

# **TÉLESCOPE ETX90PE-LNT**



## **Dossier technique**

**Académie d'Aix-Marseille**  
**Lycées technologiques de la Méditerranée et de Don Bosco**

## Sommaire

A - Introduction.....	3
A.1 - Généralités sur l'astronomie.....	3
La lunette astronomique.....	3
Le télescope.....	3
Les télescopes motorisés.....	5
Les différentes montures d'un télescope.....	6
B - Le système réel.....	7
B.1 - Les caractéristiques principales de l'ETX90PE-LNT.....	8
B.2 - Les objets techniques du système.....	9
Diagramme sagittal.....	9
B.3 - La raquette de commande Autostar.....	10
Le clavier de l'Autostar.....	11
Les menus du fonctionnement proposés à l'affichage.....	11
B.4 - La motorisation du télescope.....	12
Les cartes moteurs.....	13
B.5 - Le panneau de contrôle.....	14
Schéma des liaisons entre les objets techniques du système.....	15
Protocole de communication Autostar/contrôleur moteur.....	16
B.6 - Le module Level North Technology (L.N.T.):.....	17
Introduction.....	17
Présentation.....	18
Photos des deux faces de la carte électronique du L.N.T.....	19
Protocole de communication Autostar/module LNT.....	20
C - Le Système didactisé.....	21
C.1 - Présentation / compatibilité.....	22
Présentation.....	22
Analyse fonctionnelle de degré 1.....	23
Schéma fonctionnel de degré 1.....	24
Compatibilités.....	25
C.2 - La raquette.....	27
Présentation.....	27
Utilisation de la raquette didactisée.....	28
Schéma fonctionnel de degré 2.....	29
Analyse fonctionnelle.....	30
Schéma structurel.....	35
C.3 - Le contrôleur moteur d'azimut.....	36
Présentation.....	36
Principe de fonctionnement du capteur optique.....	38
Schéma fonctionnel de degré 2.....	40
Analyse fonctionnelle.....	41
Schéma structurel.....	44
C.4 - La carte d'alignement (LNT).....	45
Présentation.....	45
Principe de fonctionnement du capteur magnéto-inductif.....	46
Schéma fonctionnel de degré 2.....	47
Analyse fonctionnelle.....	48
Schéma structurel.....	51
D - Annexes.....	52
D.1 - Communication entre la raquette et les contrôleurs de moteurs.....	52
Protocole de communication.....	53
Description des différentes commandes.....	54
D.2 - Le bus AUX.....	58
Présentation.....	58
Protocole de communication.....	58
Constitution du bus AUX.....	59
Les commandes du LNT.....	60
Résumé des différentes commandes du LNT.....	62
Capture du dialogue entre la raquette et le LNT lors de la phase d'alignement.....	63

## A - Introduction

### A.1 - Généralités sur l'astronomie

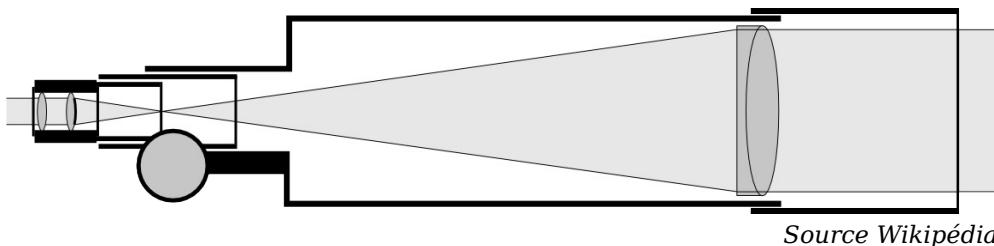
En matière d'observations astronomiques, l'utilisation de deux types d'instruments est à envisager :

- La **lunette** astronomique construite selon le principe de la réfraction.
- Le **télescope** construit selon le principe de la réflexion.

#### La lunette astronomique

Son invention précède celle du télescope. Elle date de la fin du XVI<sup>e</sup> siècle. Au cours du siècle suivant, Galilée va construire et développer les premières lunettes astronomiques. C'est avec celles-ci qu'il va faire ses observations du ciel et révolutionner la connaissance de notre univers.

La réfraction correspond à la déviation d'une onde qui survient en général au passage entre deux milieux de nature différente. Ce phénomène est exploité dans la construction des lunettes astronomiques : la lumière émise par un objet lointain est concentrée en un point (le foyer) par une première lentille de verre. Une seconde lentille, plus petite, grossit l'image en ce point et permet son observation.



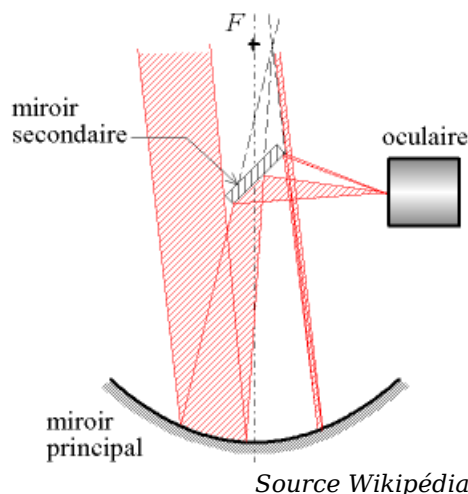
#### Le télescope

Il date de la seconde partie du XVII<sup>e</sup> siècle et on doit son évolution à Isaac Newton. Un miroir est utilisé pour réfléchir et concentrer les rayons de lumière au niveau du foyer.

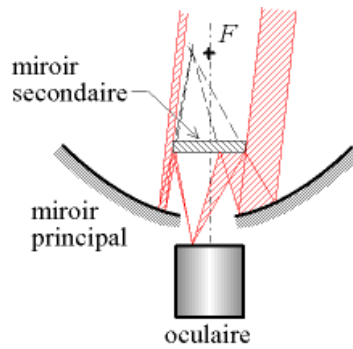
L'utilisation d'un miroir à la place d'une lentille de verre permet la construction de plus grands appareils avec des grossissements plus importants.

Contrairement aux lunettes astronomiques, il existe de nombreux modèles de télescopes. Nous nous bornerons à différencier le télescope de Newton et le Cassegrain :

**Télescope de Newton** : du nom de son inventeur, il possède un second miroir pour réfléchir la lumière vers un oculaire placé sur le côté du tube du télescope.

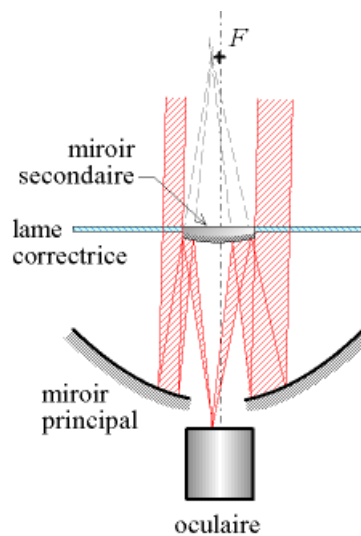


**Télescope Cassegrain :** Encore appelé télescope catadioptrique, il se caractérise par une ouverture pratiquée au centre de son miroir primaire. Le second miroir renvoie donc la lumière au travers du premier vers un oculaire placé derrière le tube optique.



Source Wikipédia

**Télescope Maksutov-Cassegrain :** Il s'agit d'une évolution du télescope précédent. Une lame correctrice associée à un miroir secondaire convexe sphérique améliore l'image en supprimant les aberrations optiques.

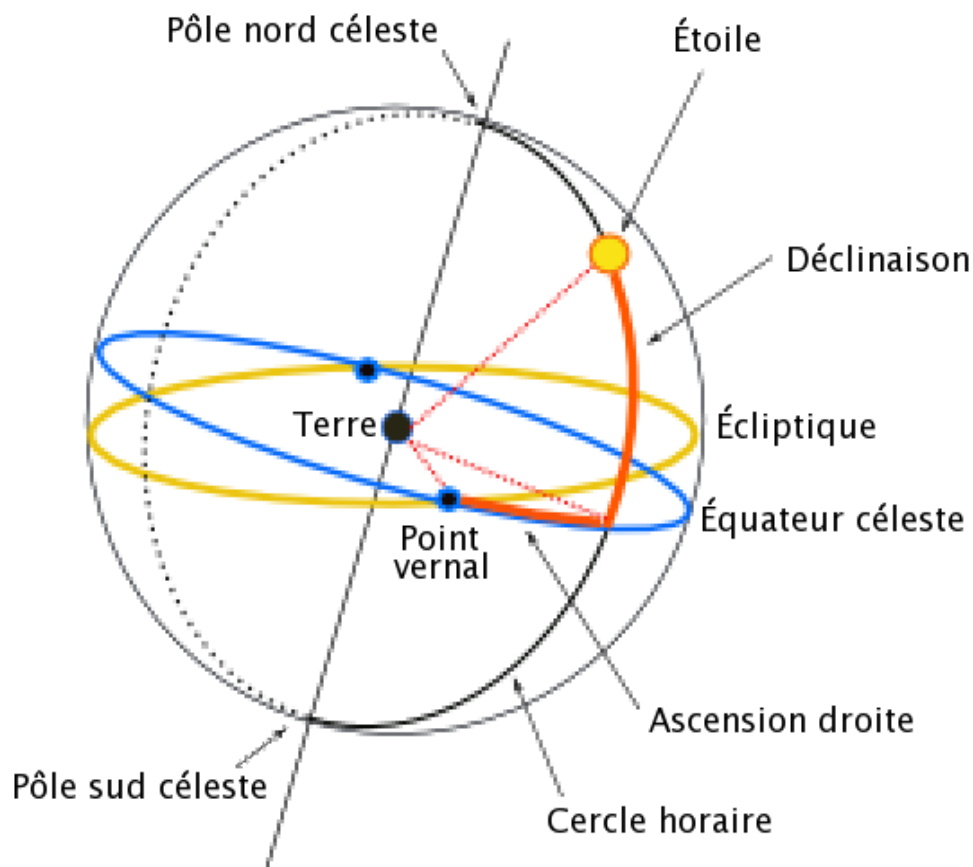


Source Wikipédia

## Les télescopes motorisés

Vus de la Terre, les objets célestes semblent se déplacer en décrivant un arc de cercle. Cela est dû à la rotation de la Terre autour de son axe vertical (polaire). **D'où la nécessité de motoriser l'instrument d'observation pour suivre l'évolution des astres.**

Le système de coordonnées célestes peut être matérialisé comme une sphère enveloppant la Terre et son atmosphère sur laquelle sont repérés les différents astres. Ainsi, on localise un objet céleste à partir de coordonnées déterminées par des lignes imaginaires appelées ascension droite (longitude céleste) et déclinaison (latitude céleste). De même, le pôle nord céleste prend place au sommet de cette sphère et correspond approximativement à l'emplacement de l'étoile polaire.





Source Wikipédia

## Les différentes montures d'un télescope

On distingue deux types de coordonnées des objets célestes :

- Les coordonnées équatoriales qui tiennent compte de l'inclinaison de l'axe vertical terrestre.
- Les coordonnées azimutales qui utilisent le zénith, soit la verticale du point d'observation.

Cela donne les deux montages suivants d'un télescope :

La monture équatoriale	La monture altazimutale
 <p>Le télescope est placé sur son trépied incliné de telle manière à s'aligner en direction de l'étoile polaire (pôle nord céleste). Il s'agit du réglage de la déclinaison. Ensuite, <b>il suffit de faire tourner la base du télescope pour compenser la rotation de la Terre.</b></p>	 <p>La base du télescope est maintenue parallèle au sol et <b>le suivi des objets célestes se fait selon les deux axes vertical (azimut) et horizontal (altitude).</b></p>

**B - Le système réel**

Le télescope **MEADE ETX90PE-LNT** choisi comme support d'étude du thème 2010 fait partie d'une large gamme d'instruments d'observation fabriqués par la société MEADE. La série ETX s'adresse au plus grand nombre et se caractérise par le faible encombrement de ses instruments, ainsi qu'une grande facilité d'utilisation. Le télescope ETX90PE-LNT se présente comme le premier choix de la série après la lunette ETX-80AT. Il est suivi par d'autres modèles plus puissants tels que les télescopes ETX-105 et ETX-125.

Le télescope ETX90PE-LNT est équipé d'une motorisation pour le suivi automatique des objets célestes. Sa mise en service et son utilisation s'effectuent simplement à partir d'une **raquette de commande (type Autostar #497)** et ses nombreux menus intégrés. Il est notamment possible de pointer très facilement un objet céleste pré-enregistré dans une base de données de 30000 références ! La technologie MEADE **L.N.T.** (Level North Technology) assure l'horizontalité, l'orientation et le réglage de l'heure automatique du télescope. Un chercheur à grand champ à point rouge « **Smartfinder** » est également une des fonctionnalités disponibles sur ce modèle pour faciliter l'opération initiale de pointage.

**ATTENTION DANGER**

Surtout ne pas chercher à observer  
le soleil avec le télescope.

**Risque de brûlures graves de l'oeil**

**B.1 - Les caractéristiques principales de l'ETX90PE-LNT****Optique :**

- > **Système optique :** Maksutov-Cassegrain
- > **Diamètre utile du miroir primaire :** 96mm
- > **Longueur focale :** 1250mm
- > **Rapport d'ouverture :** F/D 13.8
- > **Grossissement maximum théorique :** 225 x
- > **Lentilles correctrices :** Verres BK7 classe A

**Mécanique :**

- > **Diamètre du tube :** 10.4cm
- > **Longueur du tube :** 27.9cm
- > **Matériau du tube :** Aluminium
- > **Monture :** A fourche

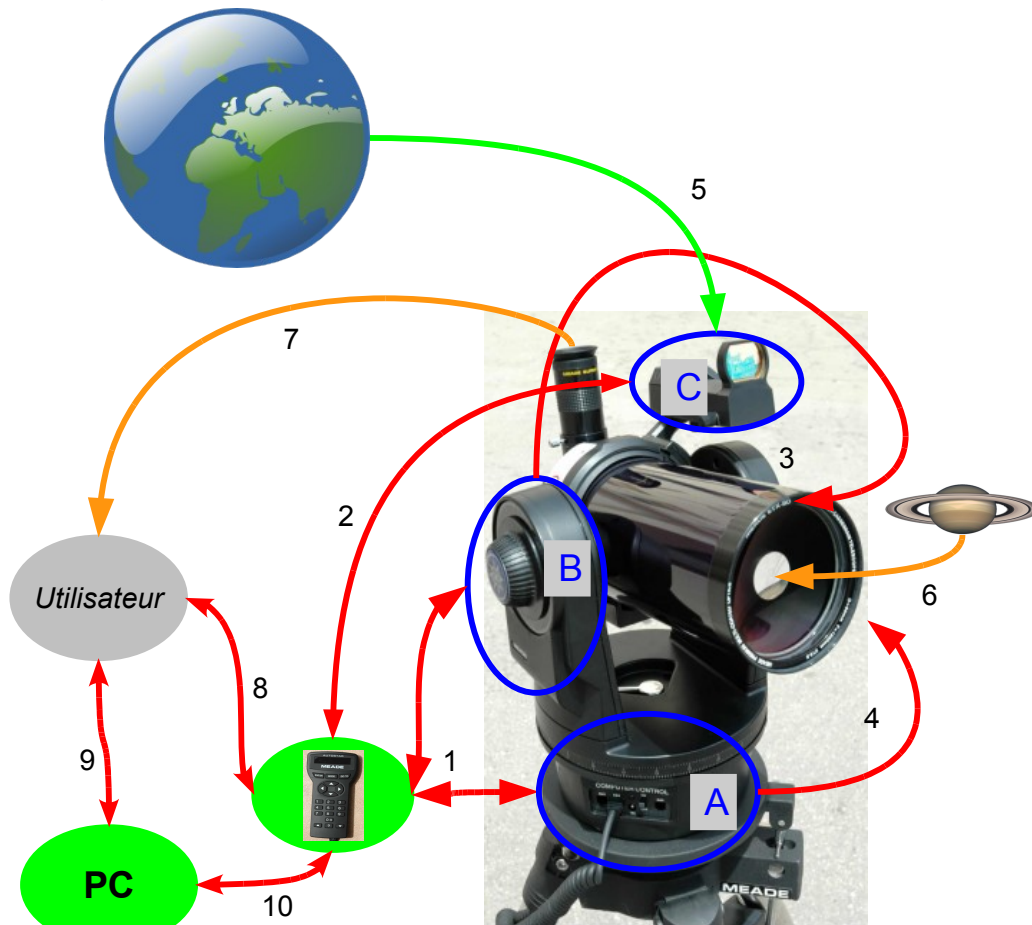
**Électrique :**

- > **Entraînement :** 2 moteurs à courant continu
- > **Commandes électroniques :** 9 (vitesses manuelles) sur les 2 axes
- > **Smartfinder :** diode (projection point rouge)
- > **Module LNT :**
  - niveau et boussole électroniques
  - horloge de précision
  - chercheur point rouge
- > **Alimentation :** continue 12V



## B.2 - Les objets techniques du système

### Diagramme sagittal



ETX-90PE

■ : Interfaces de commande

A: Embase motorisée

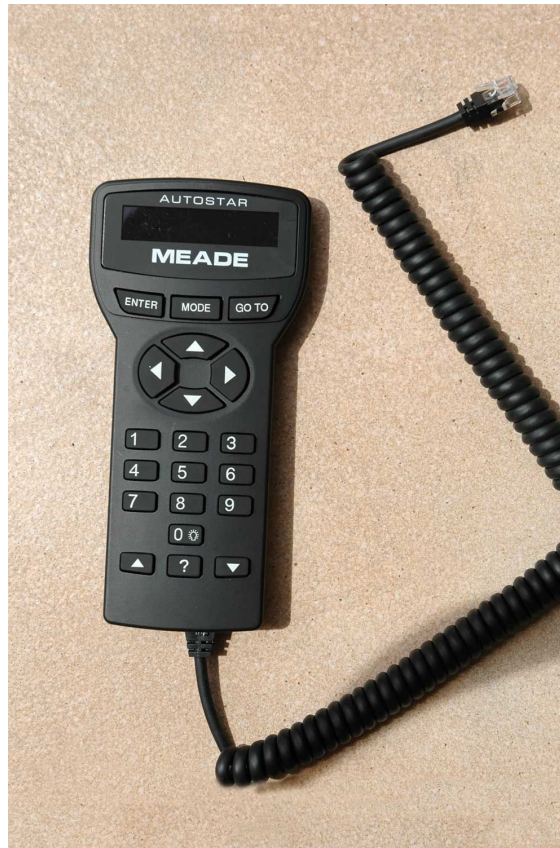
B: Fourche motorisée

C: Module LNT

Liaisons	Nature des informations échangées
1	Communication avec contrôleurs moteurs AZ et ALT
2	Communication avec module LNT
3	Rotation du tube autour de l'axe horizontal (ALT)
4	Rotation du tube autour de l'axe vertical (AZ)
5	Champ magnétique terrestre et inclinaison
6	Lumière de l'objet céleste observé
7	Image agrandie de l'objet céleste observé
8	Commandes du télescope et affichage menus et informations depuis/vers l'utilisateur
9	Commandes et affichage menus et informations depuis/vers l'utilisateur via PC
10	Informations de commande et de contrôle

### B.3 - La raquette de commande Autostar

À partir d'un « Autostar » de commande standard, il est possible de piloter facilement le fonctionnement du télescope ETX90. Reliée par un câble torsadé à l'embase du télescope, elle assure une commande ergonomique et conviviale.



