



Observatoire astronomique de la Pointe du diable



3. Pointage et suivi automatiques

Les instruments sont portés par une monture équatoriale dite à l'allemande dont chacun des deux axes est solidaire d'une roue dentée en bronze couplée à une vis sans fin en inox directement entraînée par un moteur *pas-à-pas*.

Les moteurs sont pilotés par le logiciel *PRISM* fonctionnant sous *MS-Windows* via un dispositif électronique que l'on nomme *MCMT* (*Motorisation Compatible Multi Télescope*).



Prism est développé en France par *Cyril Cavadore* et commercialisé sous licence.

<http://www.prism-astro.com/>

MCMT est initialement développé par *Laurent Bernasconi* et libre de tout droit commercial.

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



Le pointage et le suivi peuvent être réalisés en mode local ou en mode externe via Internet. L'ouverture et la rotation de coupole sont également automatisées ainsi que nombre d'autres fonctions.

3.1. Repérage d'un astre dans le ciel

3.1.1. Coordonnées locales

— Coordonnées horaires

$\left\{ \begin{array}{l} H \text{ (Angle horaire)} \\ \delta \text{ (déclinaison)} \end{array} \right.$ Compté sur l'équateur à partir du Sud, positivement dans le sens horaire
Comptée à partir de l'équateur positivement vers le pôle Nord

$$H = H(0) + \frac{2\pi}{T_{\text{sid}}} t = H_{\gamma_0} - \lambda - \alpha + \Omega_{\text{sid}} t \quad \text{avec } T_{\text{sid}} = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4,09 \text{ s}$$

Pour une étoile « fixe » la déclinaison δ et l'ascension droite α (définie ci-dessous) sont invariantes dans le temps d'une observation. H_{γ_0} est une constante universelle.

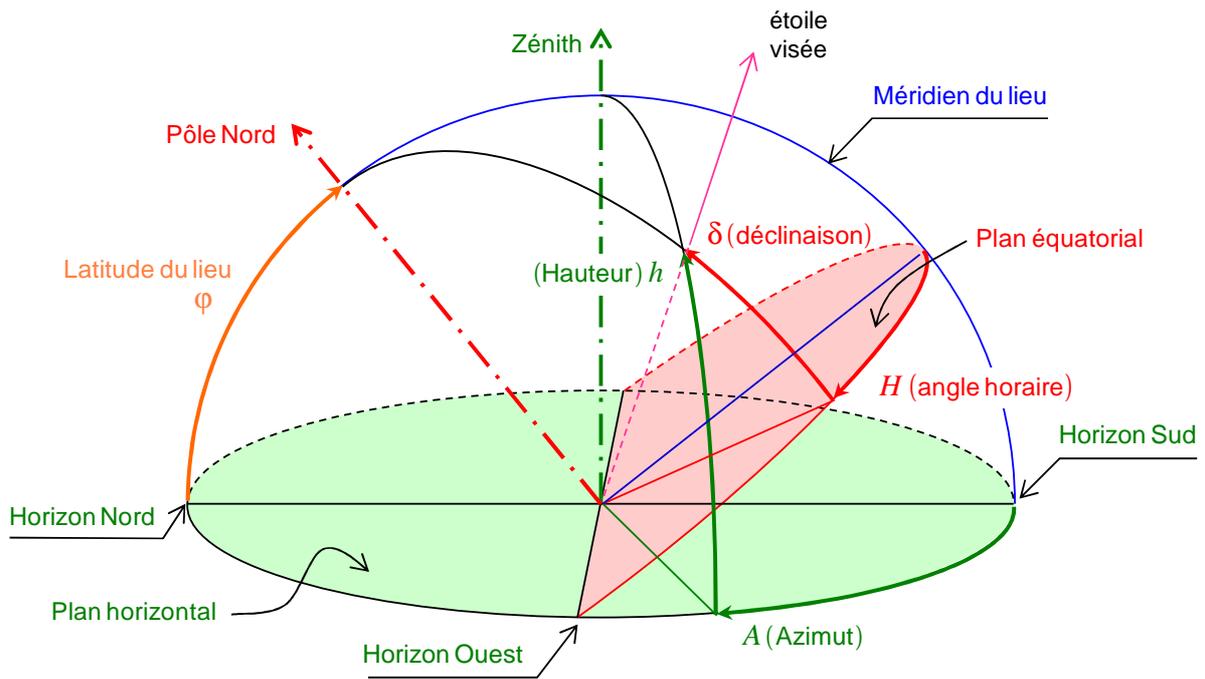
λ est la longitude géographique ouest du lieu d'observation, comptée à partir du méridien de Greenwich.

