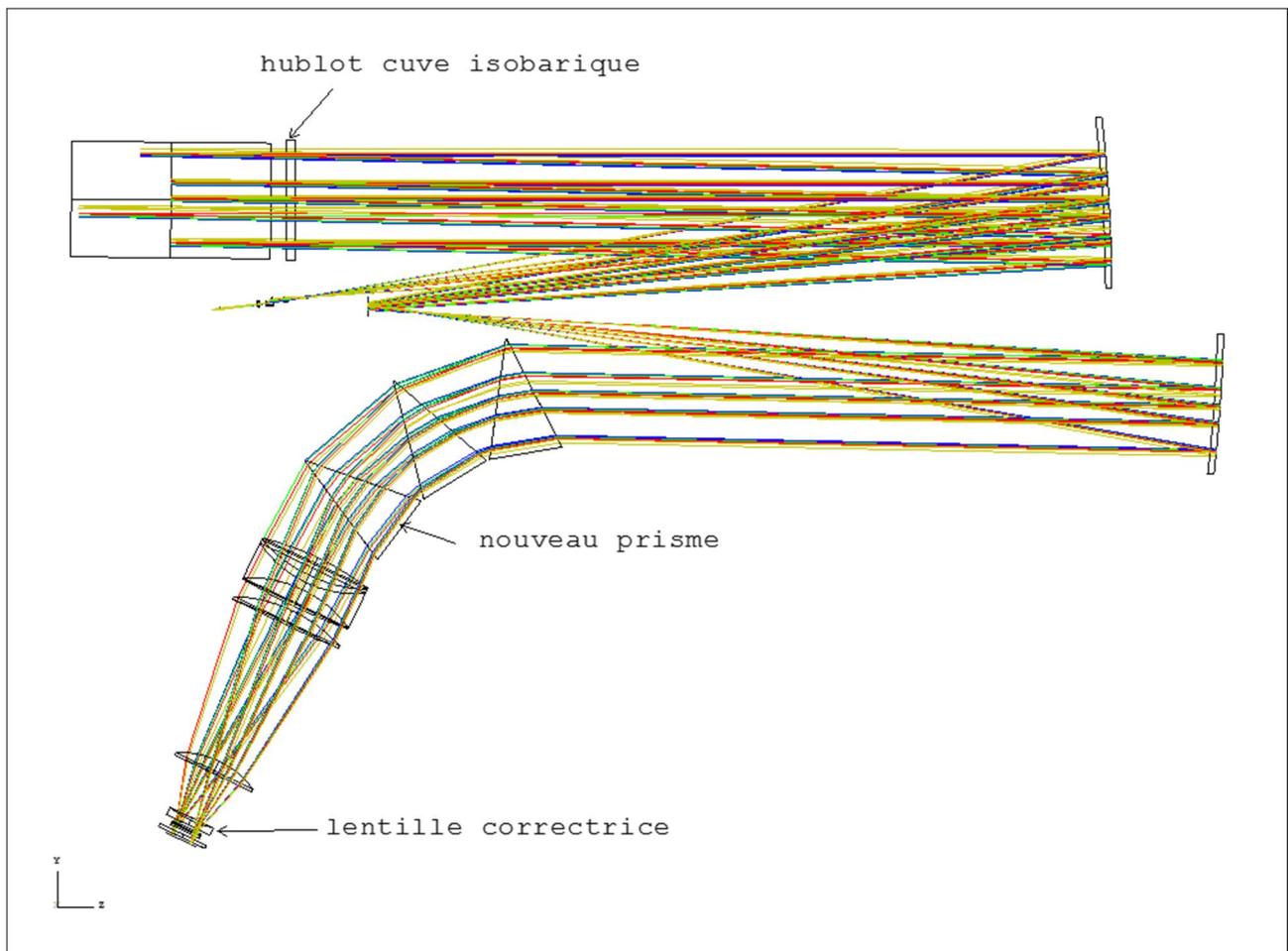


Figure 3: Schéma optique du spectromètre Neo-Narval

3. SPECIFICATIONS DES SOUS-ENSEMBLES MODIFIÉS

3.1. FIBRES

3.1.1. PRESENTATION

L'instrument Neo-Narval est composé de 2 unités principales :

- Unité Cassegrain (attachée à la bonnette du télescope)
- Unité spectrographe

Ces 2 unités sont interconnectées par 2 liens fibrés.

La fonction de ces liens fibrés est de transporter les 2 états de polarisation de l'étoile du module polarimètre jusqu'à l'entrée du slicer optique dans le spectrographe.

Ces liens fibrés ont aussi un rôle prépondérant dans la stabilité en vitesse radiale de l'instrument car ils ont pour mission de stabiliser l'injection en sortie du télescope.

En effet, une variation d'illumination en entrée de fibre (due principalement aux perturbations atmosphériques pour le champ proche et aux nuages qui passent devant l'étoile pour le champ lointain) se retrouvera en sortie de fibre et donc induira un décalage spectral sur le détecteur.

On différencie ainsi 2 variations d'illumination en entrée de fibre :

- Variation en champ proche (au niveau de la face d'entrée de la fibre)
- Variation en champ lointain (au niveau de la pupille du télescope)

L'utilisation de fibres à cœur octogonal permettra de minimiser l'impact de ces variations sur la précision en vitesse radiale de l'instrument grâce à leur capacité de brouillage.

3.1..2. DESIGNS PRELIMINAIRES

3 configurations de liens fibrés sont présentées dans ce document en considérant les performances en transmission, en brouillage du champ proche et en brouillage du champ lointain.

3.1..2.1. Configuration 1: Brouillage champ proche

Cette solution consiste à utiliser une fibre à cø ur octogonale de 30 mètres pour relier directement le polarimètre au spectrographe. La fonction de brouillage du champ proche est ainsi assurée tout en conservant la transmission des liens fibrés Narval. Il n'y a pas de modification à apporter dans le module polarimètre, ni à l'entrée du slicer.