**Elle se compose pour l'essentiel :**

- d'un clavier (20 touches)
- d'un affichage LCD rétroéclairé (2 lignes, 16 caractères)
- d'un PORT (HBX) de liaison vers un télescope ETX
- d'un PORT (RS-232) de communication vers un PC
- d'un éclairage d'appoint

**Voici les différentes fonctionnalités pouvant être commandées depuis l'Autostar :**

- **Pointage manuel** d'un objet céleste.
- **Pointage automatique** d'un objet quelconque à partir de ses coordonnées célestes.
- **Pointage automatique** du télescope vers chacun des 30000 objets pré-enregistrés.
- **Suivi automatique** d'un objet céleste.
- **Alignement automatique** (initialisation) du télescope.
- **Sélection de la vitesse** de rotation du télescope (9 vitesses disponibles)
- « **Visite guidée** » (présentation automatique des objets célestes les plus intéressants selon le lieu, la date et l'heure de l'observation)

D'autres fonctionnalités sont encore disponibles. Pour en savoir davantage sur celles-ci, se reporter à la notice d'utilisation du télescope.

### Le clavier de l'Autostar

Comme il a déjà été dit, le clavier de la raquette de commande dispose de **20 touches**. Voici un bref aperçu du rôle principal de chacune d'entre-elles :



### Les menus du fonctionnement proposés à l'affichage

La sélection des différents menus s'effectue de manière cyclique avec les touches de défilement (*après le dernier menu retour au premier*). Il est proposé, dans l'ordre, **6 menus** à l'utilisateur. De même, dans chaque menu sont proposés plusieurs sous-menus.

**Les six menus principaux sont :**



- Le menu **OBJET** associé à l'activité d'observation.
- Le menu **EVENEMENT** associé aux calculs en rapport des objets célestes observés (*heure, date...*)
- Le menu **TOUR GUIDE** (*visite guidée automatique du ciel*)
- Le menu **GLOSSAIRE** associé aux informations diverses d'astronomie. Il renseigne aussi sur les fonctions de l'Autostar.
- Le menu **UTILITES** propose des fonctions spéciales, options et réglages de l'Autostar. Citons en autres fonctions : un compte à rebours et une alarme.
- Le menu **SETUP** permet l'accès aux fonctions d'alignement du télescope. Il intègre aussi certains réglages d'optimisation du fonctionnement.

## B.4 - La motorisation du télescope

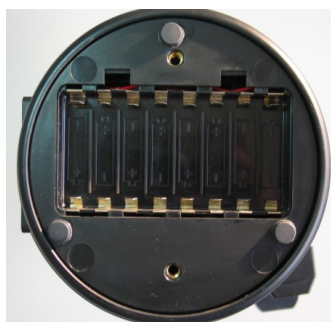
Le télescope ETX90-PE est prévu pour les deux types de monture : équatoriale et azimutale. Il est équipé à cet effet de **deux moteurs** à courant continu permettant son orientation automatique et le suivi des objets célestes en cours d'observation.

Les mouvements de rotation extrêmes sont limités pour protéger le télescope :

- Vers le bas, l'angle de rotation du tube optique est de 30° maximum.
- Vers le haut, il ne peut excéder 90° afin de ne pas endommager le smartfinder.
- Dans le plan horizontal, la rotation est de pratiquement 2 tours.

Embase	Fourche
	
Un <b>premier moteur</b> et son électronique de commande sont implantés dans l'embase servant de support au télescope. <b>Il assure la rotation du tube autour de l'axe vertical.</b>	Un <b>second moteur</b> et sa commande prennent place au niveau de la fourche. <b>Il assure la rotation du tube autour de l'axe horizontal.</b>

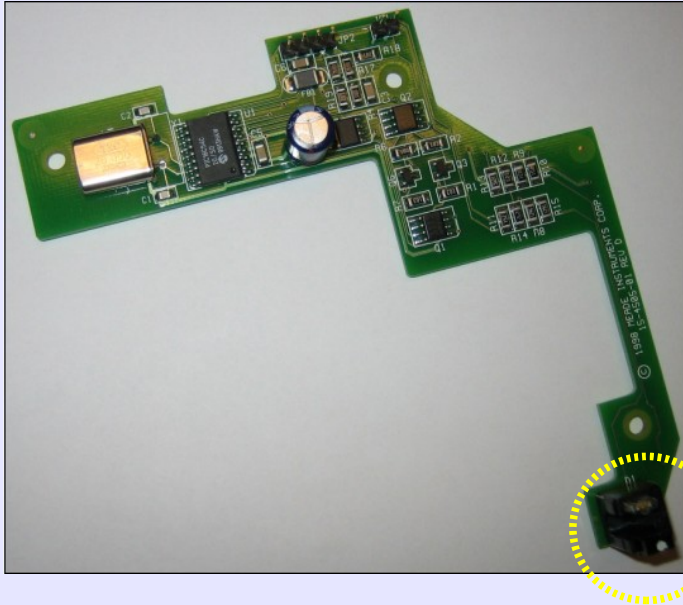
Remarque : Sous l'embase se trouve le compartiment des 8 piles AA pour alimenter le télescope en toute autonomie. Il existe également un adaptateur 230V/12V (référence : #541) pour l'alimenter à partir d'une prise secteur.





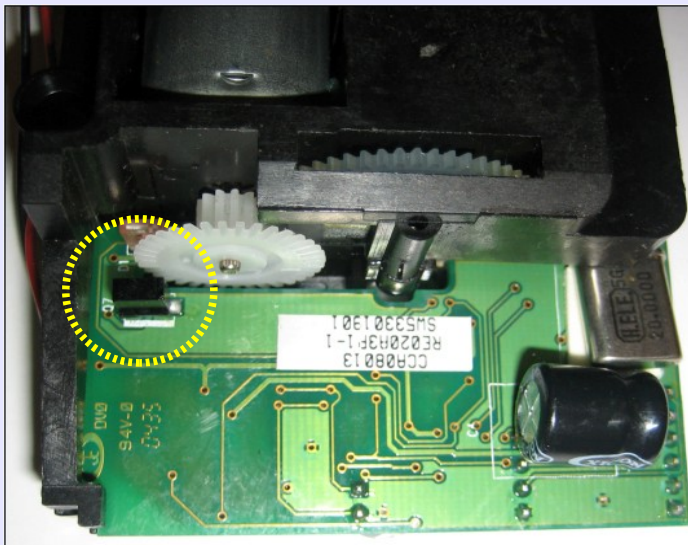
### Les cartes moteurs

La structure électronique des deux cartes de commande moteur est identique. Seul leur aspect physique diffère pour permettre leur implantation dans l'embase et la fourche du télescope.



Vue de la carte de commande  
*du moteur d'azimut*  
positionnée dans l'embase du  
télescope.

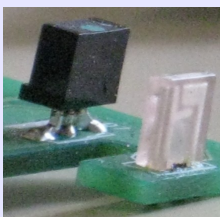
On remarque le capteur  
optique déporté en bas à  
gauche de la carte.



Vue de la carte de commande  
*du moteur d'altitude*  
positionnée dans la fourche du  
télescope.

Sur la gauche, le capteur  
optique est bien visible.

Les cartes électroniques réalisent un **asservissement de la position** du tube optique en fonction des consignes envoyées par la raquette et des informations issues des différents capteurs.



Carte ALT



Carte AZ

Capteurs optiques utilisés pour la détection  
des positions ALT/AZ.

## B.5 - Le panneau de contrôle



On distingue au niveau de ce panneau de contrôle solidaire de l'embase motorisée :

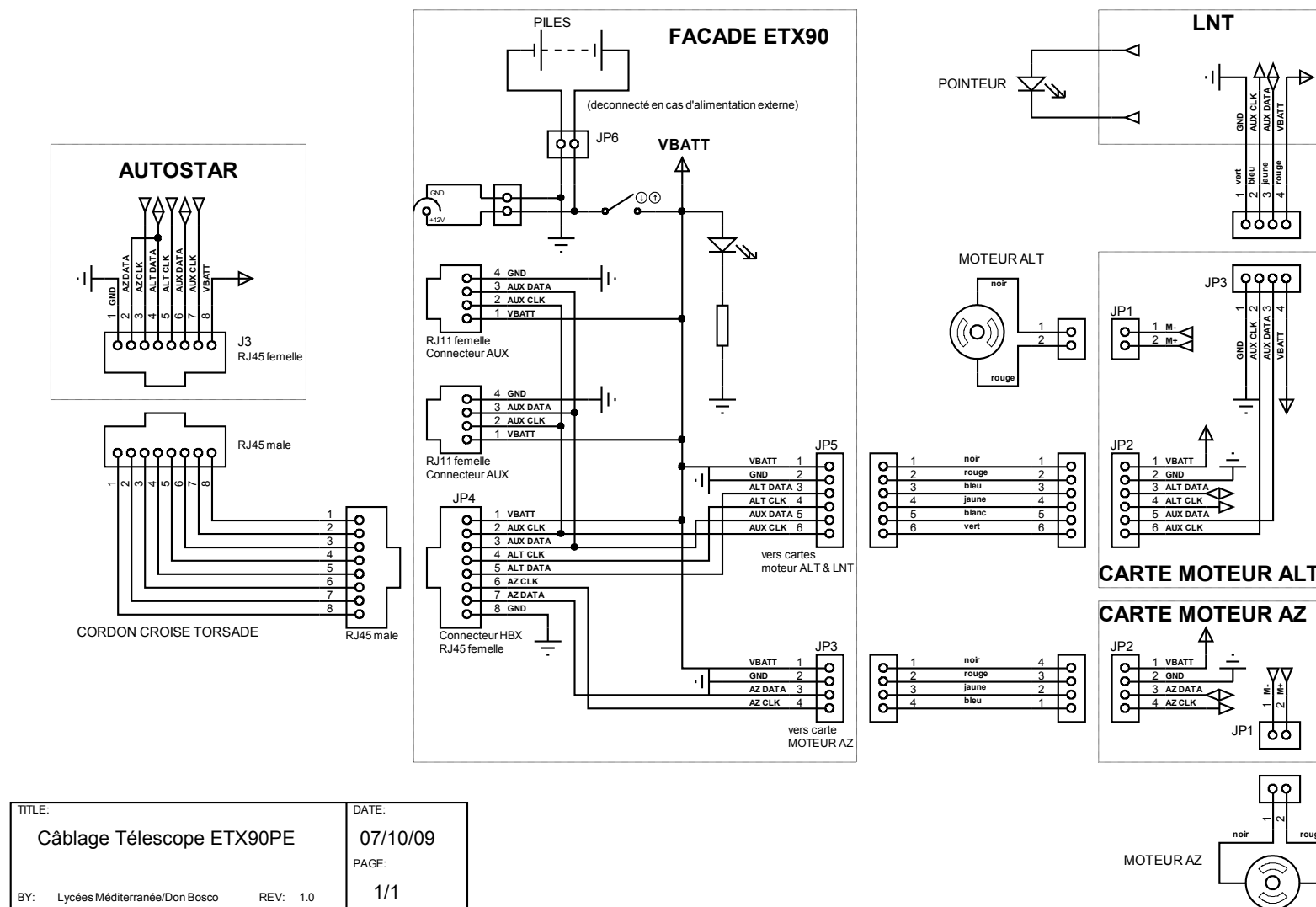
- Un port **HBX** pour se connecter à une raquette de commande « Autostar ».
- Deux ports **AUX** permettant de connecter des dispositifs auxiliaires Meade.
- Une fiche pour recevoir une alimentation **12 V** depuis un adaptateur Meade.
- Une **LED** témoin de présence d'alimentation.
- Un **interrupteur** à 2 positions (*on/off*) pour la mise en service du télescope.

Il est intéressant à ce niveau de la description du télescope de préciser quelques accessoires optionnels Meade :

Désignation	Référence
Kit de câbles de connexion PC	#505
Système de mise au point électrique	#1244-105
Adaptateur photo 35mm	#64 T
Caméra CCD couleur (Deep Sky Imager)	D.S.I
Adaptateur alimentation 230V/12V	#541

Remarque : Le module L.N.T. est un accessoire déjà intégré à notre modèle de télescope.

Schéma des liaisons entre les objets techniques du système

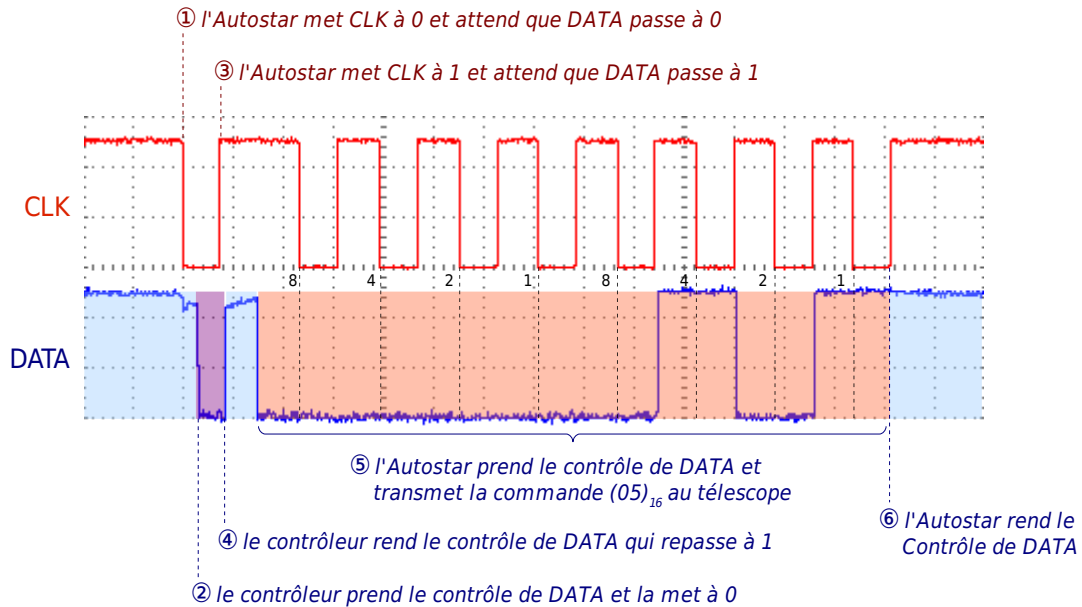


### Protocole de communication Autostar/contrôleur moteur

La communication entre l'Autostar (raquette) et les cartes moteurs est assurée par deux lignes de transmission. Le principe retenu est celui de la **transmission série synchrone** de l'information ; soit une ligne pour le transport des données à échanger, et une ligne pour la synchronisation de l'échange. L'Autostar a toujours à sa charge le contrôle de la synchronisation. Par contre, la ligne de donnée est partagée selon que la raquette envoie ou réceptionne des informations.

Une communication ne pourra commencer qu'à l'initiative de l'Autostar. Elle débutera par l'envoi d'un octet de commande. Il pourra suivre un ou plusieurs octets de données. Les bits des octets seront envoyés sur des fronts montants du signal de synchronisation (horloge), et réceptionnés sur des fronts descendants.