— Coordonnées horizontales

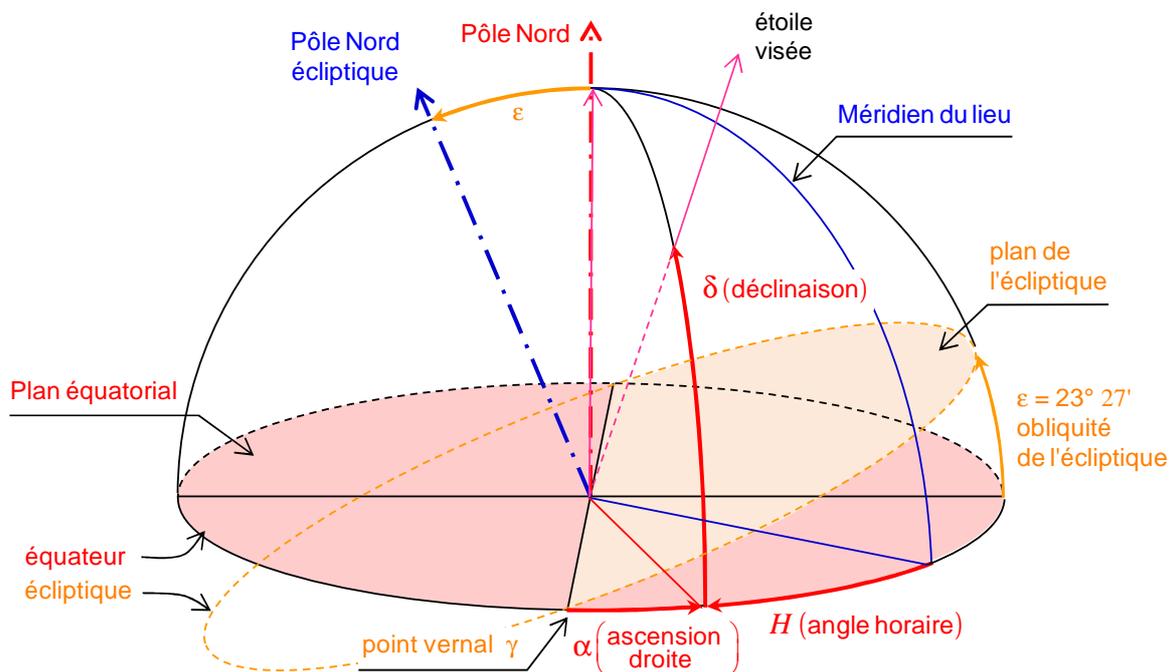
- $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ (Azimut)} \\ h \text{ (hauteur)} \end{array} \right.$ Compté sur l'horizon à partir du sud, positivement vers l'Ouest
- $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ (Azimut)} \\ h \text{ (hauteur)} \end{array} \right.$ Comptée à partir de l'horizon positivement vers le zénith

Les coordonnées horizontales $\{ A, h \}$ sont données par les relations suivantes dans lesquelles φ représente la latitude géographique du lieu :

$$\begin{cases} \sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H \\ \cos h \sin A = \cos \delta \sin H \\ \cos h \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos H \end{cases}$$