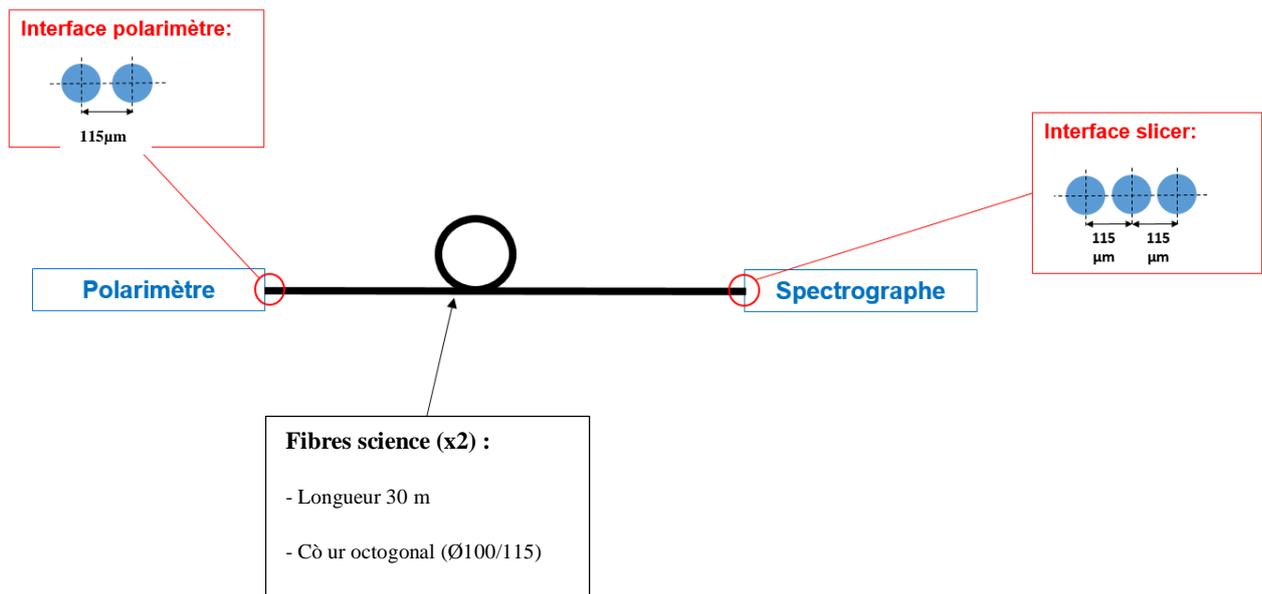


Figure 4: Configuration 1 des liens fibrés Neo-Narval

3.1..2.2. Configuration 2: Brouillage champ proche optimal

Cette solution consiste à utiliser une fibre à cœur octogonale de 30 mètres couplée à une portion de fibre circulaire. Ce couplage permet d'optimiser le brouillage en champ proche, tout en gardant une modularité du système.

L'utilisation d'une fibre de 30 mètres avec un diamètre de gaine « grand » (150µm) permet d'obtenir une meilleure transmission que Narval pour la fibre de 30m (fibre avec diamètre de gaine 110µm)

Dans cette configuration, le prisme de Wollaston est à changer pour assurer un espacement de 150µm en sortie du polarimètre. L'entrée du slicer ne change pas.

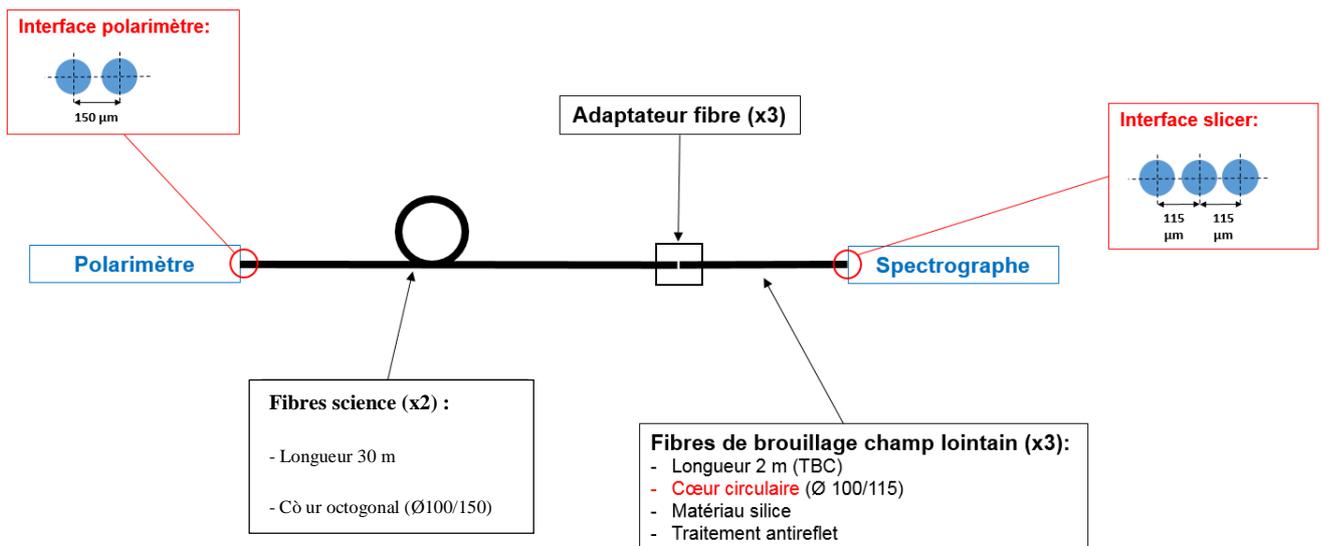


Figure 5: Configuration 2 des liens fibrés Neo-Narval

3.1..2.3. Configuration 3: Brouillage champ proche, brouillage champ lointain

Cette solution consiste à utiliser un double scrambler en complément de fibres octogonales. C'est la configuration qui assure à la fois un brouillage du champ proche et un brouillage du champ lointain. Cependant la transmission totale est dégradée par l'insertion de ce double scrambler (perte de Fresnel, couplage fibre-lentille).