*Exemple d'envoi d'un code de commande :*



*Pour plus de détails, voir l'annexe D1*



## B.6 - Le module Level North Technology (L.N.T.):

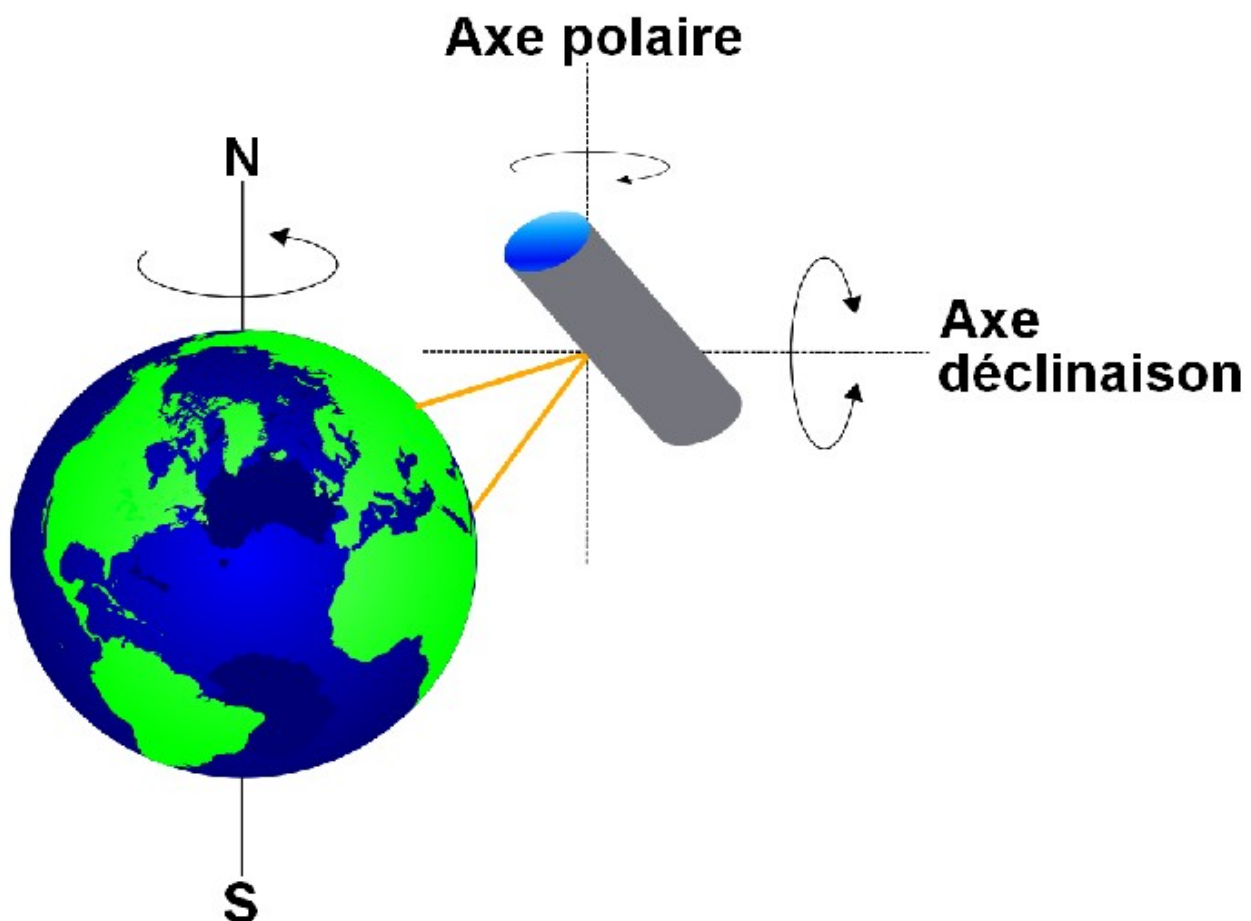
### Introduction

L'**alignement**, aussi appelé mise en station, est l'opération qui consiste à préparer le positionnement du télescope afin de le mettre dans le même repère que celui de la carte du ciel. Ainsi, il pourra pointer précisément un objet céleste grâce à ses coordonnées. L'alignement d'un télescope classique (sans L.N.T.) est assez délicat. Il faut placer le trépied bien à plat à l'aide d'un niveau à bulle, pointer l'étoile polaire afin de déterminer le nord, régler l'inclinaison de la monture en fonction de la latitude du lieu d'observation.

Le L.N.T. permet de simplifier considérablement cette procédure. Grâce à l'**alignement automatique**, il n'est plus nécessaire de placer le trépied bien à plat (le L.N.T. mesure le défaut de planéité et « l'Autostar » en tient compte pour ses calculs), le nord est détecté automatiquement.

En mode automatique, **la mesure de l'inclinaison du télescope et la détection du nord précèdent le pointage des deux étoiles**. Ensuite l'observation de n'importe quel objet céleste parmi les 30000 référencés dans la base de données de « l'Autostar » devient possible.

Remarque : Lors du pointage automatique, il sera demandé à l'utilisateur de centrer l'étoile concernée dans l'oculaire.



Source Wikipédia

### Présentation

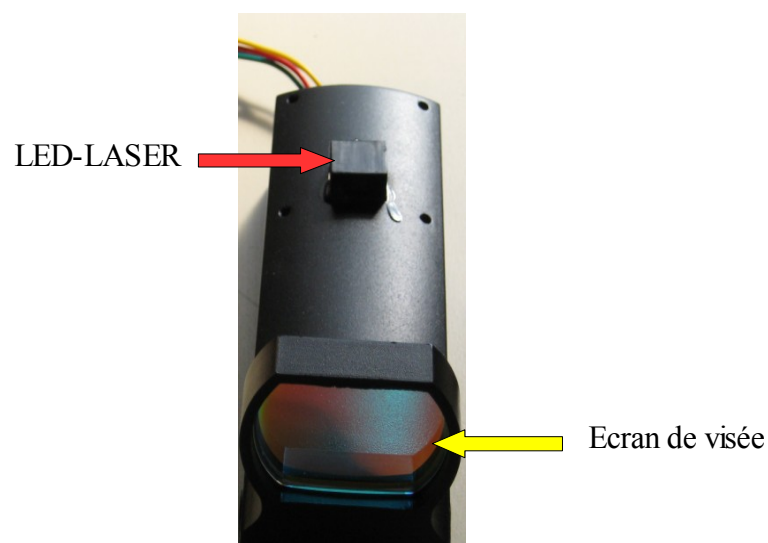
Le télescope ETX90-PE dispose de la **technologie L.N.T. Meade** pour faciliter son initialisation. Celle-ci est indispensable pour assurer une observation de qualité et un bon suivi des corps célestes.



Module L.N.T.

Lors de la phase d'initialisation du télescope dite de l'alignement, il est demandé à l'utilisateur d'indiquer le lieu de l'observation. « L'Autostar » en relation avec le module L.N.T. **détecte alors automatiquement l'altitude de la position et l'inclinaison du télescope, ainsi que le nord magnétique.** Il suit immédiatement après la phase d'alignement, c'est-à-dire le pointage des deux étoiles les plus brillantes dans la partie du ciel observée. (Un alignement sur une seule étoile est également possible, mais moins précis).

Pour faciliter le pointage vers l'étoile choisie un dispositif de type « laser point rouge » (smartfinder) est associé au module L.N.T. .

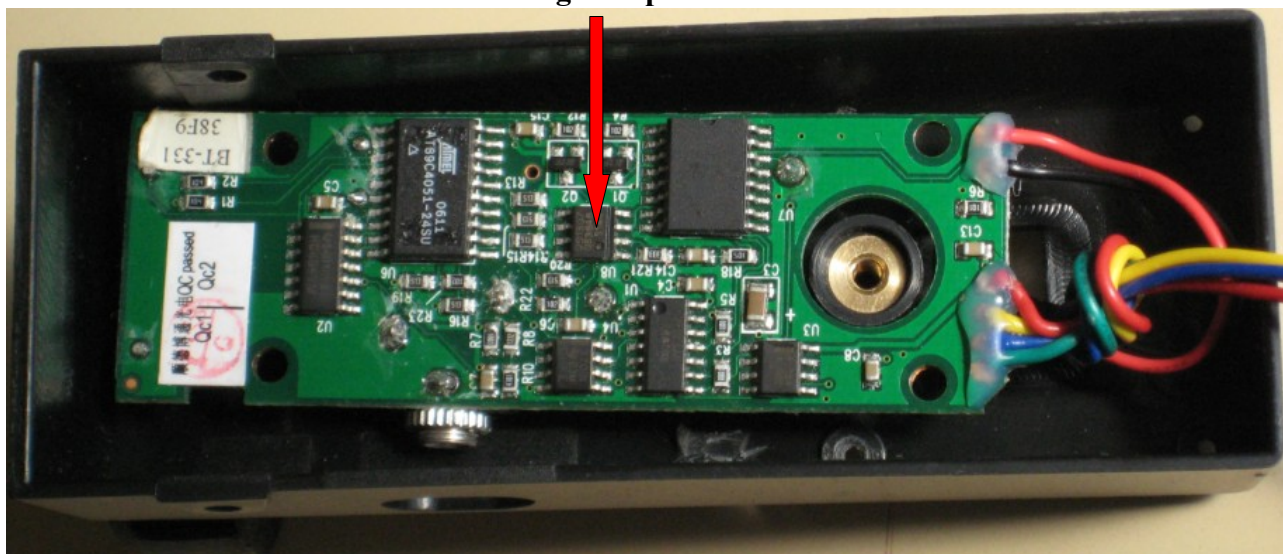


*Smartfinder*

Photos des deux faces de la carte électronique du L.N.T.

Carte côté circuits intégrés

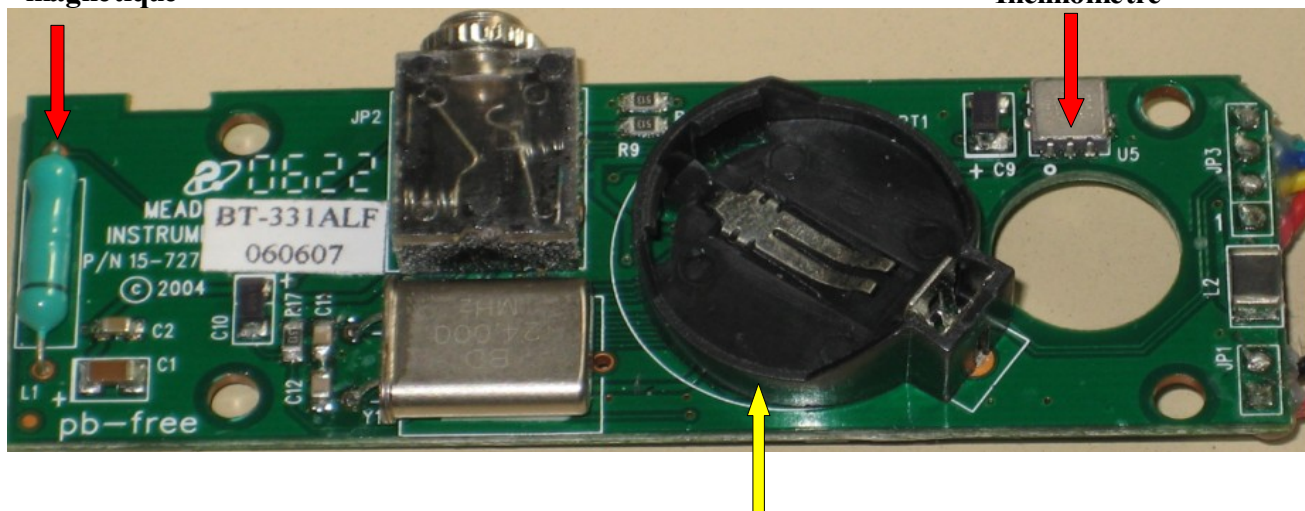
Horloge temps réel



Carte côté capteurs et pile

Capteur de champ  
magnétique

Inclinomètre



Support de pile

### Protocole de communication Autostar/module LNT

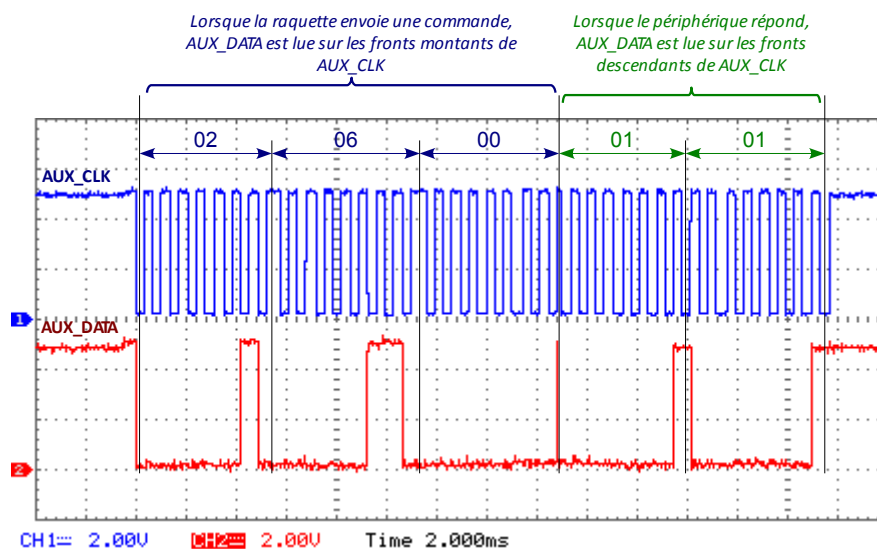
Le module L.N.T. n'est autre qu'un accessoire auxiliaire déjà intégré à l'ETX90PE-LNT. Bien sûr, d'autres dispositifs, tel un module de commande automatique de mise au point par exemple, peuvent être reliés au télescope depuis le port AUX prévu à cet effet. Le protocole de communication décrit ci-dessous est valable quel que soit l'accessoire auxiliaire utilisé.

Il s'agit d'une communication du type **série synchrone « maître/esclave » bidirectionnelle**. La raquette « Autostar » est le maître et le module LNT (ou tout autre accessoire) l'esclave. Toute communication débute par l'envoi d'un message de la part de la raquette. Celui-ci est constitué d'une suite d'octets envoyés dans l'ordre suivant :

- Un octet indiquant le nombre d'octets du message.
- Un octet représentant l'adresse du module (le LNT dans notre cas).
- Un ou plusieurs octets correspondant à la commande à exécuter.

Le module correspondant répond à la requête de l'Autostar par l'envoi d'une suite d'octets dans l'ordre suivant :

- Un octet indiquant le nombre d'octets du message.
- Un ou plusieurs octets correspondant à la réponse du module.



Pour plus de détails, voir l'annexe D2



C - Le Système didactisé



## C.1 - Présentation / compatibilité

### Présentation

#### Fonction globale du système étudié:

Le système étudié **facilite l'observation** d'un objet difficilement observable.

#### Autres systèmes ou objets techniques ayant la même fonction globale:

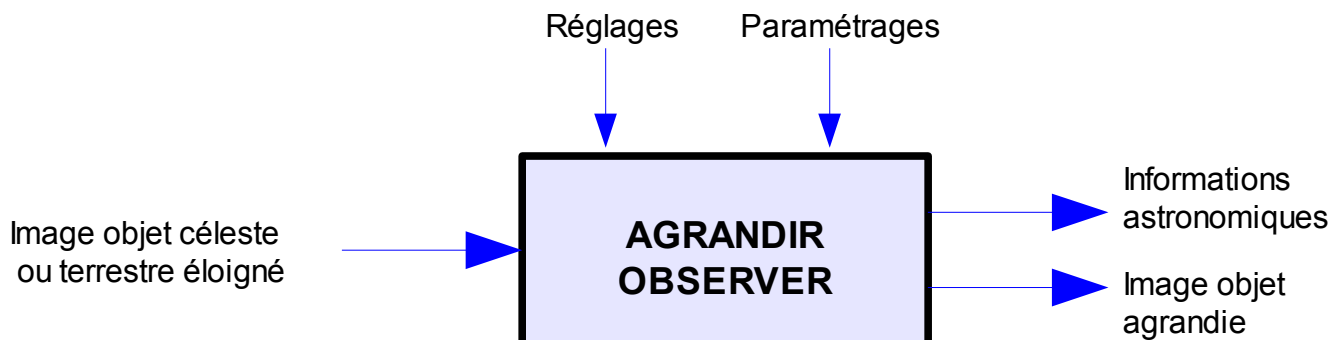
Loupe, microscope  
Lunette, jumelles

#### Fonction d'usage du système:

Il permet **d'agrandir l'image** d'un objet éloigné, céleste ou terrestre, afin de faciliter son observation.