3.1.2. Coordonnées équatoriales



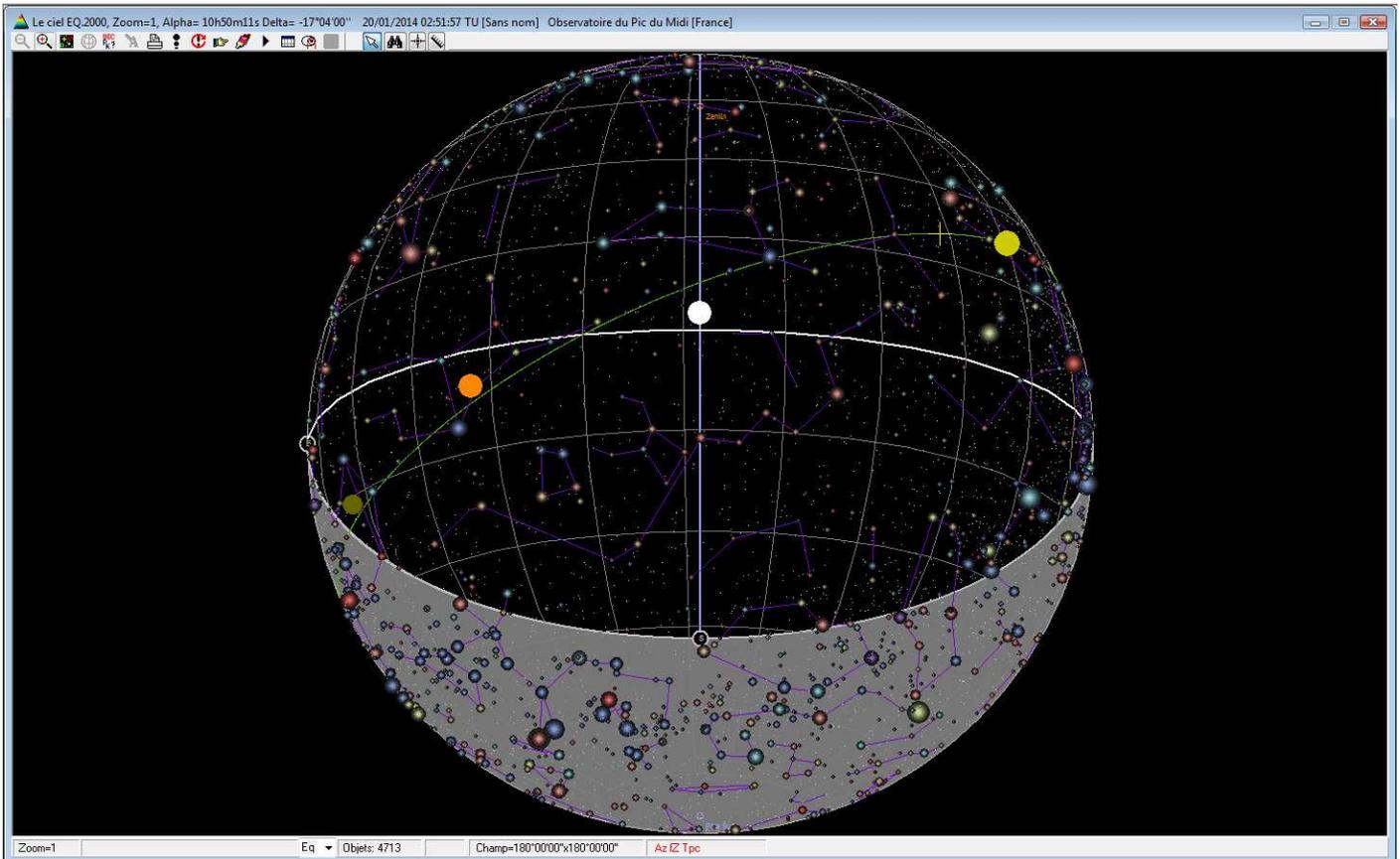
Le point vernal γ correspond à la position du soleil sur l'écliptique au moment de l'équinoxe de printemps (*nœud ascendant*)

L'ascension droite α d'un astre est définie sur l'équateur dans le sens direct avec pour origine le point vernal. Le couple $\{\alpha, \delta\}$ définit les coordonnées équatoriales de l'astre.