Le double scrambler est composé d'une lentille boule intégrée dans un adaptateur de fibres (voir Figure 0). Cette lentille permet d'inverser le champ proche et le champ lointain. L'ajout d'une fibre à cœur octogonal en sortie de cette boule « brouillera » ainsi le champ lointain.

Dans cette configuration, le prisme de Wollaston est à changer pour assurer un espacement de 150 μ m en sortie du polarimètre. L'entrée du slicer ne change pas.

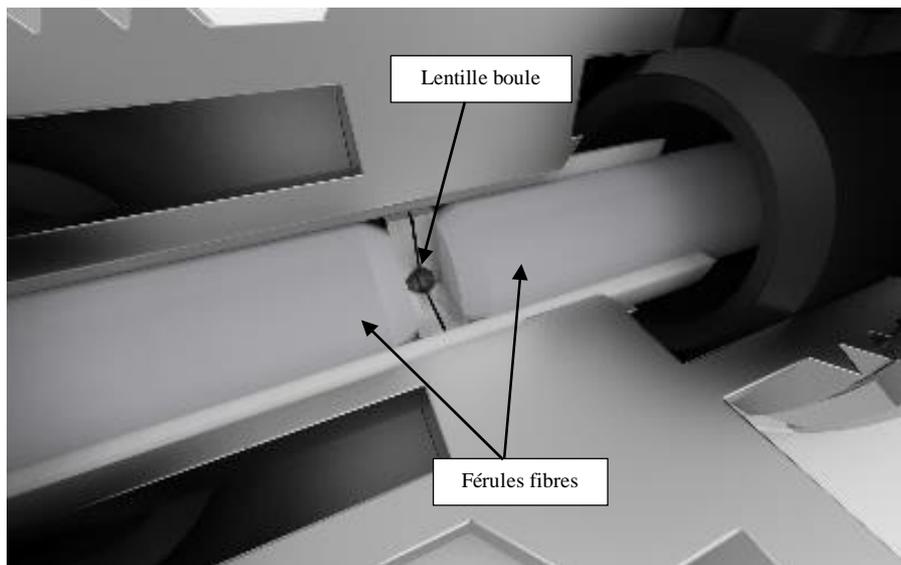


Figure 6: Design opto-mécanique du double scrambler

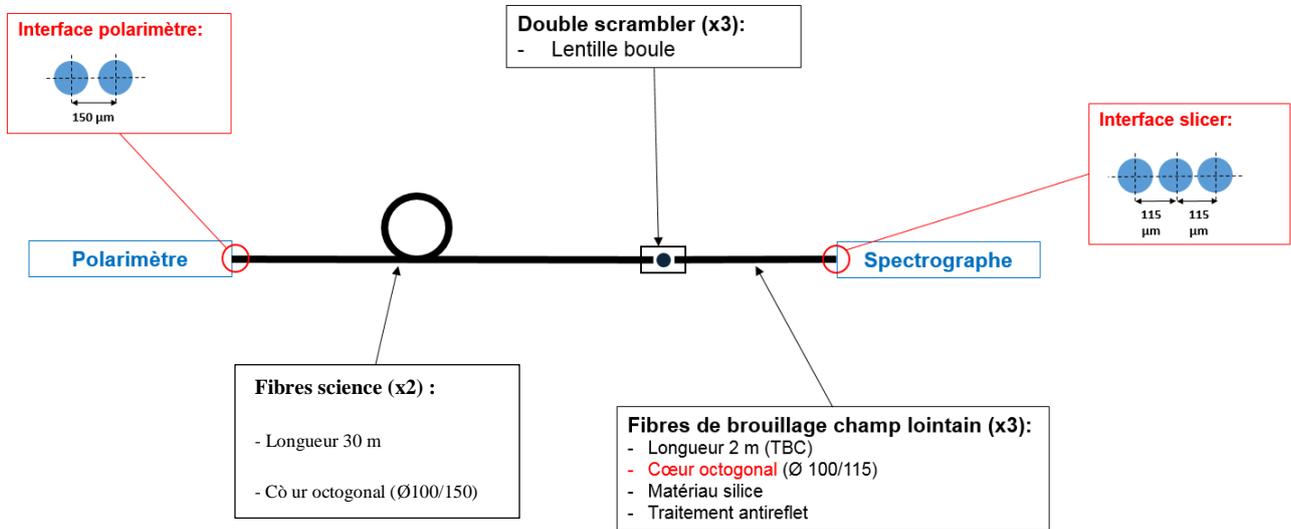


Figure 7 : Configuration 3 des liens fibrés Néo-Narval.

3.1..2.4. Estimation des performances

Ci-dessous, le tableau récapitulatif des performances en transmission et en brouillage des 3 configurations présentées précédemment.