Il permet le **pointage et le suivi automatique** de l'objet céleste observé

#### Schéma fonctionnel de niveau 2:

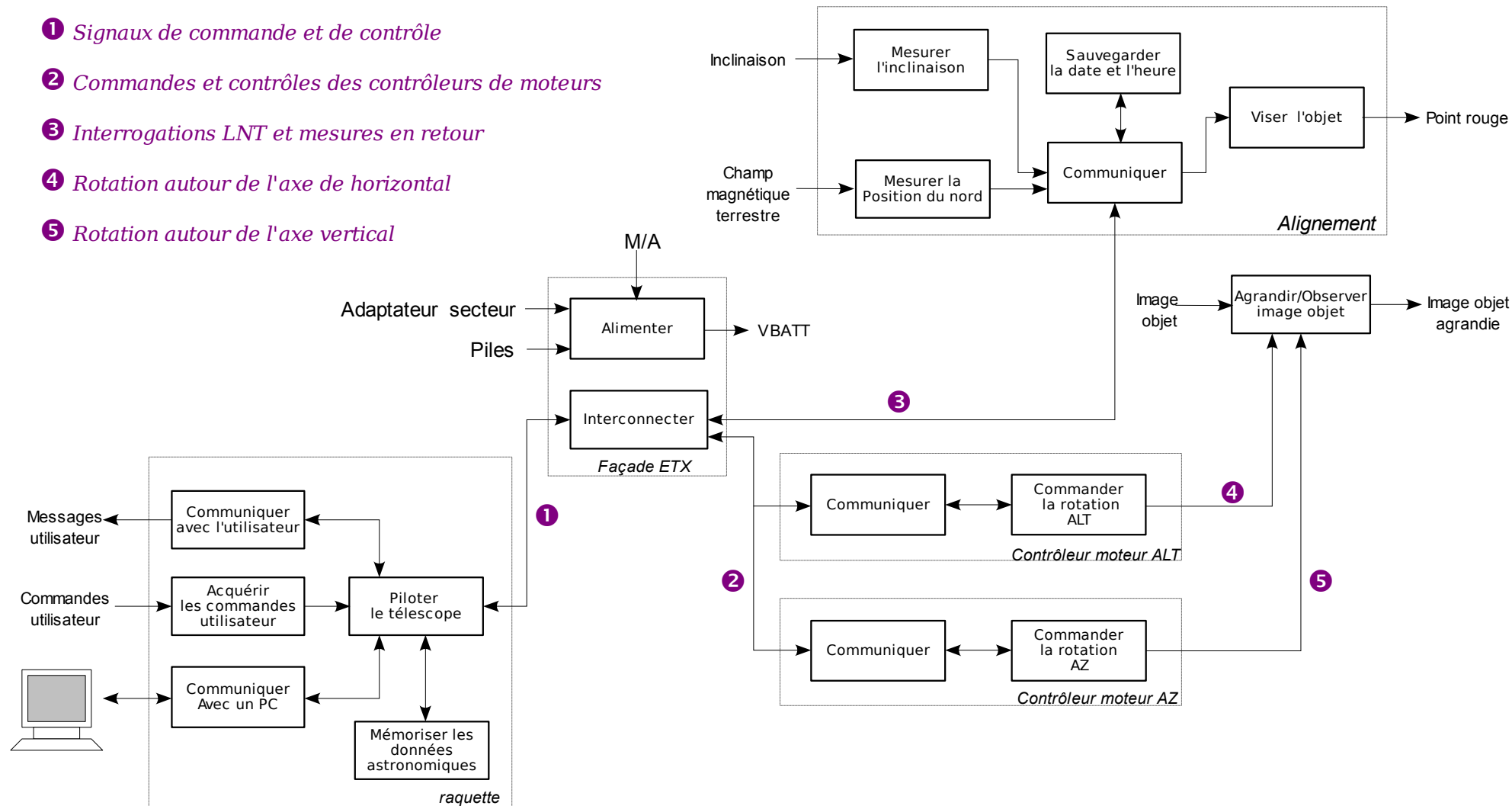


## Analyse fonctionnelle de degré 1

O.T. Étudié Fonctions

O.T.	Matériels	Photos	Informations /entrées	Fonctions	Informations /sorties
ETX 90-PE	Smart Finder		Configuration Led : - temps d'allumage - temps d'extinction - intensité	VISER	Clignotement Led
	Module LNT		Champ magnétique terrestre Inclinaison télescope  Réglage heure et date	MESURER  MEMORISER	Infos numériques : - position du nord - inclinaison - Date et heure
	Tube optique		Image d'objets célestes	AGRANDIR OBSERVER	Image agrandie
	Fourche  Support motorisé		Commandes des rotations ALT et AZ	POSITIONNER SUIVRE	Rotations : - azimuth - altitude  Valeurs numériques des déplacements angulaires effectués
Autostar	Raquette de commande		Configurations et commandes utilisateur  Infos numériques : - déplacements angulaires effectués - inclinaison - position du nord - date et heure	PILOTER	Messages utilisateur  Commandes des rotations ALT et AZ  Réglage heure et date  Configuration Smartfinder

Schéma fonctionnel de degré 1





## Compatibilités

Les objets techniques raquette, embase motorisée et module L.N.T. sont étudiés à partir de cartes électroniques développées de manière à fonctionner conformément à leurs modèles originaux respectifs. **Les compatibilités suivantes sont respectées :**



Commande du télescope depuis  
une carte « raquette ».  
(en remplacement de  
« l'Autostar »)



Remplacement de la carte  
contrôleur moteur AZ  
(avec commande par Autostar)



Commande du « Smartfinder »  
par raquette via carte  
d'alignement.



Remplacement du L.N.T. par  
carte d'alignement et commande  
par raquette.

## C.2 - La raquette

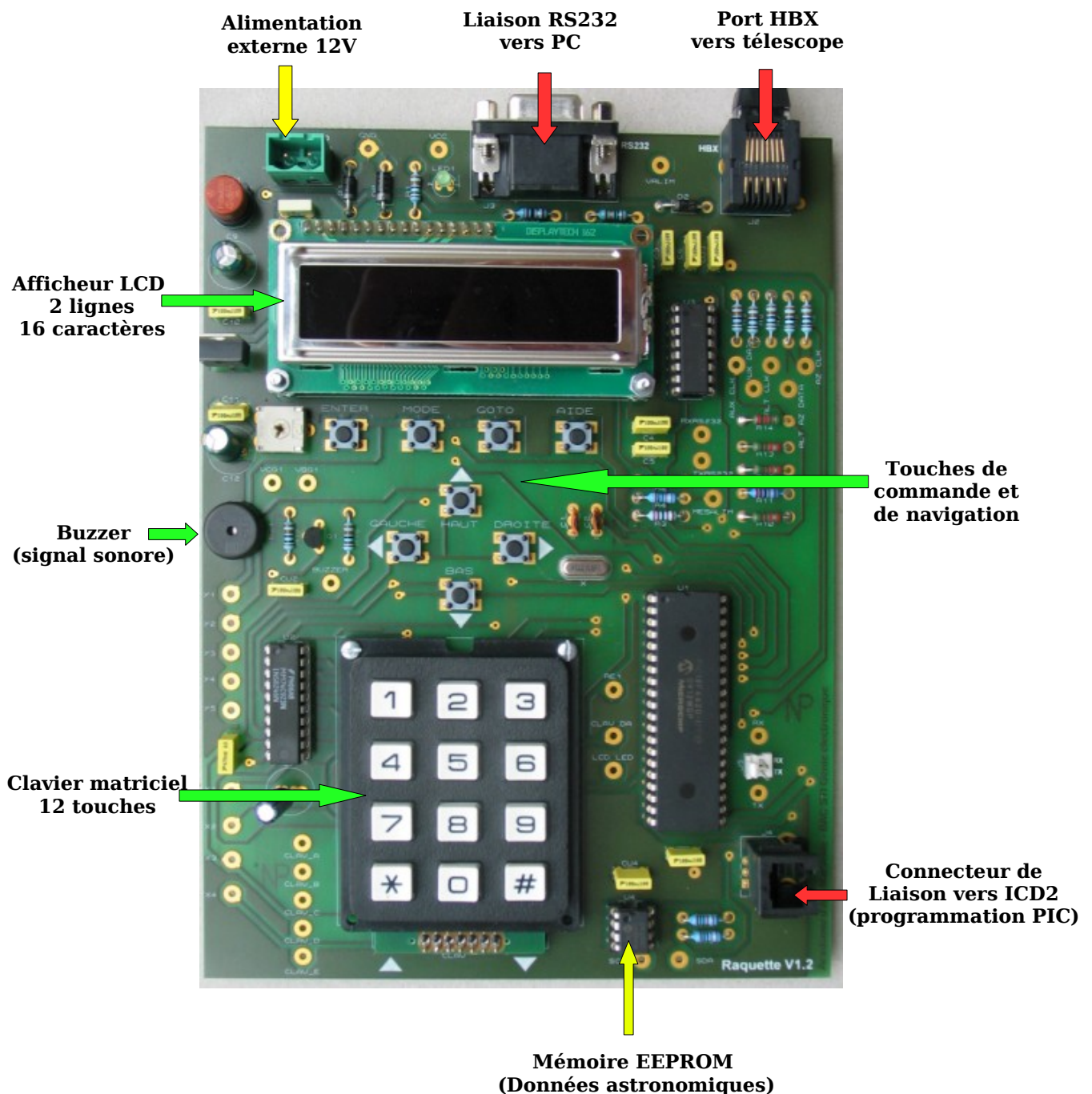
### Présentation

La raquette didactisée reprend la plupart des fonctionnalités de l'Autostar, mais elle ne réalise pas les calculs astronomiques permettant de pointer automatiquement les objets célestes.

La connexion avec un PC se fait en utilisant un connecteur RS232 type DB9 standard.

Il est possible d'alimenter la carte soit via le télescope avec le cordon HBX ou avec une alimentation externe.

**Attention** : le cordon HBX se connecte via une embase RJ45 mais ce cordon n'est pas compatible avec un câble réseau.



## Utilisation de la raquette didactisée

La raquette peut fonctionner dans 2 modes différents :

### **Le mode « Pilotage »**

Ce mode permet de piloter le télescope sur les 2 axes ou la carte contrôleur moteur seule.

La raquette commence par tester la communication avec les contrôleurs moteurs et le LNT (ou la carte alignement).

La présence du contrôleur moteur d'azimut est nécessaire pour le fonctionnement dans ce mode.

Le fonctionnement est similaire à celui de l'Autostar :

- Les 4 touches de direction commandent les rotations.
- Les chiffres de 1 à 9 permettent de sélectionner la vitesse.
- La touche « 0 » remet à zéro la position affichée.
- Les touches \* et # permettent de passer l'affichage de la position en degré ou en nombre de pas.
- La touche ENTER permet d'entrer dans un menu.
- La touche MODE permet de remonter au niveau supérieur.

Menus disponibles :

<b>&lt; Configuration &gt;</b>	<b>&lt; Information &gt;</b>
→Date	→Date & heure
→Heure	→Calib. Capteurs
→Calib. Capteurs	
→Intensité LCD	
→Chercheur	

Attention : il est nécessaire d'effectuer une calibration des capteurs à chaque fois que vous changez le matériel piloté par la raquette (télescope ou contrôleur moteur).

### **Le mode « Test » (Appuyer sur la touche « 0 » à la mise sous tension).**

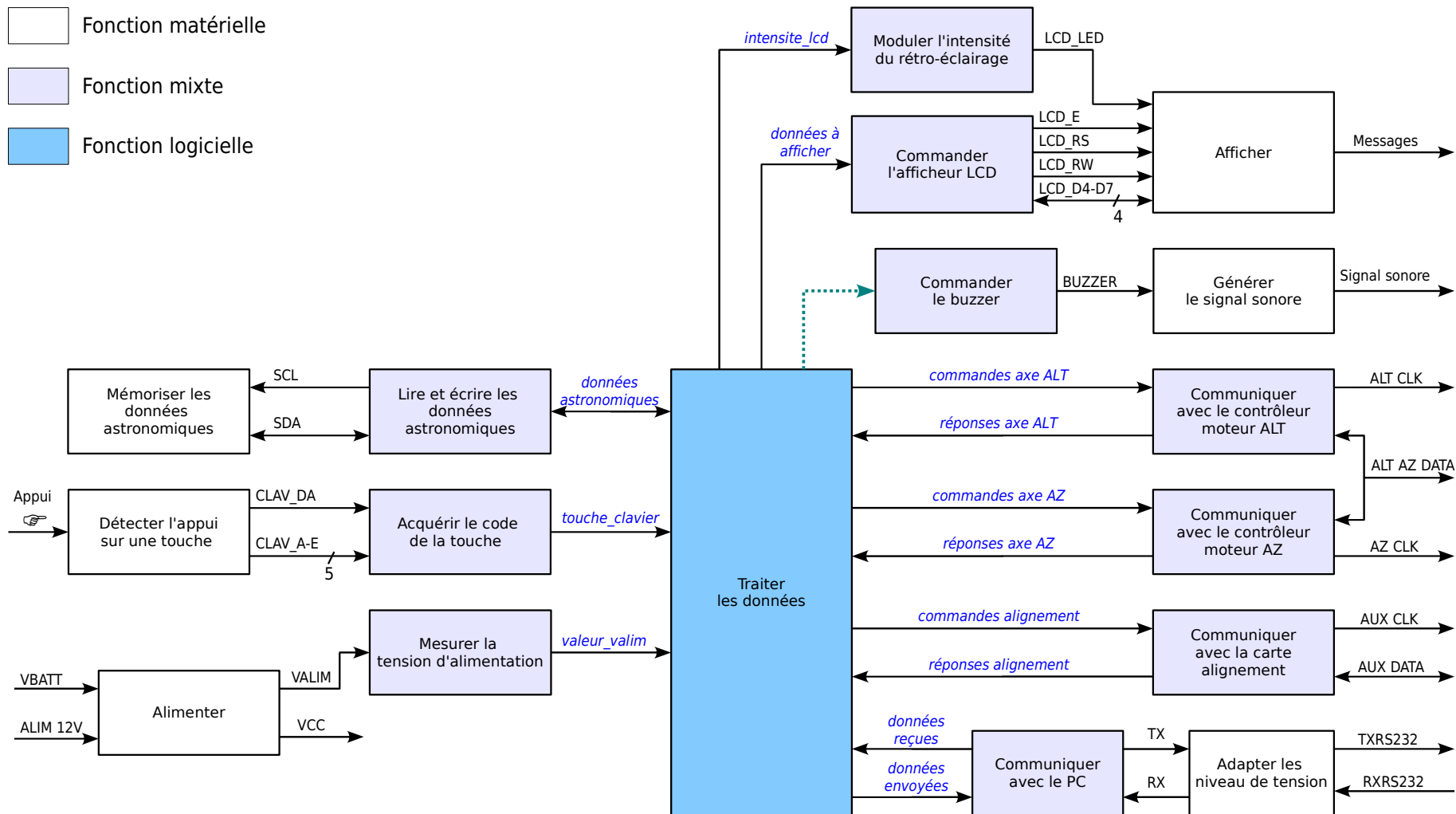
Ce mode permet de tester les différentes cartes.

- La navigation dans les menus se fait avec les touches \* et # ou les flèches de direction.
- La touche ENTER permet d'entrer dans un menu ou dans un test.
- La touche MODE permet de remonter au niveau supérieur ou de sortir d'un test.

Menus disponibles :

<b>&lt; Test Raquette &gt;</b>	<b>&lt; Test LNT &gt;</b>	<b>&lt; Test moteurs &gt;</b>
→Clavier	→Recherche LNT	→Comm. Moteurs
→Luminosité LCD	→Mesure Nord	→Calib. Capteurs
→Buzzer	→Mesure Niveau	
→Mesure VALIM	→Mesure Tilt	
→Write MEM_I2C	→Clign Chercheur	
→Read MEM_I2C	→Reglage Date	
→Trans RS232	→Lecture Date	
→Recept RS232		

## Schéma fonctionnel de degré 2





## Analyse fonctionnelle

### Fonction « Alimenter »

Cette fonction fournit une tension  $VCC = +5V$  à partir d'une source de tension issue du télescope (environ 12V) ou éventuellement d'une source externe pour une utilisation sans le télescope. Elle génère également une tension VALIM qui est utilisée par le PIC pour mesurer la tension d'alimentation et indiquer si les piles sont déchargées.

L'alimentation est protégée contre les surintensités, les surtensions et les inversions de polarité.

#### Entrées :

- VBATT : Tension d'alimentation issue du télescope d'environ 12V continu (8 piles).
- ALIM 12V : Tension d'alimentation issue d'une alimentation de laboratoire pour utilisation sans le télescope.

#### Sorties :

- VCC : Tension 5V régulée.
- VALIM : Tension d'alimentation de la carte.

### Fonction « Mesurer la tension d'alimentation »

Cette fonction mesure la valeur de la tension d'alimentation afin de prévenir l'utilisateur en cas de batteries faibles.

#### Entrée :

- VALIM : Tension d'alimentation de la carte.

#### Sortie :

- valeur\_valim : variable contenant la valeur de la tension d'alimentation.

### Fonction « Détecter l'appui sur une touche »

Cette fonction détecte et prévient le microcontrôleur d'un appui de l'utilisateur sur le clavier ou un bouton-poussoir.

#### Entrée :

- Appui sur une touche du clavier ou un bouton-poussoir

#### Sorties :

- CLAV DA : Signal logique indiquant qu'une touche a été appuyée.
- CLAV A-E : Code binaire de 5 bits correspondant à la touche du clavier appuyée.

### Fonction « Acquérir le code de la touche »

Cette fonction permet de lire et de mémoriser le code de la touche appuyée.

#### Entrées :

- CLAV DA : Signal logique indiquant qu'une touche a été appuyée.
- CLAV A-E : Code binaire de 5 bits correspondant à la touche du clavier appuyée.

#### Sortie :

- touche\_clavier : variable de 8 bits contenant le code de la touche appuyée.

**Fonction « Mémoriser les données astronomiques »**

Cette fonction permet de mémoriser les données astronomiques dans une mémoire EEPROM. La communication entre le microcontrôleur et l'EEPROM se fait avec le protocole I<sup>2</sup>C.

**Entrée :**

- SCL : Signal d'horloge du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Entrée / Sortie :**

- SDA : Signal logique de données du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Fonction « Lire & écrire les données astronomiques »**

Cette fonction permet de lire ou écrire les données astronomiques dans la mémoire EEPROM.

**Entrées / Sorties :**

- Données astronomiques à lire ou écrire dans l'EEPROM.
- SDA : Signal logique de données du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Sortie :**

- SCL : Signal d'horloge du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Fonction « Communiquer avec le PC »**

Cette fonction permet la communication avec un PC grâce à une liaison série à la norme RS232 (9600 bauds – 8 bits de données – 1 bit de stop – pas de parité).

Celle-ci permet par exemple de communiquer la position du télescope au logiciel « Stellarium » ou de mettre à jour les données astronomiques mémorisées.

**Entrées :**

- RX : Signal logique des données reçues en provenance du PC.
- Données à envoyées au PC.

**Sorties :**

- TX : Signal logique des données émises à destination du PC.
- Données reçues du PC.

**Fonction « Adapter les niveaux de tension »**

Cette fonction permet d'adapter les niveaux de tensions des signaux RX et TX à la norme RS232.