Pour une étoile fixe, les coordonnées équatoriales sont des angles lentement variables Dans le temps du fait de la rotation du point vernal (1 tour en 25 800 ans : phénomène de *précession des équinoxes*).

3.1.3. Cartographie

Exemple de carte du ciel produite par le logiciel *PRISM*



3.2. Montures motorisées

3.2.1. Différents types de montures

Les montures horizontales ou « altazimutales » ont un axe vertical et un axe horizontal. On y affiche la hauteur et l'azimut de l'astre.

Avantage : du point de vue mécanique, ces montures sont plus simple à réaliser. Les contraintes sur les paliers sont moins importantes que dans tout autre type de monture, surtout dans le cas des montures à fourche.

Inconvénient : la poursuite exige l'utilisation de deux moteurs et d'un processeur de calcul et surtout, elle produit une rotation de champ.



Monture horizontale
À fourche



Monture horizontale
« allemande »

Les montures équatoriales ont un axe parallèle à l'axe polaire de la Terre. On y affiche l'angle horaire et la déclinaison de l'astre.

Avantage : un seul moteur tournant à vitesse constante est suffisant pour assurer la poursuite horaire en compensant le mouvement de rotation uniforme de la Terre.

Inconvénient : du point de vue mécanique, ces montures présentent inévitablement des porte-à-faux importants qui imposent des paliers de rotation de plus grands diamètres.



Monture équatoriale
À fourche



Monture équatoriale
« allemande »

3.2.2. Monture équatoriale allemande

L'axe optique est déporté.

Un contrepoids est donc nécessaire, ce qui double la masse en mouvement.

Il existe deux positions possibles du télescope pour une même direction visée dans le ciel.

3.2.3. Les moteurs

Sur chaque axe, un moteur « pas à pas » à micro-pas entraîne directement, via une liaison homocinétique à soufflet, une vis sans fin (en inox) couplée à une roue dentée de 360 dents (en bronze).



3.2.4. Précision nécessaire pour le pointage

On souhaite idéalement pouvoir pointer une direction dans le ciel avec une erreur inférieure à une minute d'arc.

$$1' = \frac{1^\circ}{60} = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad} = 60''$$

Pour indication plus parlante : le diamètre de la lune est proche de $\frac{1}{2}$ degré soit $30'$.

La roue dentée a un rayon de 200 mm. Avec un tel bras de levier une minute d'arc correspond à un déplacement de 0,06 mm. Cela signifie que la vis sans fin doit être usinée avec cette précision : rien d'exceptionnel, mais il s'agit quand même d'un travail très soigné !

1 micro-pas du moteur pas-à-pas correspond à $1/92160^{\circ}$ de tour de la vis sans fin et donc $1/360^{\circ} \times 1/92160^{\circ}$ de tour pour la roue dentée,

$$1 \text{ micro-pas} = \frac{1}{92160} \times \frac{1}{360} \text{ tour} = \frac{1}{92160} \times \frac{1}{360} \times 360 \times 60 \times 60'' \approx 0,04''$$

Cette valeur est à rapprocher de la seconde d'arc inévitable de turbulence atmosphérique.

Conclusion : le mouvement apparaîtra comme continu ...

3.2.5. Précision nécessaire pour la poursuite

Pour la poursuite, on souhaite obtenir une précision de $1''$

Cela correspond avec un bras de levier de 200 mm à un usinage à la précision du micron !

Ce n'est pas vraiment possible ? Et pourtant, avec un usinage à la pointe diamant on obtient une rectification de la vis sans fin à plus ou moins 2 microns