Pour l'estimation de la transmission, on considère les pertes suivantes :

- Atténuation intrinsèque des fibres (données Ceramoptec)
- Traitement antireflet (1% de perte par face en moyenne sur la bande spectrale [360nm ó 1 μm])
- Couplage fibre ó fibre (5% de perte)
- Couplage double scrambler ó fibre (15% de perte)

	Transmission	Brouillage
Configuration 1	81% (valeur moyenne)	- Champ proche: Bon (~150) - Champ lointain: Mauvais
Configuration 2	83% (valeur moyenne)	- Champ proche: Très bon (> 2000) - Champ lointain: Mauvais
Configuration 3	73% (valeur moyenne)	- Champ proche: Excellent (>10000) - Champ lointain: Bon

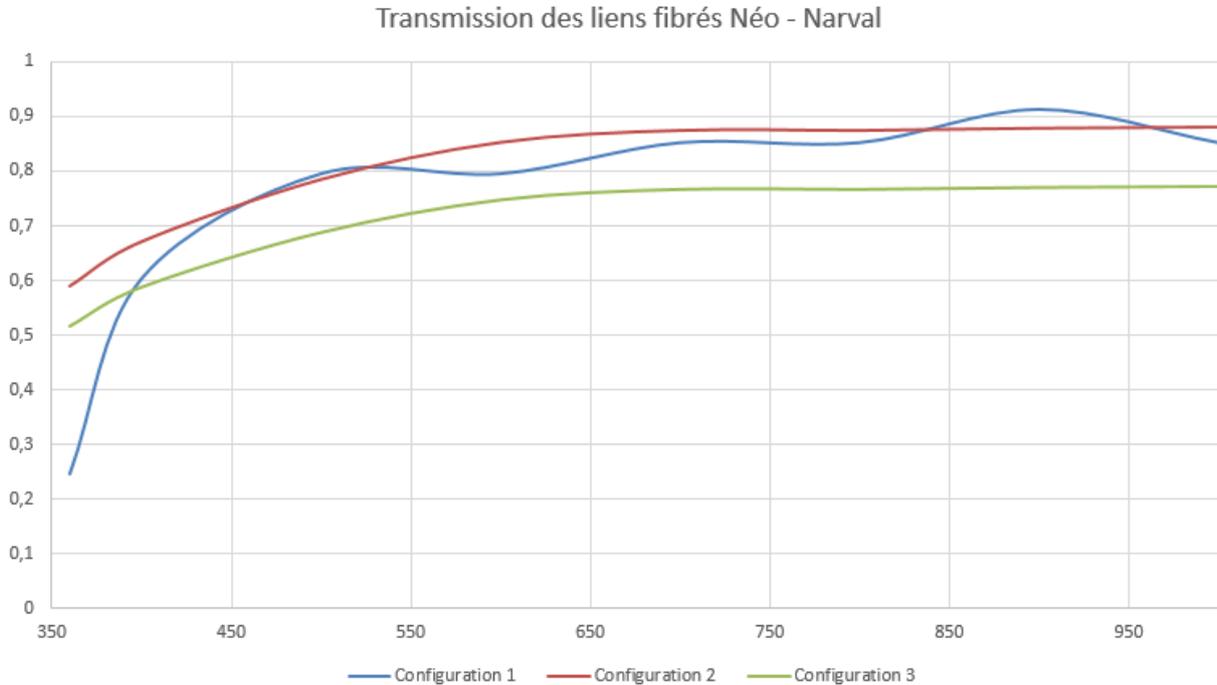


Figure 8 : Estimation de la transmission spectrale pour les liens fibrés Néo-Narval

Point à clarifier: Il est nécessaire de trouver le meilleur compromis résolution/transmission concernant la taille du cœur octogonal de la fibre en entrée du slicer (cercle inscrit ou cercle circonscrit de 100µm?)

3.2. SLICER

Les vis micrométriques des platines sont remplacées par des vis pouvant se bloquer. (RD 1).

Le slicer sera placé en configuration 3 slices et les moteurs ne seront plus alimentés (annulation de la production de chaleur). Un test sera conduit pour vérifier que la configuration est stable (irréversibilité des mouvements). En cas d'instabilité, le positionnement motorisé sera remplacé par un positionnement manuel blocable.

Le dekcker en sortie du slicer est modifié pour accepter la hauteur de la fente composée par les 3 fibres slicées en 3. Le dekcker est constitué d'une plaque mince de 0.3 mm d'épaisseur avec une découpe de 2.16 mm de long. Cela se traduit au niveau du détecteur par une dimension de 550 µm.