**Entrées :**

- TX : Signal logique des données émises à destination du PC
- RXRS232 : Signal compatible avec la norme RS232, porteur des données reçues du PC.

**Sorties :**

- RX : Signal logique des données reçues en provenance du PC
- TXRS232 : Signal compatible avec la norme RS232, porteur des données envoyées au PC

**Fonction « Communiquer avec la carte alignement »**

Cette fonction permet à la raquette de communiquer avec la carte alignement (ou le LNT) via le bus AUX du télescope suivant le protocole décrit dans [l'annexe D2](#).

**Entrée :**

- Commandes à transmettre à la carte alignement.

**Sorties :**

- AUX CLK : Signal d'horloge du bus AUX.
- Réponses de la carte alignement.

**Entrée / Sortie :**

- AUX DATA : signal logique de donnée du bus AUX.

**Fonction « Communiquer avec le contrôleur moteur AZ »**

Cette fonction permet d'envoyer des commandes au contrôleur moteur d'azimut. Le protocole de communication entre la raquette et les contrôleurs de moteurs est décrit dans [l'annexe D1](#).

**Entrée :**

- Commandes à transmettre au contrôleur d'azimut.

**Sorties :**

- AZ CLK : Signal d'horloge de la communication avec le contrôleur moteur AZ.
- Réponses du contrôleur moteur d'azimut.

**Entrée / Sortie :**

- ALT AZ DATA : Signal logique de donnée de la communication avec le contrôleur moteur AZ.

**Fonction « Communiquer avec le contrôleur moteur ALT »**

Cette fonction permet d'envoyer des commandes au contrôleur moteur d'altitude. Le protocole de communication entre la raquette et les contrôleurs de moteurs est décrit dans [l'annexe D1](#).

**Entrée :**

- Commandes à transmettre au contrôleur d'altitude.

**Sorties :**

- ALT CLK : Signal d'horloge de la communication avec le contrôleur moteur ALT.
- Réponses du contrôleur moteur d'altitude.

**Entrée / Sortie :**

- ALT AZ DATA : Signal logique de donnée de la communication avec le contrôleur moteur ALT.



**Fonction « Commander le buzzer »**

Cette fonction permet de générer le signal de commande du buzzer de la raquette. Elle est appelée par la fonction « Traiter les données ».

**Sortie :**

- BUZZER : Signal logique commandant l'émission de bip sonore.

**Fonction « Générer le signal sonore »**

Cette fonction permet d'émettre un signal sonore lors de certaines phases du fonctionnement du télescope.

**Entrée :**

- BUZZER : Signal logique commandant l'émission de bip sonore.

**Sortie :**

- Signal sonore.

**Fonction « Commander l'afficheur LCD »**

Cette fonction génère les signaux de commande de l'afficheur LCD de la raquette.

**Entrée :**

- Données à afficher sur l'afficheur LCD.

**Sorties :**

- LCD\_RS, LCD\_RW, LCD\_E : Signaux logiques de contrôle de l'afficheur LCD.

**Entrées / Sorties :**

- LCD\_D4 à LCD\_D7 : ½ octet de commande ou de donnée de l'afficheur LCD.

**Fonction « Moduler l'intensité du rétro-éclairage »**

Cette fonction module le rapport cyclique du signal de commande du rétro-éclairage de l'afficheur LCD afin de régler sa luminosité.

**Entrée :**

- intensite\_lcd : variable de 8 bits correspondant à l'intensité désirée.

**Sortie :**

- LCD\_LED : Signal logique de commande du rétro-éclairage.

**Fonction « Afficher »**

Cette fonction affiche les messages sur l'écran LCD de la raquette.

**Entrées :**

- LCD\_LED : Signal logique de commande du rétro-éclairage.
- LCD\_RS, LCD\_RW, LCD\_E : Signaux logiques de contrôle de l'afficheur LCD.

**Sortie :**

- Messages : Menus et informations à destination de l'utilisateur.

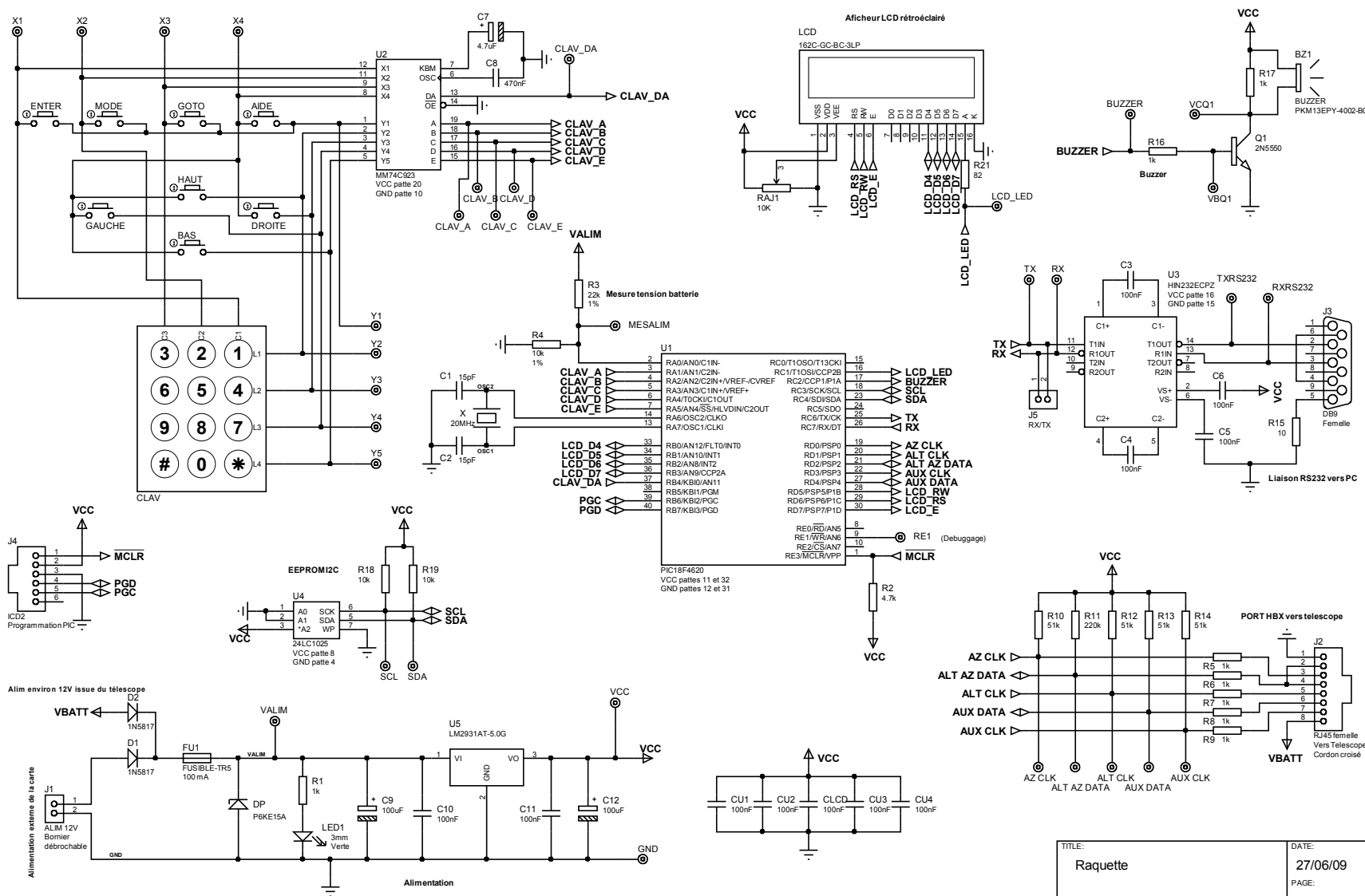
**Entrées / Sorties :**

- LCD\_D4 à LCD\_D7 : ½ octet de commande ou de donnée de l'afficheur LCD.

**Fonction « Traiter les données »**

Cette fonction exclusivement logicielle prend en compte les informations du système pour élaborer les commandes et contrôles du télescope ainsi que la communication avec l'utilisateur.

# Schéma structurel



TITLE:	DATE:
Raquette	27/06/09
BY: Lycées Méditerranée/Don Bosco	PAGE:
REV: 1.3	1/1

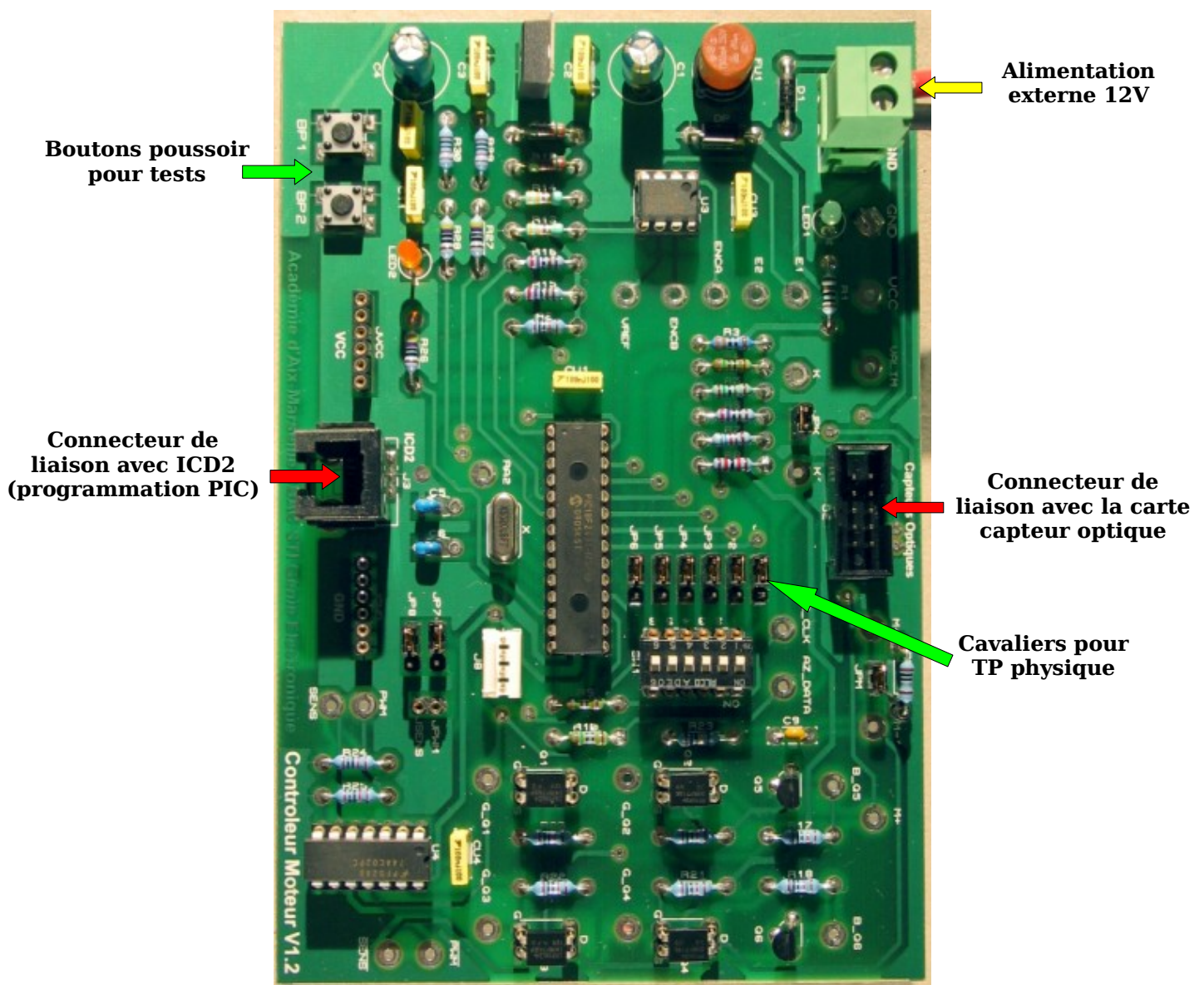
### C.3 - Le contrôleur moteur d'azimut

#### Présentation

Le contrôleur moteur reprend toutes les fonctionnalités de la carte d'origine. Il est muni en plus de cavaliers, de mini-interrupteurs, de support de connexions, de deux boutons poussoirs et d'une LED.

- Lorsque les cavaliers sont sur la position de gauche, la carte fonctionne normalement (pilotée par le microcontrôleur).
- Lorsque les cavaliers sont sur la position de droite, le microcontrôleur est déconnecté pour les TP de physique appliquée.
- Les 2 boutons poussoirs BP1 et BP2 ainsi que la LED2 ont été ajoutés afin de pouvoir faire des tests sans utiliser la raquette.

Il est possible d'alimenter la carte soit par le télescope avec le cordon HBX soit avec une alimentation externe.

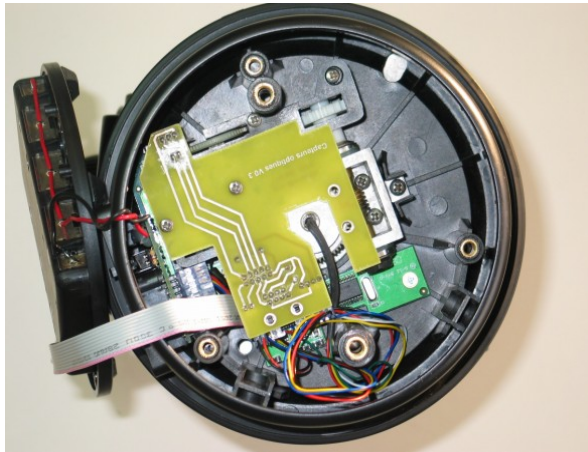


### Carte capteur optique

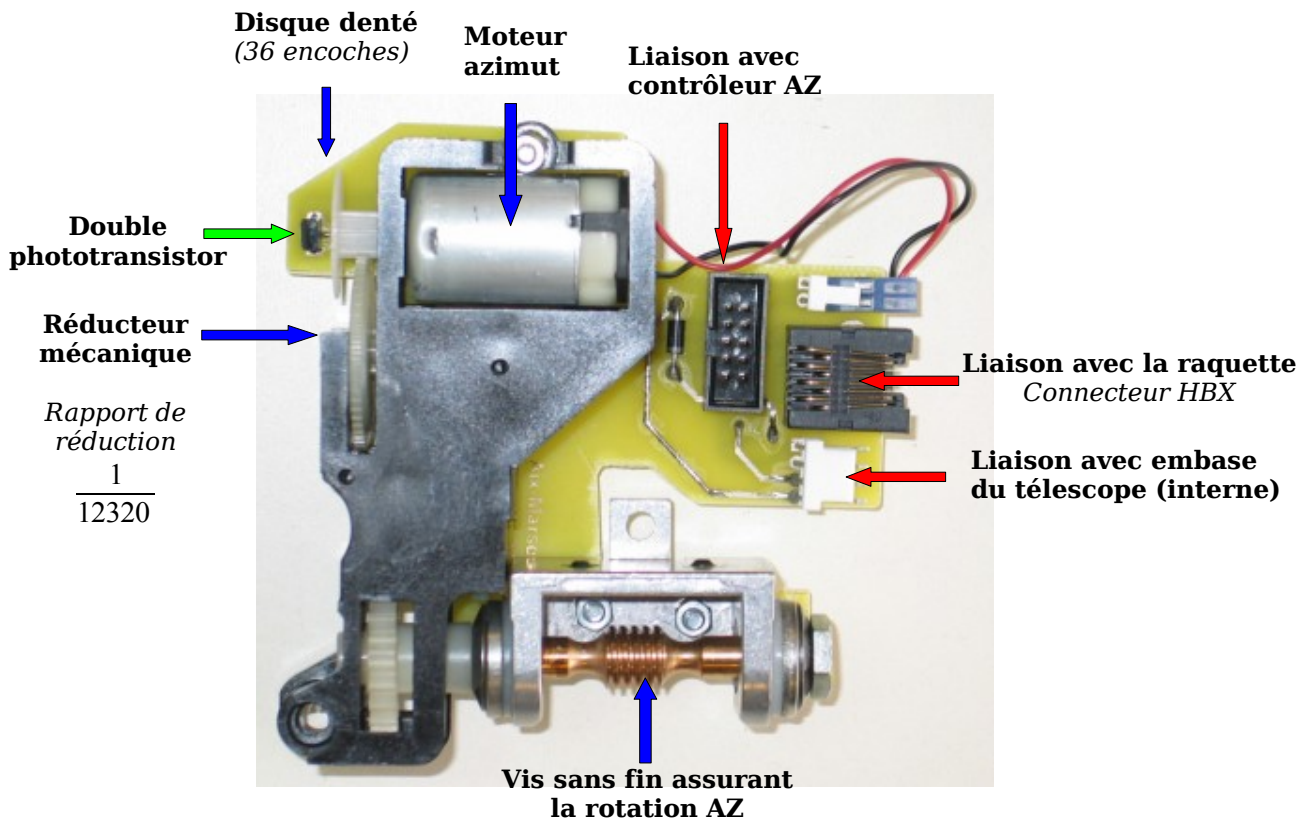
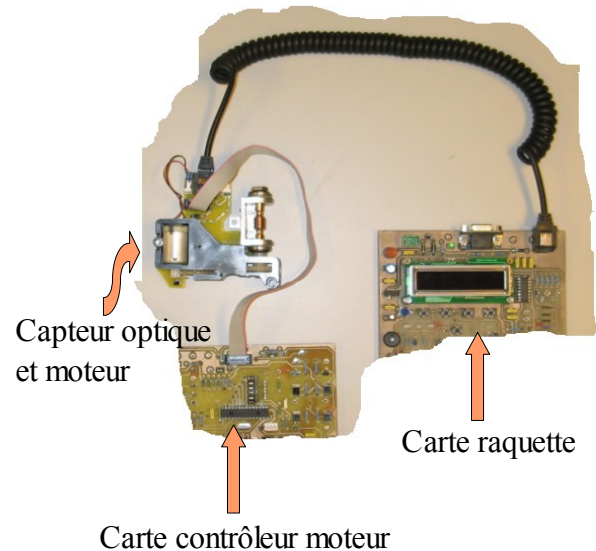
Pour pouvoir utiliser le contrôleur moteur avec le télescope, le capteur optique se trouve sur une carte séparée.