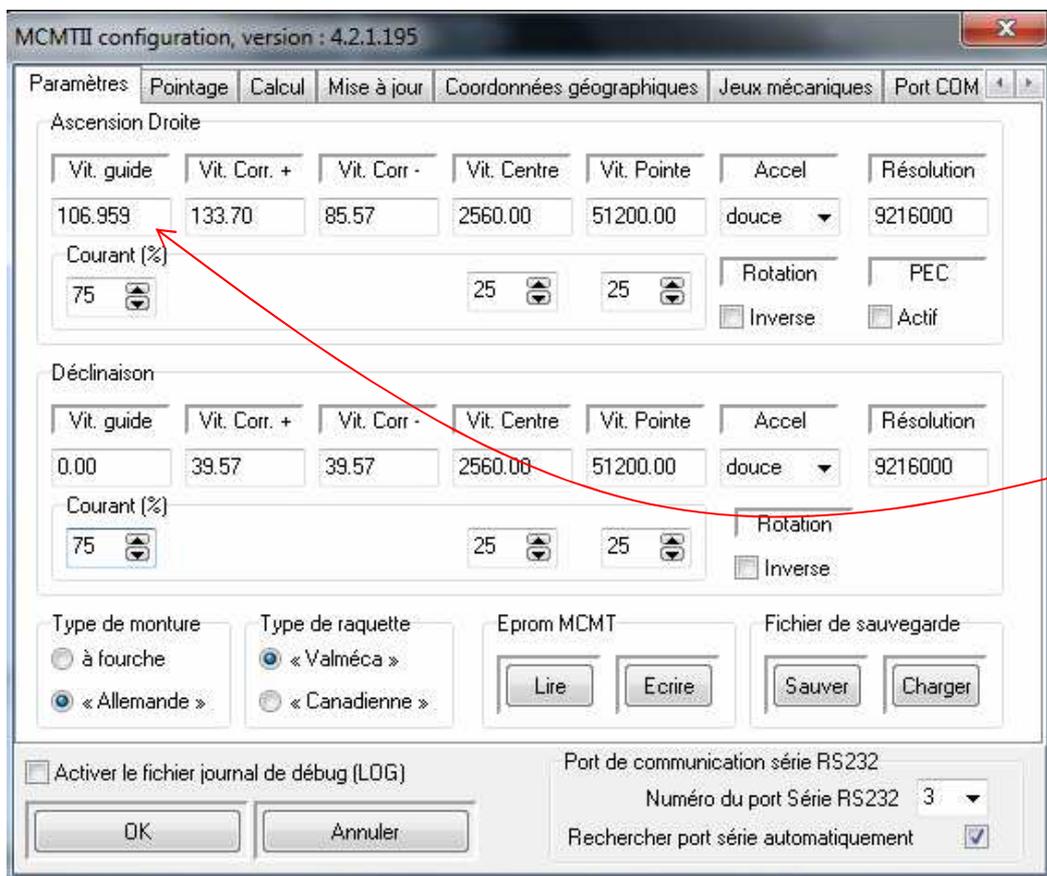
Mais pour faire de la bonne photo, il faut encore faire mieux ...

- Première solution : on utilise une étoile guide
- Deuxième solution : on utilise un modèle de pointage
- Un autre remède : correction d'erreur périodique
- Autre nécessité : corriger l'effet de la réfraction atmosphérique

Et ça marche !

3.2.6. Configuration de MCMT

Le contrôleur MCMT est pourvu de mémoires qui devront être initialisées pour informer le programme interne des caractéristiques des moteurs, des roues dentées et des vitesses que l'on souhaite programmer pour les déplacements.