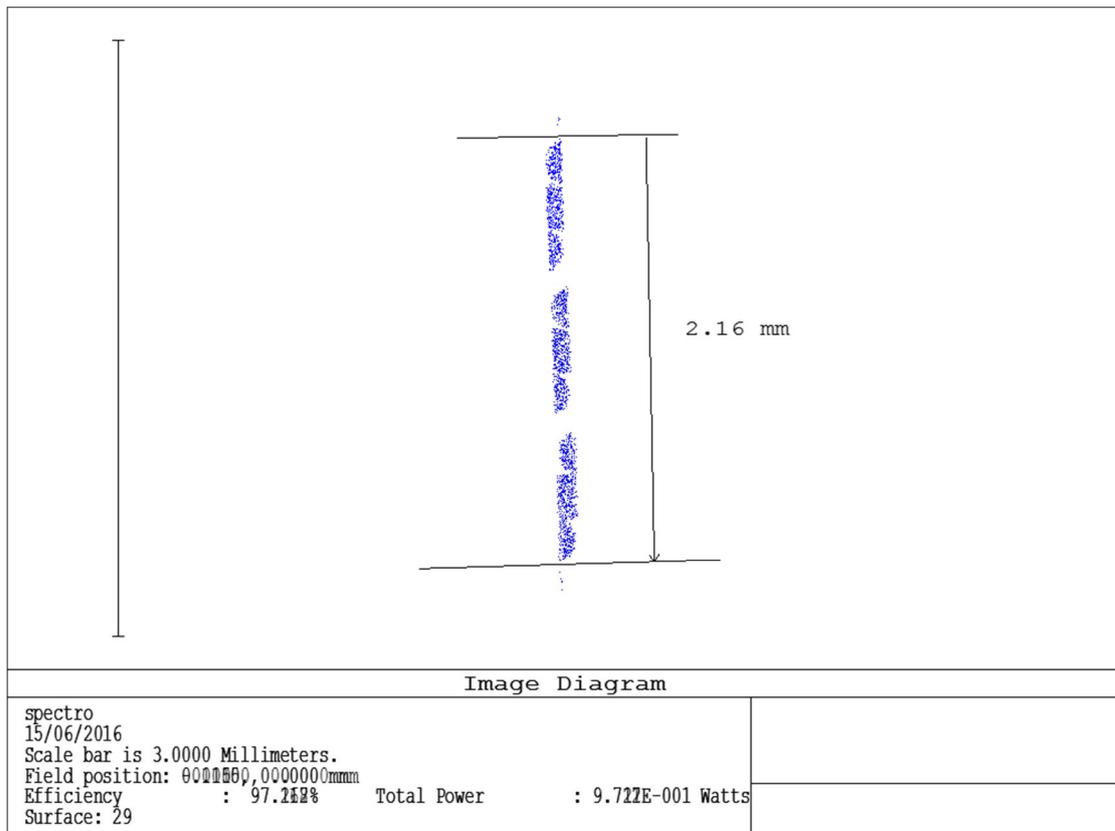


Figure 9: Fente en sortie du slicer

Le shutter en sortie du slicer est remplacé par un shutter bistable. Ceci annule la production de chaleur et tend à stabiliser thermiquement le spectromètre.

3.3. RESEAU ECHELLE

Le réseau échelle sera placé dans un nouveau support (RD 1) situé dans une enceinte isobarique. Les variations de pression de l'air seront atténuées (stabilisation des vitesses radiales). L'enceinte sera remplie d'air sec ou d'azote à la pression moyenne du Pic du Midi.

L'épaisseur du hublot a été dimensionnée afin de ne pas induire de déformée du front d'onde.

La nouvelle structure doit être suffisamment rigide pour ne pas incliner le réseau quand l'enceinte subit une variation de la pression atmosphérique extérieure.

Une inclinaison du réseau selon un axe parallèle aux traits du réseau va déplacer le spectre dans le sens de l'ordre et donc créer de la vitesse radiale. Une inclinaison de $4.27 \cdot 10^{-7}$ degrés crée une vitesse radiale de 1m/s.

Si l'inclinaison se fait perpendiculairement aux traits du réseau, on se déplace dans le sens de la cross-dispersion. On pourra alors tolérer $4.35 \cdot 10^{-5}$ degrés (qui créent 1 m /s).

3.4. CROSS DISPERSEUR

Le cross-disperseur de Narval permettait à l'aide de deux prismes de séparer deux fibres slicées en 3 avec un intervalle minimum de $418\mu\text{m}$. La longueur de ces deux fibres slicées en 3 (y compris l'intervalle se situant entre les deux fibres slicées) était de $358\mu\text{m}$. Ceci laissait donc un intervalle de « noir » de $418-358 = 60\mu\text{m}$ minimum entre les ordres du réseau.

Pour Neo-Narval, nous cherchons donc à avoir aussi un intervalle minimum de $60\mu\text{m}$ au bout des 3 slices pour avoir ce même « noir » entre les ordres.

La séparation minimum amenée par le cross-disperseur doit donc être de l'ordre de $610\mu\text{m}$.

En reproduisant le même prisme que les deux existants, le nouvel cross-disperseur permet d'atteindre une séparation minimum de $616.87\mu\text{m}$. Soit une marge de $66.87\mu\text{m}$ de noir entre les ordres, ce qui correspond à 4.458 pixels de $15\mu\text{m}$.

L'angle entre les prismes est de $56.34^\circ \pm 0.2^\circ$ (comme sur Narval).