Le contrôleur moteur peut être utilisé soit :

- Avec le télescope muni d'une carte capteur optique.
- Avec un motoréducteur monté sur la carte capteur optique. Dans ce cas, la raquette se connecte sur la carte capteur optique.



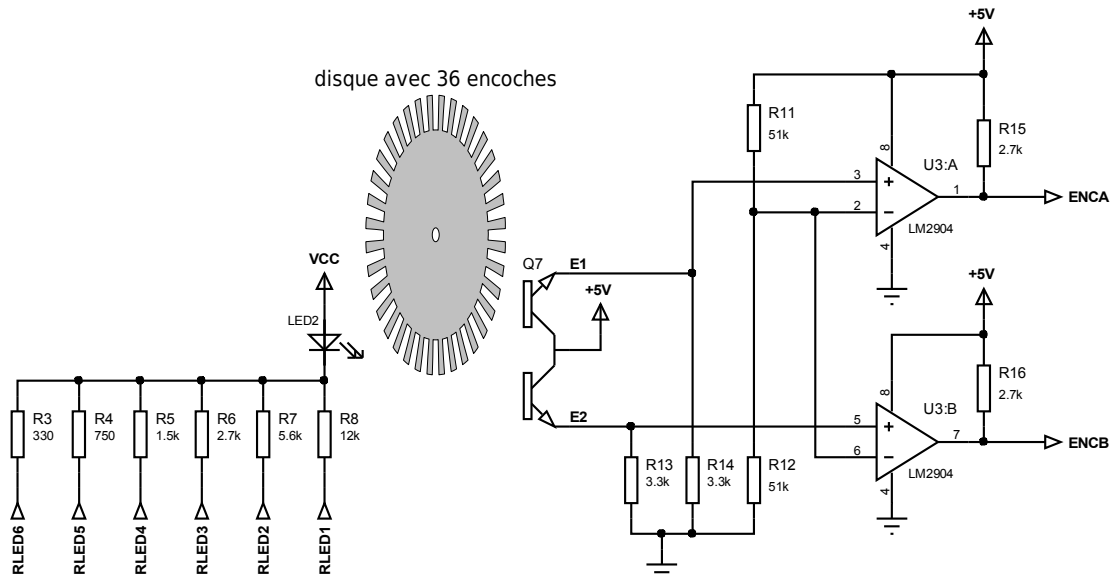
(Implantation de la carte capteur optique dans l'embase)





### Principe de fonctionnement du capteur optique

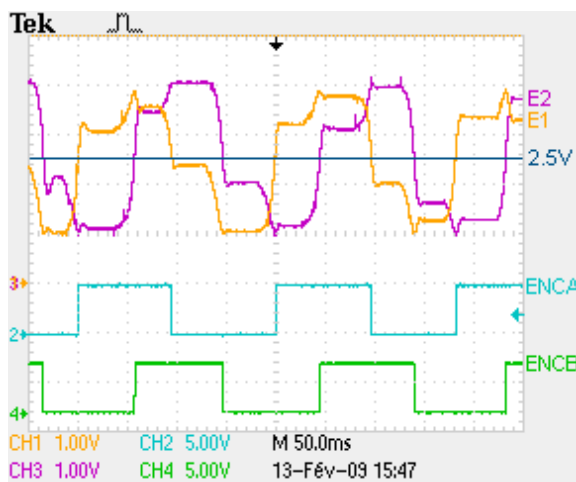
Chaque moteur est piloté par un contrôleur de moteur qui assure la régulation de vitesse et mesure le déplacement angulaire du moteur. Pour cela, il utilise un capteur optique constitué d'une LED infrarouge, d'un double photo-transistor et d'un disque solide de l'axe du moteur comportant 36 encoches :



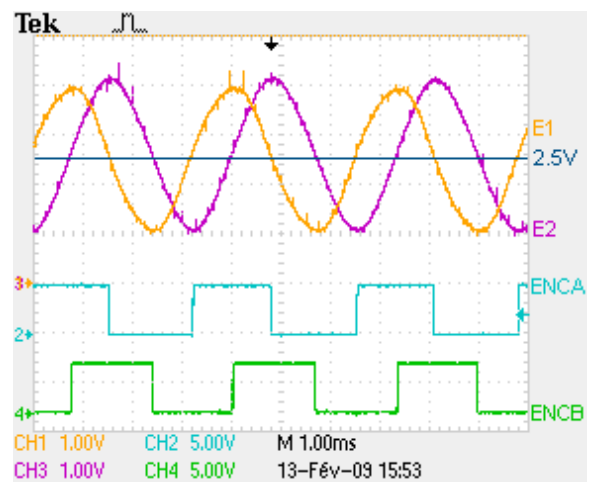
La disposition du double phototransistor permet d'obtenir deux signaux en quadrature de phase qui permettent de déterminer le sens de rotation du moteur et de multiplier par 4 la résolution du capteur.

### Relevés des signaux du capteur optique

#### Vitesse n°1



#### Vitesse n°5



Pour la vitesse n°1, la rotation du moteur n'est pas continue mais saccadée, ce qui explique les paliers observés dans l'allure des tensions  $v_{E1}(t)$  et  $v_{E2}(t)$ .

Pour la vitesse n°5, la rotation du moteur est continue, l'allure des tensions  $v_{E1}(t)$  et  $v_{E2}(t)$  s'approche d'une sinusoïde.

***Calibration du capteur***

Lors de la phase de calibration du capteur, le contrôleur ajuste le courant dans la LED infrarouge afin d'obtenir un rapport cyclique de 50% sur les signaux de sortie des comparateurs lorsque le moteur tourne.

Pour cela le contrôleur moteur ajuste le courant qui circule dans la led IR en plaçant au niveau haut ou bas les signaux RLED1 à RLED6.

***Mesure du déplacement angulaire***

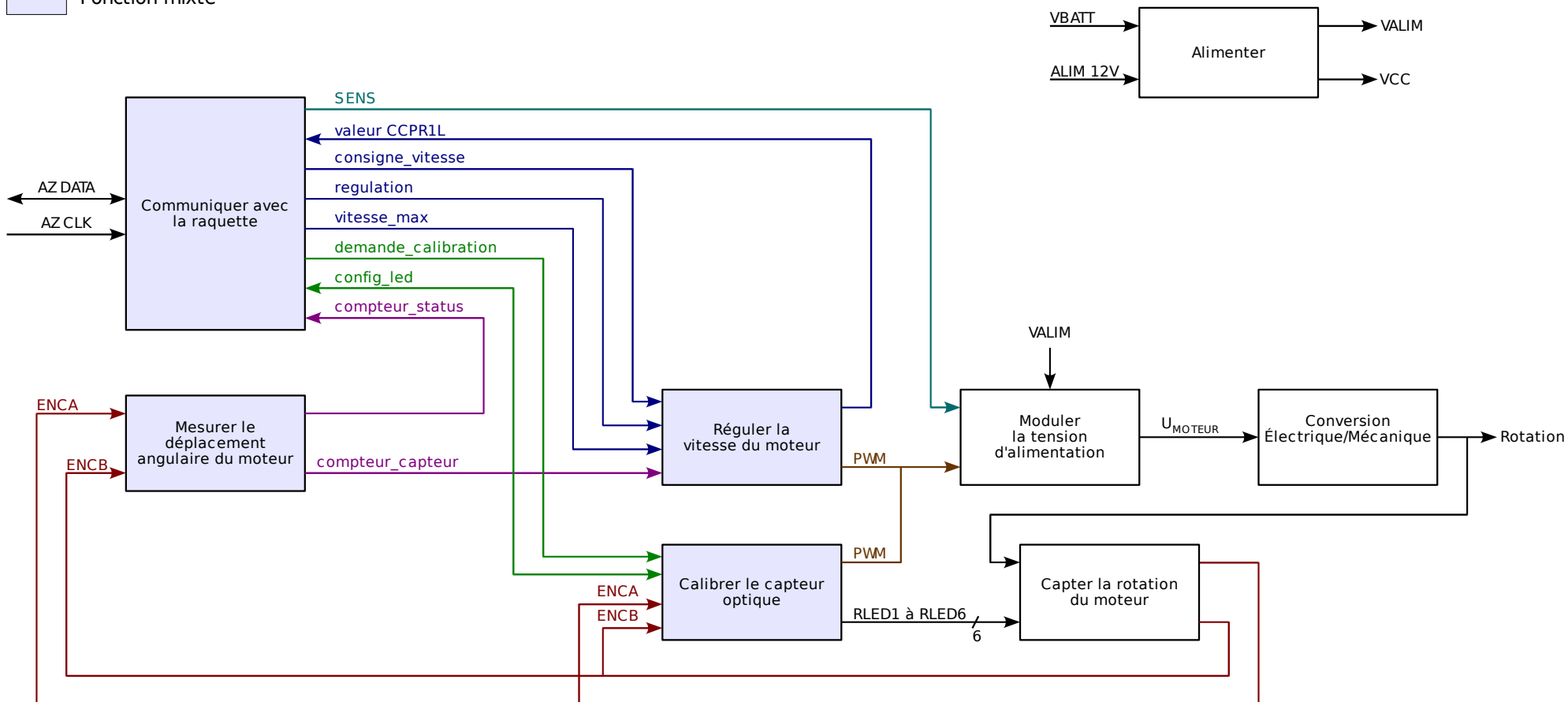
En comptant le nombre de périodes des signaux issus des photo-transistors, le contrôleur détermine le déplacement angulaire, le sens et la vitesse de rotation du moteur. Il assure également la régulation de vitesse du moteur en fonction de la consigne envoyée par « l'Autostar ». Cette régulation se fait par modulation en PWM de la tension d'alimentation du moteur grâce à un pont en H de transistors MOSFETs.

L'Autostar interroge périodiquement le contrôleur afin de connaître le déplacement angulaire effectué par le moteur. Ainsi, lors d'une phase de suivi d'un objet céleste, il ajuste en permanence la consigne de vitesse des moteurs en fonction de la position de l'objet observé dans le ciel.

## Schéma fonctionnel de degré 2

 Fonction matérielle

 Fonction mixte





## Analyse fonctionnelle

### Fonction « Alimenter »

Cette fonction fournit une tension  $VCC = +5V$  à partir d'une source de tension issue du télescope (environ 12V) ou éventuellement d'une source externe pour une utilisation sans le télescope. Cette fonction génère également une tension VALIM qui est utilisée pour alimenter le moteur.

L'alimentation est protégée contre les surintensités, les surtensions et les inversions de polarité.

#### Entrées :

- VBATT : Tension d'alimentation issue du télescope d'environ 12V continu (8 piles).
- ALIM 12V : Tension d'alimentation issue d'une alimentation de laboratoire pour utilisation sans le télescope.

#### Sorties :

- VCC : Tension 5V régulée.
- VALIM : Tension continue d'environ 12V pour l'alimentation du moteur.

### Fonction « Communiquer avec la raquette »

Cette fonction permet la communication entre la raquette (ou l'Autostar) et le contrôleur moteur grâce à une liaison série synchrone selon le protocole décrit dans l'[annexe D1](#).

#### Entrées :

- AZ CLK : Signal d'horloge pour la communication avec la raquette.
- valeur CCPR1L : valeur du registre interne du microcontrôleur qui fixe la valeur du rapport cyclique du signal PWM.
- compteur\_status : variable logicielle de 16 bits contenant le nombre de pas effectués par le moteur depuis la dernière commande « status ».

#### Sorties :

- SENS : signal logique indiquant le sens de la rotation.
- consigne\_vitesse : variable logicielle de 3 octets représentant la vitesse de rotation demandée.
- regulation : indicateur binaire commandant la régulation de la vitesse de rotation du moteur selon la consigne de vitesse reçue.
- vitesse\_max : indicateur binaire commandant la rotation du moteur à vitesse maximale.
- demande\_calibration : indicateur binaire commandant la calibration du capteur optique.

#### Entrées / Sorties :

- AZ DATA : signal logique de données pour la communication avec la raquette.
- config\_led : variable d'un octet correspondant à l'intensité du courant dans la led IR du capteur.

**Fonction « Mesurer le déplacement angulaire du moteur »**

Cette fonction comptabilise le nombre de pas effectué par le moteur afin de connaître le déplacement angulaire télescope. Cette information permet également de réguler la vitesse du moteur.

**Entrées :**

- ENCA et ENCB : signaux logiques en quadrature de phase permettant de mesurer le déplacement angulaire et de déterminer le sens de rotation du moteur.

**Sorties :**

- compteur\_status : variable logicielle de 16 bits contenant le nombre de pas effectués par le moteur depuis la dernière commande « status » envoyée par la raquette.
- compteur\_capteur : variable logicielle de 16 bits contenant le nombre de pas effectués par le moteur sur un intervalle de 6,5536ms. Cette valeur permet de réaliser la régulation de vitesse du moteur.

**Fonction « Réguler la vitesse du moteur »**

Cette fonction asservit la vitesse de rotation du moteur conformément à la consigne envoyée par la raquette (ou l'Autostar). [Voir la signification des consignes de vitesse page 55.](#)

**Entrées :**

- consigne\_vitesse : variable logicielle de 3 octets représentant la vitesse de rotation demandée.
- regulation : indicateur binaire commandant la régulation de la vitesse de rotation du moteur selon la consigne de vitesse reçue.
- vitesse\_max : indicateur binaire commandant la rotation à vitesse maximale du moteur.
- compteur\_capteur : variable logicielle de 16 bits contenant le nombre de pas effectués par le moteur sur un intervalle de 6,5536ms.

**Sorties :**

- valeur CCPR1L : valeur du registre interne du microcontrôleur qui fixe la valeur du rapport cyclique du signal PWM.
- PWM : signal logique de rapport cyclique variable commandant la modulation de la tension d'alimentation du moteur.

**Fonction « Moduler la tension d'alimentation du moteur »**

Cette fonction permet de faire varier la vitesse de rotation du moteur, conformément à la consigne de vitesse envoyée par la raquette.

**Entrées :**

- PWM : signal logique de rapport cyclique variable commandant la modulation de la tension d'alimentation du moteur.
- SENS : signal logique indiquant le sens de la rotation.
- VALIM : tension continue d'environ 12V pour l'alimentation du moteur.

**Sortie :**

- U\_MOTEUR : tension d'alimentation du moteur.

**Fonction « Calibrer le capteur optique »**

Cette fonction permet d'ajuster l'intensité dans la LED infrarouge du capteur optique afin d'obtenir un fonctionnement optimal tout en s'affranchissant :

- des disparités des caractéristiques des LED infrarouges et des phototransistors.
- du défaut d'alignement entre la LED infrarouge et les phototransistors.
- de l'opacité relative du disque comportant 36 encoches.

**Entrées :**

- demande\_calibration : indicateur binaire commandant la calibration du capteur optique.
- ENCA et ENCB : signaux logiques en quadrature de phase permettant de mesurer le déplacement angulaire et de déterminer le sens de rotation du moteur.

**Sorties :**

- RLED1 à RLED6 : signaux logiques permettant de fixer l'intensité du courant dans la LED infrarouge du capteur optique.
- PWM : signal logique de rapport cyclique variable commandant la modulation de la tension d'alimentation du moteur (100% dans lors de la calibration du capteur).

**Entrée / Sortie :**

- config\_led : variable logicielle d'un octet indiquant l'intensité du courant dans la LED infrarouge du capteur optique (voir page 57).

**Fonction « Capter la rotation du moteur »**

Cette fonction permet de mesurer le déplacement angulaire du moteur.

**Entrées :**

- RLED1 à RLED6 : Information numérique de commande d'intensité de la LED infrarouge du capteur optique.
- Rotation : déplacement angulaire du moteur.

**Sorties :**

- ENCA et ENCB : Signaux carrés en quadrature indiquant le déplacement angulaire, le sens et la vitesse de rotation du moteur.