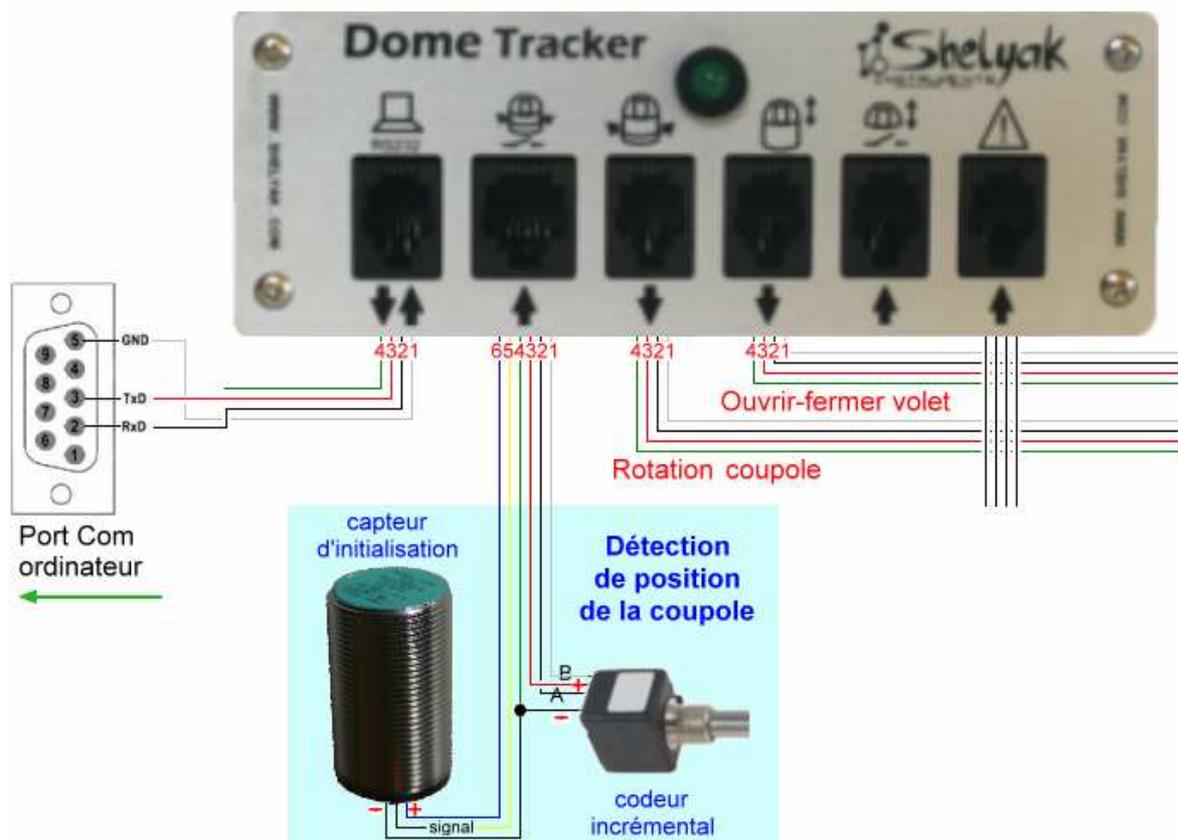
Notons en particulier qu'une vitesse de guidage de $106.959 \mu\text{pas/s}$ correspond exactement au mouvement sidéral de 1 tour en 23h 56min 04s

3.3. Gestion de la coupole

3.3.1. Dispositif « dome-tracker »

Ce dispositif électronique permet l'interface entre prisme et la coupole abritant le télescope.

Le schéma suivant en montre les différentes fonctions.