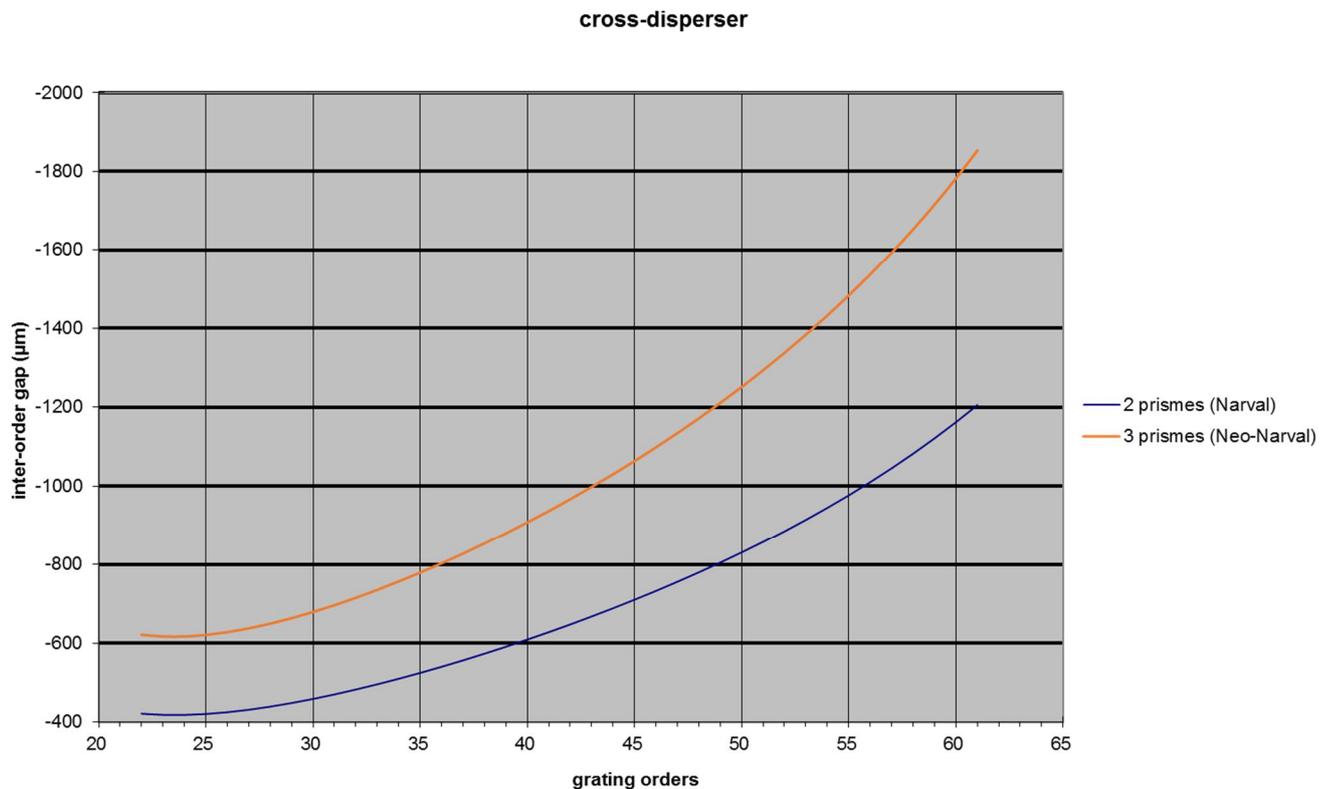


Figure 10: Cross-dispersion comparée entre Neo-Narval et Narval

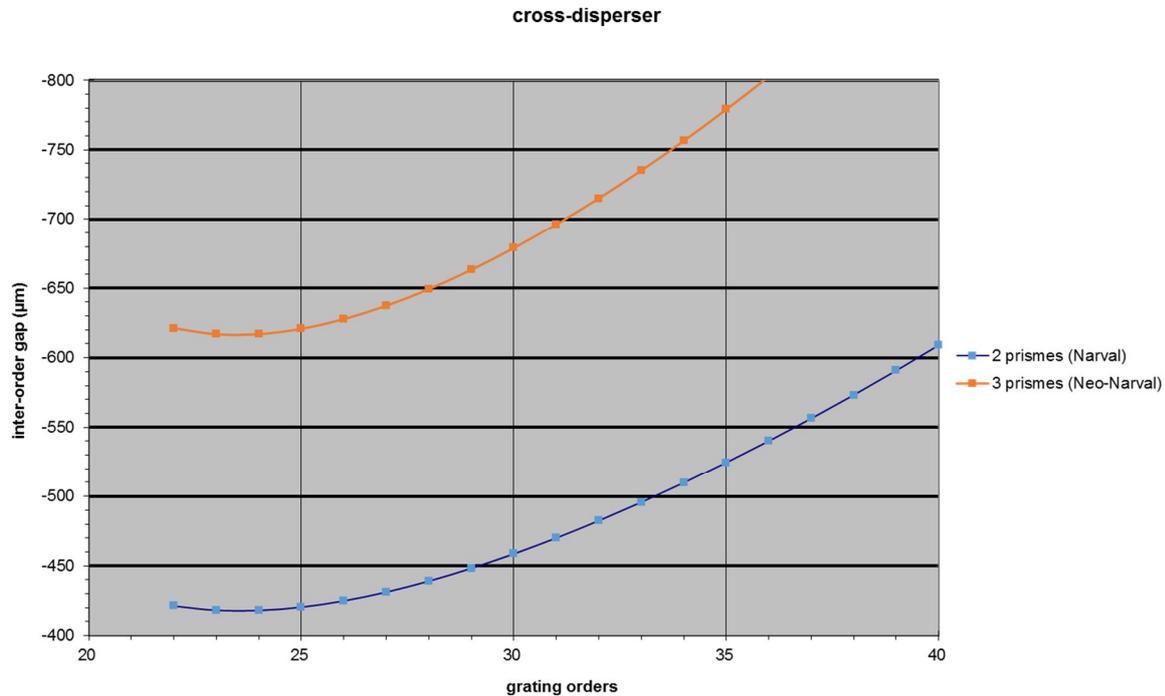
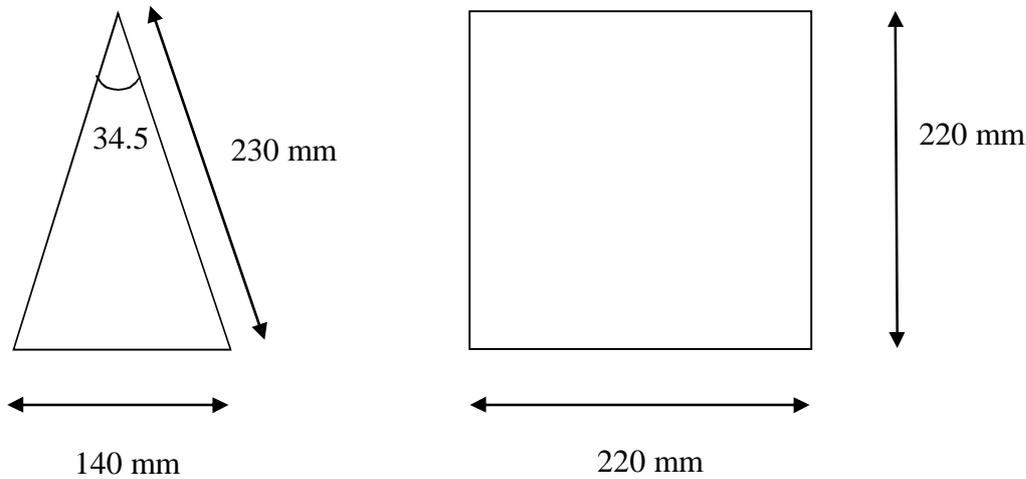


Figure 11: Zoom sur la cross-dispersion minimale

Le prisme doit avoir les spécifications suivantes et il travaille au minimum de déviation:

Dimensions	230 mm * 220 mm
Apex angle	34° 30' ± 10"
Glass	PBL25Y (Ohara) Homogeneity +/- 2 10 ⁻⁶ (grade special A2)y
Wavefront distortion	Lambda/4 p-v @ 633 nm
Birefringence	< 10 nm/cm
Coating	Optimized for an angle of incidence 28°. Average reflection per face less than 1% over the full spectral range 370-1000 nm 1.5% max. at both ends of the spectral range.