**Fonction « Conversion électrique/mécanique »**

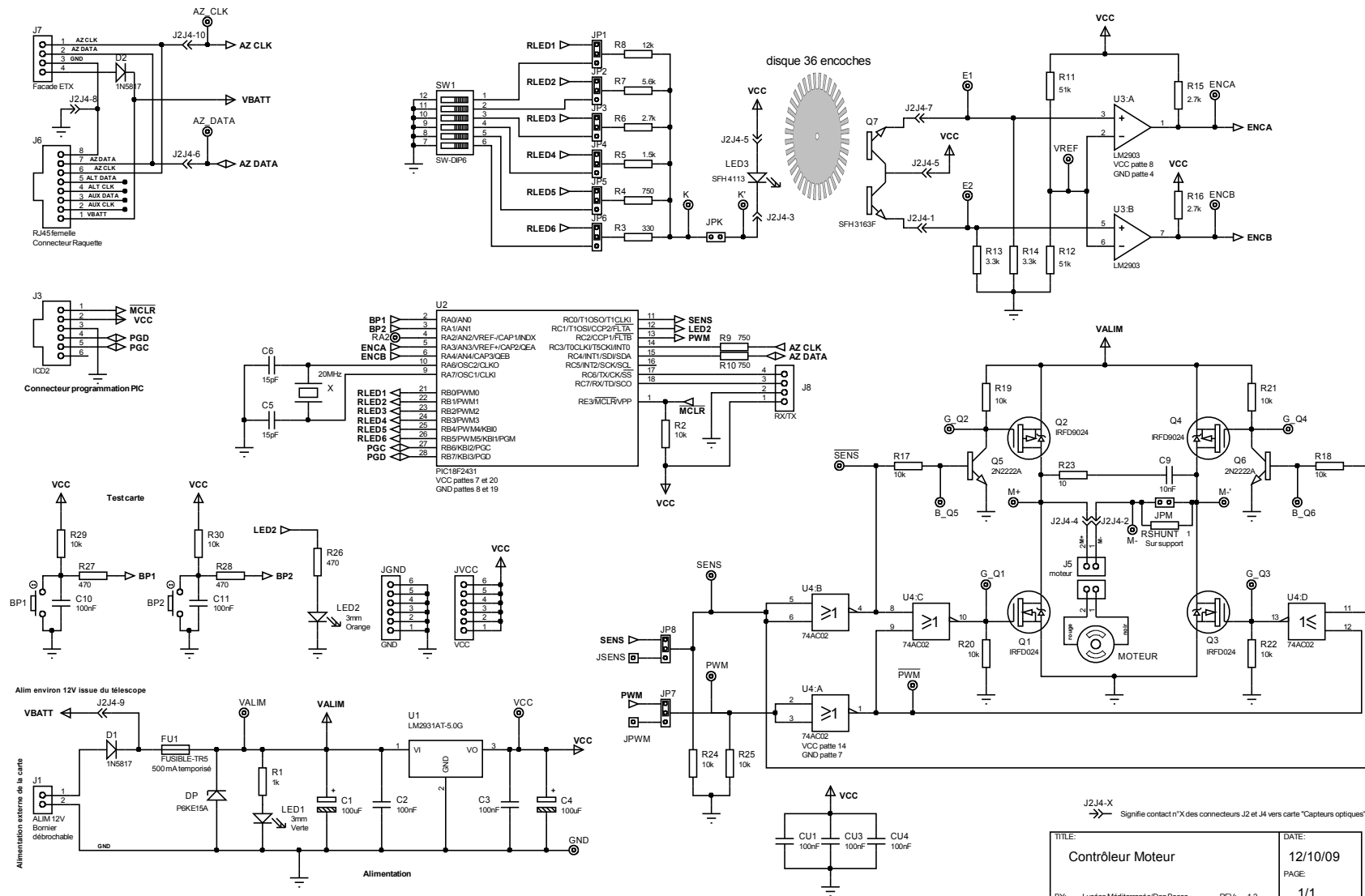
Cette fonction est assurée par un motoréducteur.

**Entrée :**

- $U_{\text{MOTEUR}}$  : tension d'alimentation du moteur.

**Sortie :**

- Rotation du télescope.



## C.4 - La carte d'alignement (LNT)

### Présentation

La carte d'alignement reprend toutes les fonctionnalités du LNT.

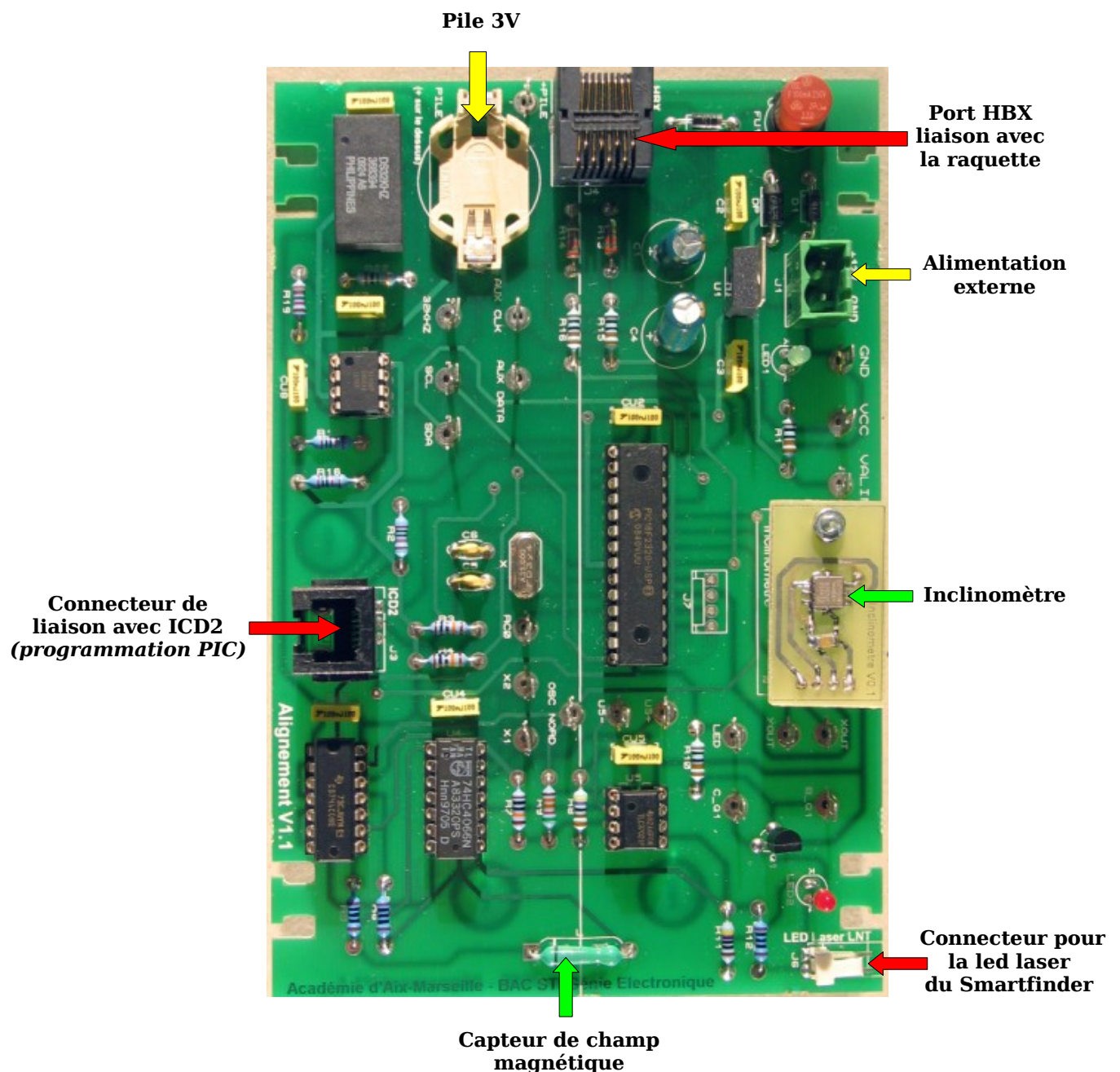
Elle peut être connectée soit :

- Sur la raquette didactisée avec un cordon de type HBX.
- Sur le port AUX du télescope en utilisant un cordon spécial (il faut dans ce cas déconnecter le LNT du télescope).

Les encoches dans le circuit imprimé permettent de fixer la carte sur le tube du télescope à l'aide d'élastiques.

Le connecteur J6 permet de piloter la LED laser du smartfinder.

La carte inclinomètre est sur un circuit imprimé séparé afin de pouvoir l'utiliser seule pour le TP de physique appliquée.



### Principe de fonctionnement du capteur magnéto-inductif

L'orientation du LNT par rapport au champ magnétique terrestre est déterminée grâce à un capteur magnéto-inductif PNI SEN-L : 

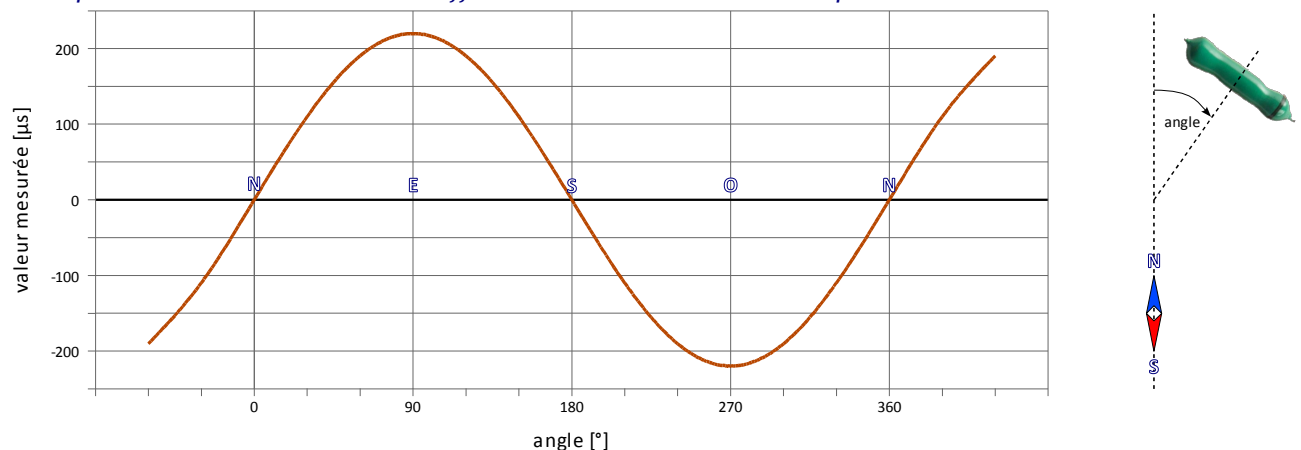
Il est associé à d'autres composants pour former un oscillateur RL dont la fréquence va varier en fonction de l'orientation du capteur par rapport au champ magnétique terrestre.

La mesure est effectuée de la manière suivante :

1. Mesure de la période de l'oscillation produite avec le capteur polarisé dans un sens.
2. Mesure de la période de l'oscillation produite avec le capteur polarisé dans l'autre sens.
3. Calcul de la différence entre les deux mesures précédentes.

En réalité, afin d'augmenter la précision de la mesure, on effectue cette mesure sur plusieurs périodes de l'oscillateur.

*Exemple : Résultats obtenus en effectuant la mesure sur 512 périodes*

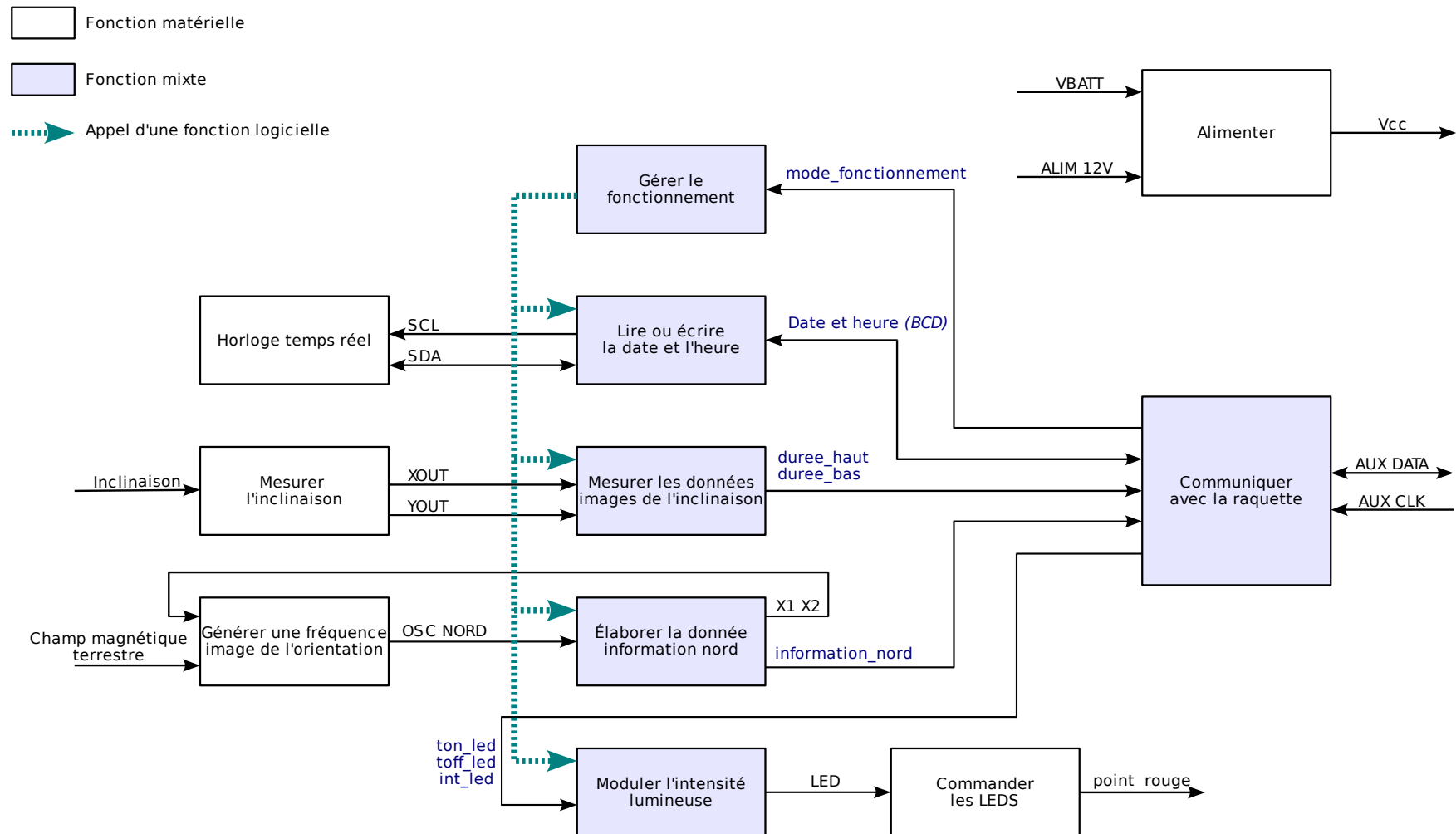


La position du nord magnétique est repérée par le moment où la valeur mesurée passe par 0 tout en étant croissante lorsque l'on tourne dans le sens horaire.

De la même manière, la position du nord magnétique est repérée par le moment où la valeur mesurée passe par 0 tout en étant décroissante lorsque l'on tourne dans le sens anti-horaire.



## Schéma fonctionnel de degré 2



## Analyse fonctionnelle

### Fonction « Alimenter »

Cette fonction fournit une tension  $VCC = +5V$  à partir d'une source de tension issue du télescope (environ 12V) ou éventuellement d'une source externe pour une utilisation sans le télescope.

L'alimentation est protégée contre les surintensités, les surtensions et les inversions de polarité.

#### Entrées :

- VBATT : Tension d'alimentation issue du télescope d'environ 12V continu (8 piles).
- ALIM 12V : Tension d'alimentation issue d'une alimentation de laboratoire pour utilisation sans le télescope.

#### Sortie :

- VCC : Tension 5V régulée.

### Fonction « Mesurer l'inclinaison »

Cette fonction mesure l'angle d'inclinaison du tube du télescope suivant l'axe longitudinal (Niveau) et l'axe transversal (Tilt).

#### Entrée :

- Inclinaison du télescope selon les deux axes (Niveau et Tilt)

#### Sorties :

- XOUT : signal rectangulaire de rapport cyclique image de l'inclinaison longitudinale.
- YOUT : signal rectangulaire de rapport cyclique image de l'inclinaison transversale.

### Fonction « Mesurer les données images de l'inclinaison »

Cette fonction mesure les durées des états haut et bas des signaux XOUT et YOUT.

#### Entrées :

- XOUT ; YOUT : Signaux carrés de rapport cyclique variable, image de l'inclinaison.

#### Sorties :

- duree\_haut ; duree\_bas : variables de 16 bits correspondant aux durées des états haut et bas du signal XOUT ou YOUT suivant l'axe sélectionné.

### Fonction « Générer une fréquence image de l'orientation »

Cette fonction génère un signal dont la fréquence varie en fonction de l'orientation de la carte par rapport au nord magnétique.

#### Entrées :

- Champ magnétique terrestre
- X1 ; X2 : Signaux logiques de sélection de la polarisation du capteur.

#### Sortie :

- OSC NORD : signal dont la fréquence varie selon l'orientation par rapport au champ magnétique terrestre.

**Fonction « Élaborer la donnée information nord »**

Cette fonction mesure les périodes du signal OSC\_NORD pour les 2 polarisations du capteur et élabore la valeur de l'information qui est transmise à la raquette : voir la commande « Interrogation Nord » page 60.

**Entrée :**

- OSC\_NORD : oscillation dont la fréquence est l'image de l'orientation par rapport au champ magnétique terrestre.

**Sorties :**

- X1 ; X2 : Signaux logiques de sélection de la polarisation du capteur.
- information\_nord : variable de 8 bits image de la position du télescope par rapport au nord.

**Fonction « Horloge temps réel »**

Cette fonction sauvegarde et maintient les informations date et heure.

**Entrée :**

- SCL : Signal d'horloge du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Entrée / Sortie :**

- SDA : Signal logique de données du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Fonction « Lire ou écrire la date et l'heure »**

Cette fonction permet de lire ou écrire les informations date et heure dans l'horloge temps réel.

**Entrée / Sortie :**

- SDA : Signal logique de données du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.
- Date et heure : 6 variables de 8 bits contenant les informations date et heure lues dans l'horloge temps réel.

**Sortie :**

- SCL : Signal d'horloge du protocole I<sup>2</sup>C pour la communication avec le microcontrôleur.

**Fonction « Moduler l'intensité lumineuse »**

Cette fonction permet de générer le signal de commande de la LED du chercheur. La fréquence de clignotement ainsi que l'intensité lumineuse est configurée par la raquette (ou par l'Autostar)

**Entrées :**

- ton\_led ; toff\_led ; int\_led : variables de 8 bits définissant la durée du clignotement et l'intensité lumineuse de la LED-LASER.