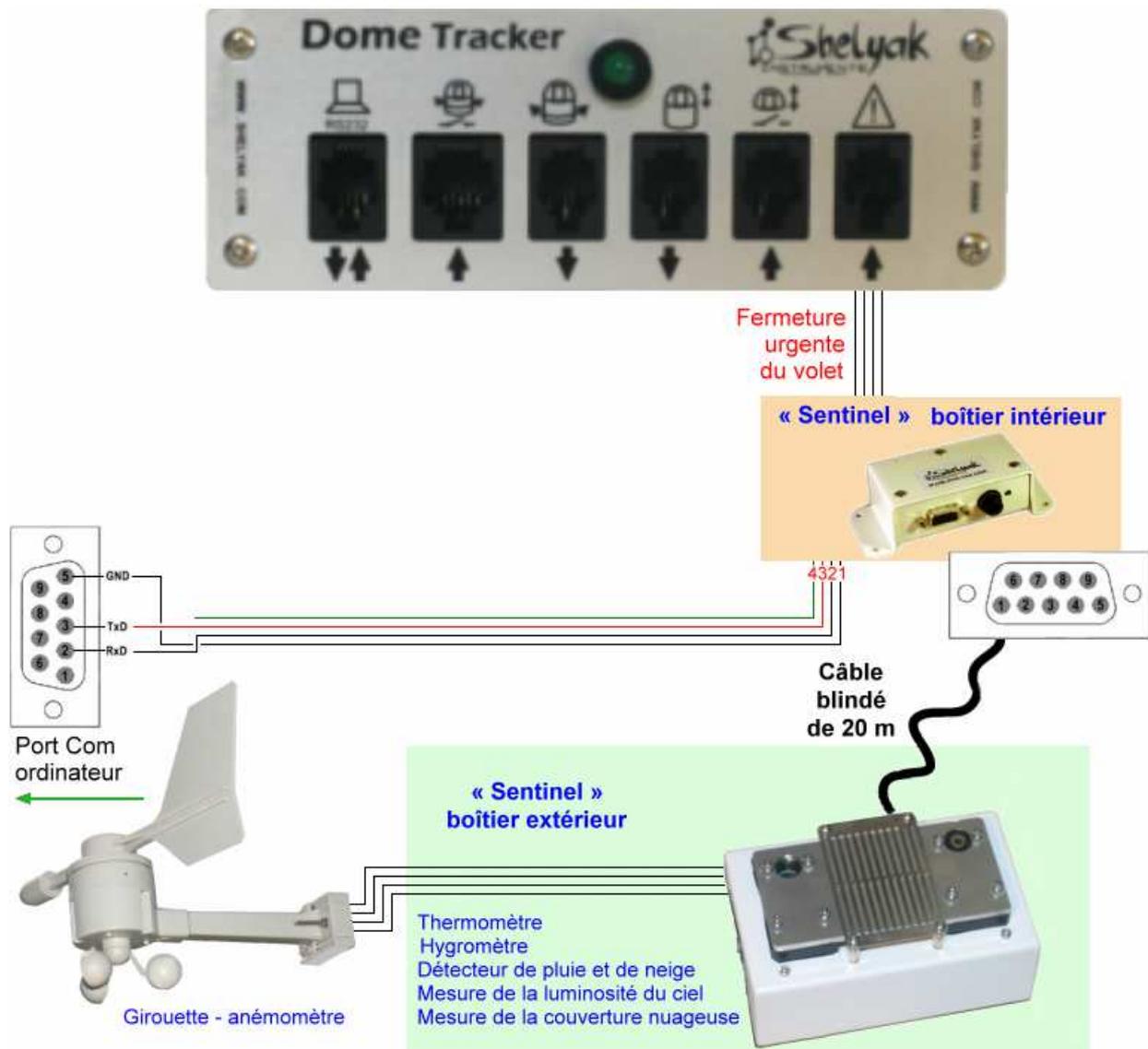
La rotation de coupole se trouve ainsi couplée au déplacement du télescope. S'agissant d'un couplage en boucle ouverte, le système doit être initialisé : c'est le rôle du capteur d'initialisation. Ensuite, PRISM gère la bonne correspondance entre le prolongement de l'axe optique du télescope et la ligne médiane de la fenêtre d'ouverture de la coupole, ce qui correspond à de jolis calculs de trigonométrie sphérique !

Il est également possible depuis PRISM, et donc aussi depuis le réseau Internet dès lors que l'on établit un bureau à distance, d'ouvrir et de fermer le volet de la coupole.

3.3.2. Sécurité météo : dispositif « sentinel »

Le boîtier SENTINEL, relié à une station météo, informe le système de nombreux paramètres caractérisant les conditions climatiques instantanées :

- pression atmosphérique,
- température,
- hygrométrie,
- détection de pluie,
- pluviométrie cumulée,
- vitesse et direction du vent,
- luminosité du ciel
- couverture nuageuse (Par comparaison de la luminosité du fond du ciel en lumière visible et en infrarouge).



Notons en particulier que la détection de pluie ainsi que la détection de vent dépassant une vitesse critique provoquent la fermeture prioritaire du volet de la coupole, par sécurité : le boîtier SENTINEL est directement relié au boîtier DOME TRACKER.