3.5. CORRECTEUR DE CHAMP

Le correcteur de champ est placé entre l'objectif de chambre et la fenêtre du détecteur CCD. C'est un doublet dont les surfaces extérieures sont des cylindres. La surface intérieure, commune aux deux verres, est sphérique.

Rayon de courbure (mm)		Epaisseur au centre	Verre
936.673993	Cylindrique, convexe	5	N-PSK53A (nd=1.618, vd=63.39)
431.7816845	Sphérique, convexe		
431.7816845	Sphérique, concave	3	N-BK7
369.499731	Cylindrique, concave		

Les axes des cylindres sont dans le même plan.

Par rapport au spectromètre, les axes des cylindres sont dans la direction des ordres (verticaux par rapport à l'horizontale). Le correcteur a pour dimensions 80 mm (vertical) x 60 mm (horizontal).

Ce correcteur de champ permet d'améliorer la qualité image du spectromètre qui a été dégradée par l'augmentation du champ de vue due à une cross-dispersion plus forte que dans Narval. Les cylindres agissent donc dans le sens de la cross-dispersion. La surface sphérique dans le doublet permet d'éviter une dégradation de la qualité image dans les coins du champ de vue.

4. PERFORMANCES DE NEO-NARVAL

4.1. TRANSMISSION

Par rapport à NARVAL, nous avons introduit les éléments suivants qui vont diminuer la transmission :

- Le hublot en silice fondue devant le réseau.
- Un prisme supplémentaire pour la cross-dispersion
- Le correcteur de champ

Afin de comparer la transmission de Narval et de Neo-Narval, la transmission du télescope et l'efficacité quantique du détecteur n'ont pas été prises en compte.

Les courbes de transmission prennent en compte le polarimètre, le lien fibré et le spectromètre. Pour chaque configuration du lien fibré, les données du lien fibré (3.1.) ont été prises en compte.

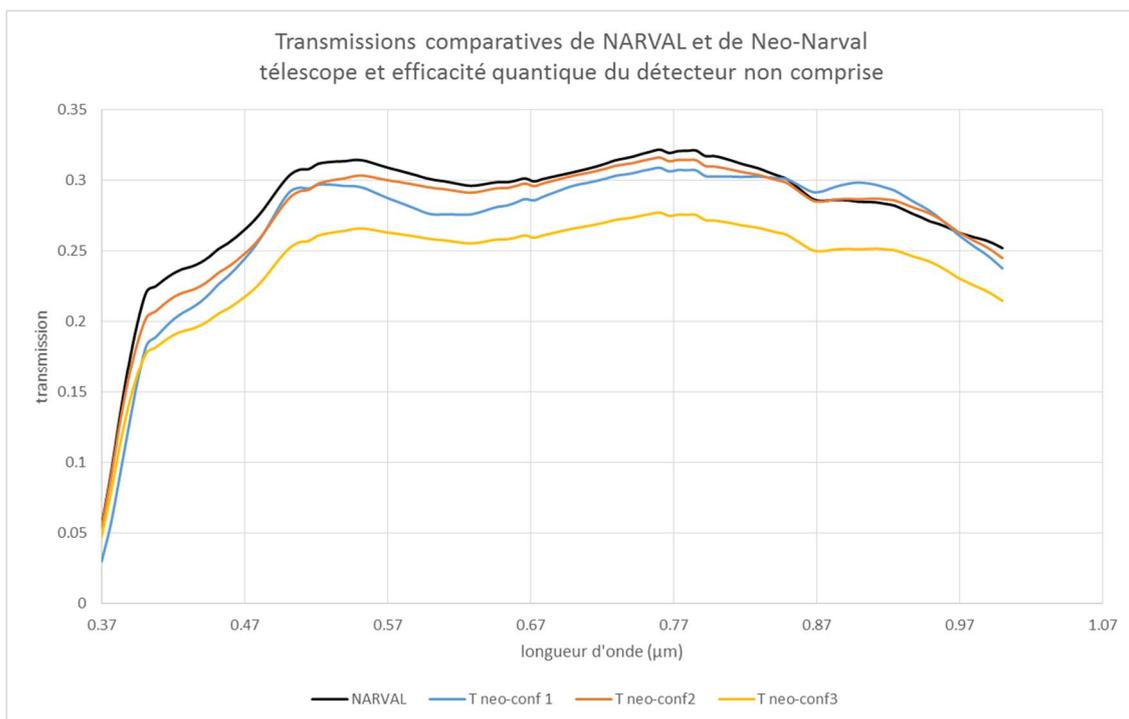


Figure 12: Transmissions comparatives Neo-Narval, Narval

4.2. COUVERTURE SPECTRALE

grating order	wavelength (nm)		grating order	wavelength (nm)	
22	1 006.894	1 047.664	42	532.526	545.358
23	963.111	1 002.117	43	520.288	532.530
24	923.500	960.365	44	508.599	520.291
25	887.315	921.954	45	497.424	508.602
26	853.857	886.497	46	486.729	497.426
27	822.830	853.667	47	476.484	486.731
28	793.977	822.849	48	466.662	476.487
29	767.080	793.995	49	457.237	466.664
30	741.944	767.094	50	448.184	457.239
31	718.403	741.957	51	439.483	448.186
32	696.309	718.414	52	431.114	439.485
33	675.534	696.319	53	423.057	431.115
34	655.962	675.543	54	415.296	423.059
35	637.492	655.970	55	407.814	415.297
36	620.033	637.499	56	400.598	407.816
37	603.505	620.039	57	393.632	400.599
38	587.835	603.511	58	386.904	393.633
39	572.958	587.840	59	380.403	386.905
40	558.816	572.963	60	374.116	380.403
41	545.354	558.820	61	368.033	374.117

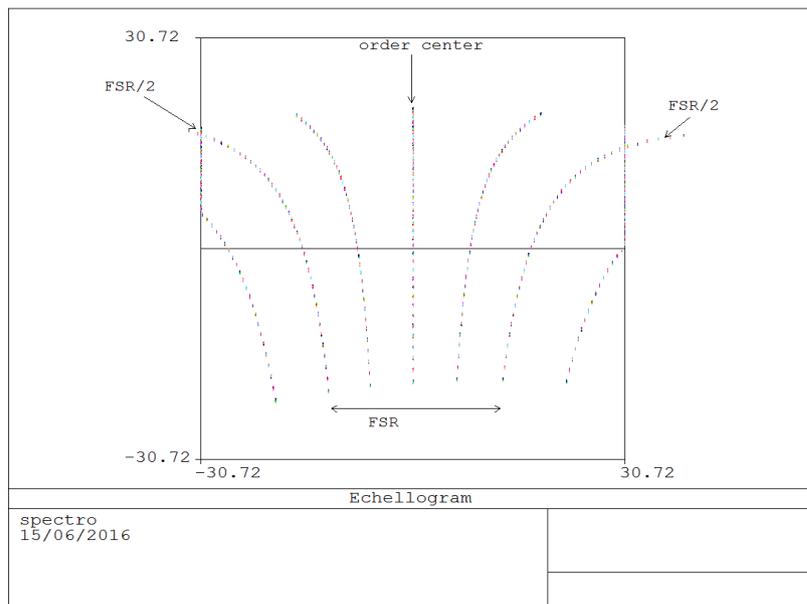


Figure 13: Disposition des ordres (FSR=free spectral range).

4.3. POUVOIR DE RESOLUTION

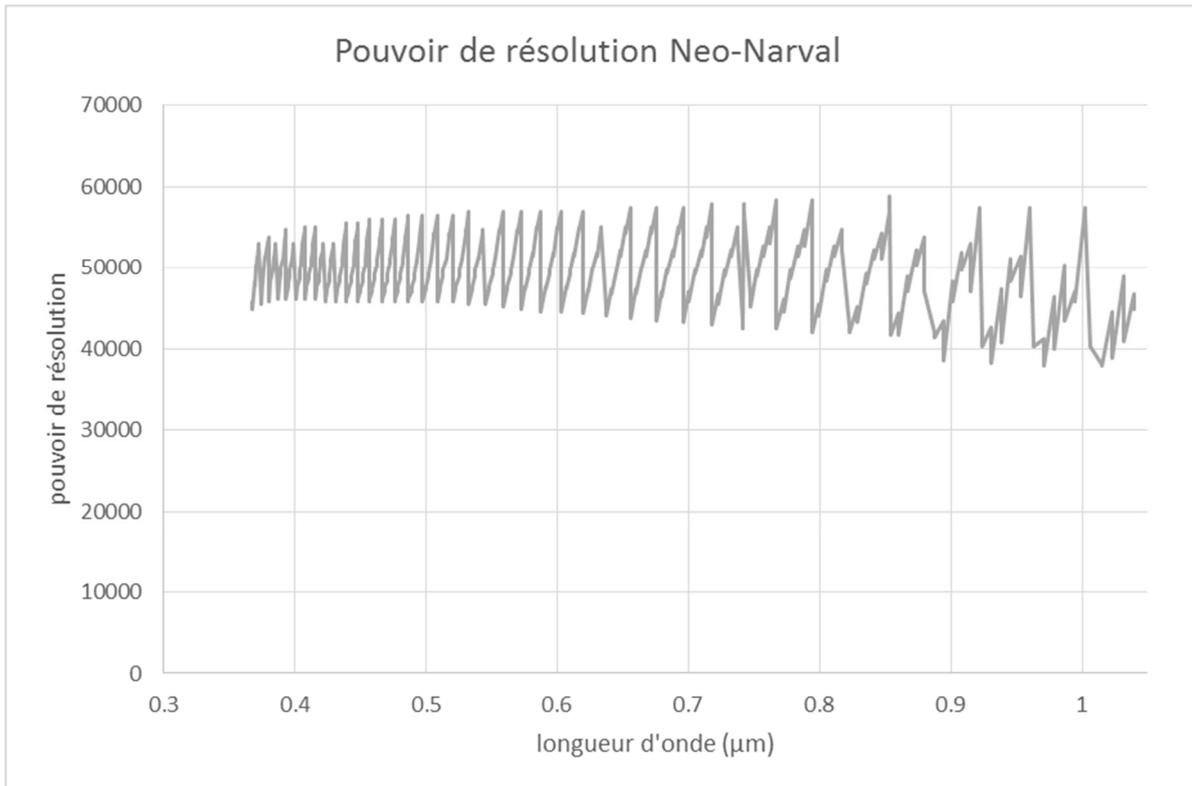


Figure 14: Pouvoir de résolution Neo-Narval

Le pouvoir de résolution de Neo-Narval a été calculé en 5 points de chaque ordre :

- au centre (blaze)
- à blaze \pm FSR/2
- blaze + FSR/2
- blaze \pm FSR/4
- blaze + FSR/4

Le Free Spectral Range (FSR) est donné par la longueur d'onde au centre du $l^{\text{ème}}$ ordre divisé par le numéro de $l^{\text{ème}}$ ordre.

Ce calcul du pouvoir de résolution ne prend pas en compte le fait que la fente est inclinée de 10° ce qui permet d'augmenter le pouvoir de résolution.

Pour Neo-Narval, le pouvoir de résolution moyen est de 51733 sans tenir compte de l'inclinaison de la fente. Nous pouvons espérer atteindre un pouvoir de résolution proche de 63 000 en utilisant l'inclinaison de la fente.

A titre de comparaison, le pouvoir de résolution de Narval est de 57480 dans les mêmes conditions. Grâce à l'inclinaison de la fente, le pouvoir de résolution de Narval atteint 70000.