**Sortie :**

- LED : signal logique de commande de la LED-LASER.

**Fonction « Commander les LEDs »**

Cette fonction permet d'allumer la LED-LASER du « Smartfinder » qui est intégré dans le LNT.

**Entrée :**

- LED : signal de commande de la LED-LASER équipant le « Smartfinder ».

**Sortie :**

- Point rouge lumineux généré par la led laser du « Smartfinder ». Une LED témoin de couleur rouge est commandée simultanément.

**Fonction « Communiquer avec la raquette »**

Cette fonction permet la communication entre la carte alignement et la raquette de commande du télescope (ou l'Autostar) suivant le protocole décrit dans l'[annexe D2](#).

**Entrées :**

- duree\_haut ; duree\_bas : variables de 16 bits correspondant aux durées des états haut et bas du signal XOUT ou YOUT suivant l'axe sélectionné.
- information\_nord : variable de 8 bits image de la position du télescope par rapport au nord.
- AUX CLK : Signal d'horloge du bus AUX.

**Sorties :**

- mode\_fonctionnement : variable de 8 bits définissant le mode de fonctionnement : mesure du niveau, mesure du tilt, mesure du nord, clignotement chercheur, lecture de la date, écriture de la date.
- ton\_led ; toff\_led ; int\_led : 3 variables de 8 bits définissant la durée du clignotement et l'intensité lumineuse de la LED-LASER.

**Entrées / Sorties :**

- Date et heure : 6 variables de 8 bits contenant les informations date et heure lues dans l'horloge temps réel.
- AUX DATA : Signal logique de donnée du bus AUX.

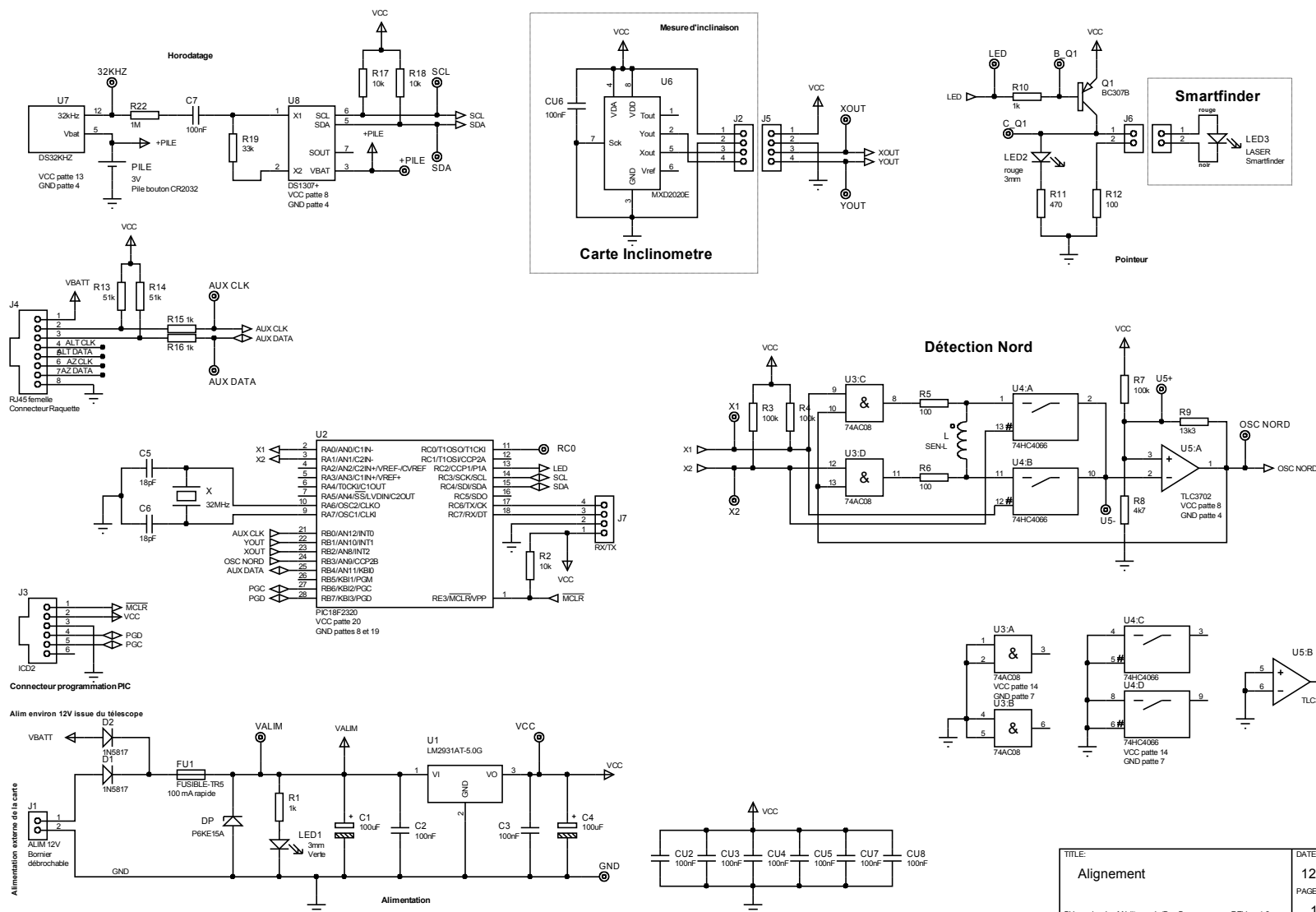
**Fonction « Gérer le fonctionnement »**

Cette fonction choisit le fonctionnement de la carte alignement en fonction des commandes envoyées par la raquette. Elle appelle les différentes fonctions logicielles correspondant au fonctionnement demandé.

**Entrée :**

- mode\_fonctionnement : variable de 8 bits définissant le mode de fonctionnement : mesure du niveau, mesure du tilt, mesure du nord, clignotement chercheur, lecture de la date, écriture de la date.

# Schéma structurel



TITLE: Alignement	DATE: 12/10/09
BY: Lycées Méditerranée/Don Bosco	PAGE: 1/1
REV: 1.2	

## D - Annexes

## D.1 - Communication entre la raquette et les contrôleurs de moteurs

La communication entre l'Autostar et les contrôleurs de moteur se fait au moyen de 2 liaisons séries synchrones via les signaux :

- AZ\_CLK et AZ\_DATA pour le moteur d'azimut
- ALT\_CLK et ALT\_DATA pour le moteur d'altitude

Les lignes de données AZ\_DATA et ALT\_DATA sont reliées entre elles par l'Autostar, celui-ci dialoguant alternativement avec les 2 contrôleurs.

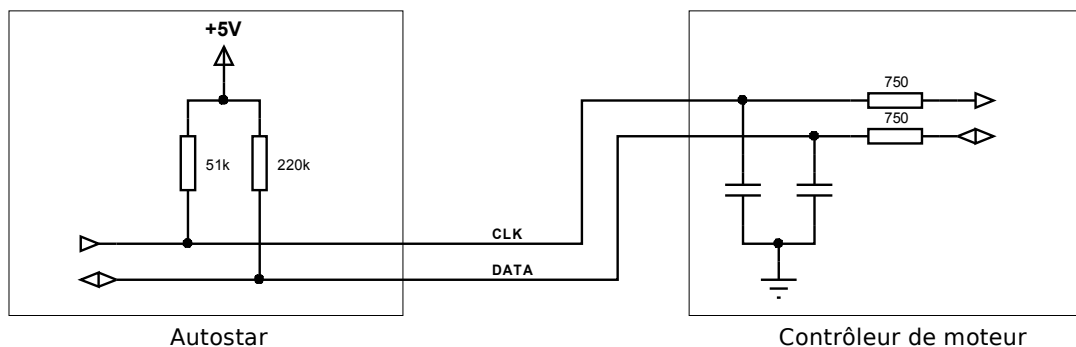
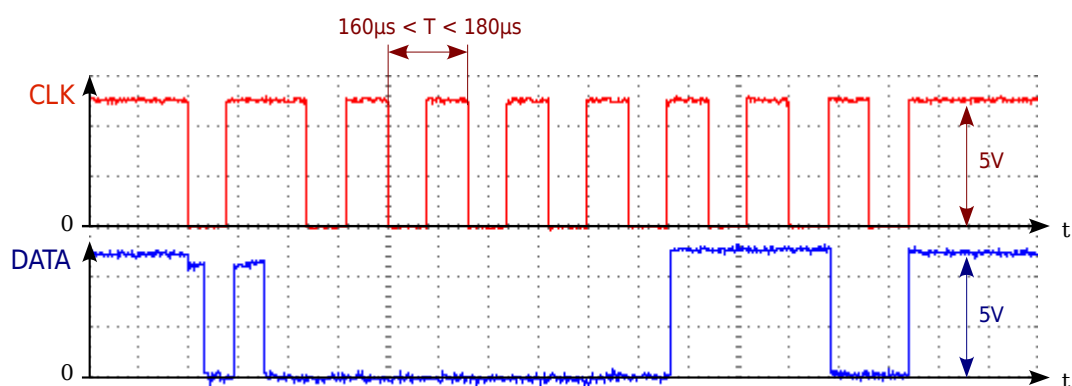
Le fonctionnement des 2 contrôleurs de moteurs étant identique, par la suite nous utiliserons simplement les noms CLK et DATA pour désigner les signaux d'horloge et de donnée.

**Caractéristiques des signaux CLK et DATA**

Le signal d'horloge CLK est un signal logique (niveaux 0 / 5V) dont la période est comprise entre 160µs et 180µs lors de la transmission ou de la réception d'une donnée.

Le signal de donnée DATA est un signal logique (niveaux 0 / 5V). Sa valeur est lue lors des fronts descendants de CLK, les bits constituant la donnée sont transmis en commençant par le bit de poids fort.

DATA est contrôlée alternativement par l'Autostar et le contrôleur. Une résistance de tirage vers le haut permet de mettre DATA à l'état haut quand ni l'Autostar, ni le contrôleur ne contrôlent cette ligne.

**Relevé des caractéristiques des signaux CLK et DATA****Remarque :**

On observe parfois une interruption pendant quelques ms du signal CLK au cours d'une communication, l'Autostar doit alors avoir une tâche plus prioritaire à faire. Ceci est sans incidence sur le fonctionnement, car la communication se fait sur les fronts descendants de CLK indépendamment de sa période.

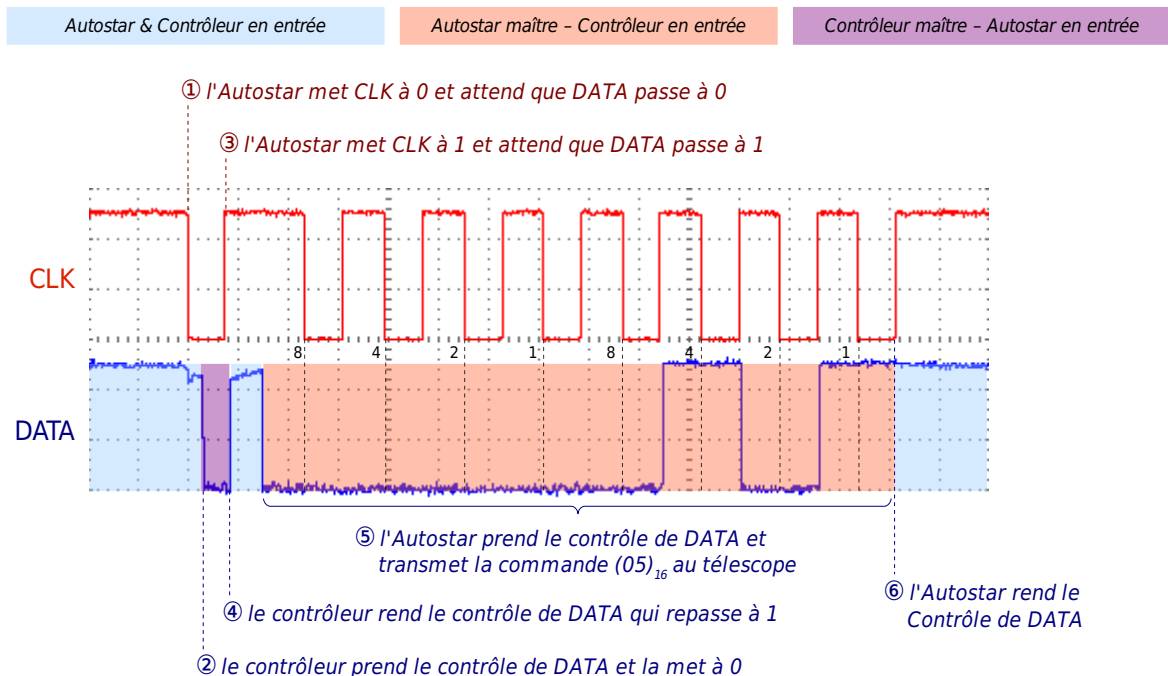


## Protocole de communication

La communication est toujours initiée par l'Autostar qui envoie une commande codée sur 8 bits éventuellement suivie d'un ou plusieurs octets.

Les exemples suivants illustrent le protocole utilisé par l'Autostar et le contrôleur moteur pour dialoguer.

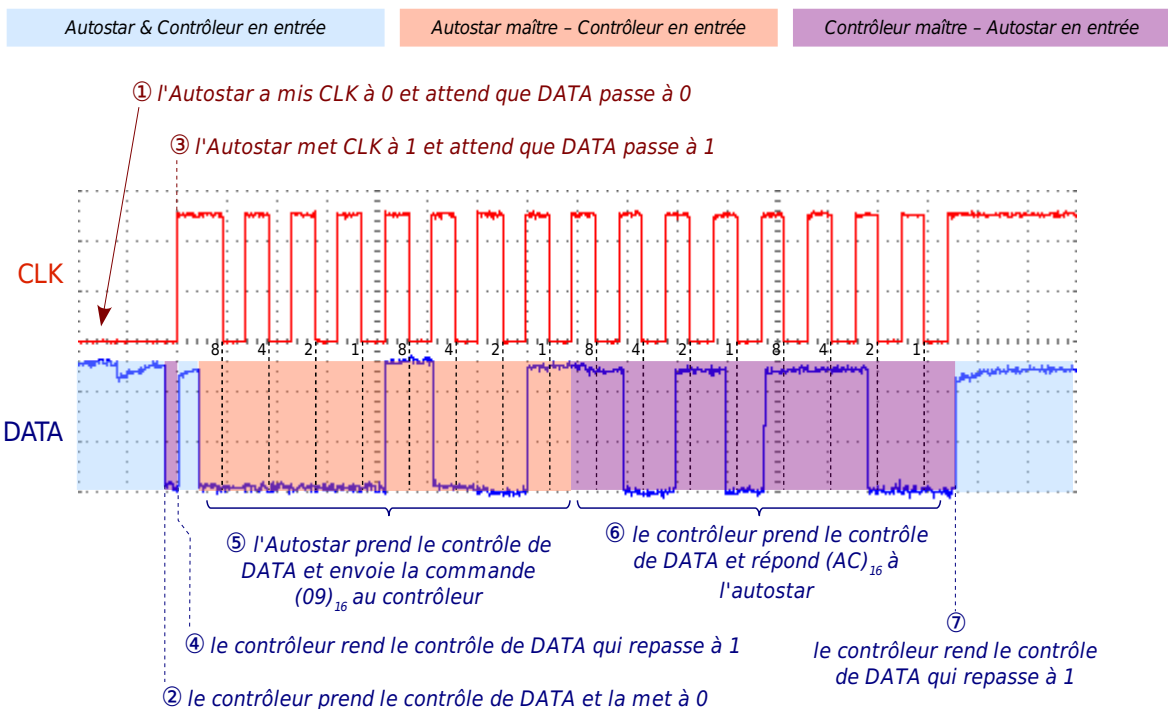
### Exemple 1 : envoi de la commande 0x05 « Arrêt du moteur »



#### Remarque :

Après que l'Autostar ait initié une communication en plaçant CLK au niveau bas (①), si le contrôleur ne répond pas au bout de 90ms, l'Autostar place CLK au niveau haut puis à nouveau au niveau bas pour essayer à nouveau d'initier la communication.

### Exemple 2 : envoi de la commande 0x09 « Lecture de l'octet de configuration du capteur »



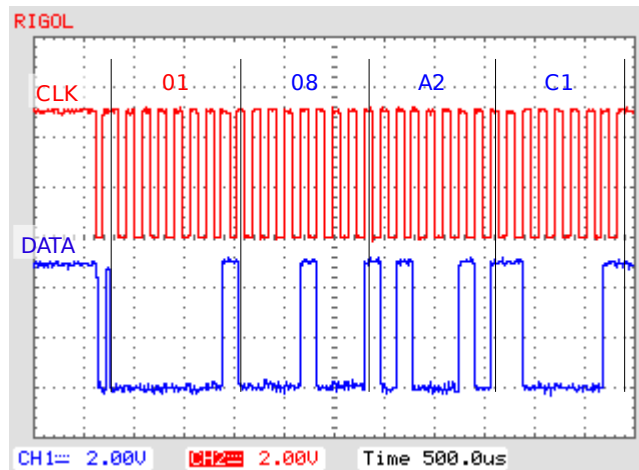
## Description des différentes commandes

### Les commandes de rotation

En pilotage manuel, l'Autostar permet 9 vitesses de rotation différentes. Pour les vitesses de 1 à 8, la commande de vitesse est formée par l'octet **01** suivi de 3 octets représentant la consigne de vitesse.

Il est possible d'utiliser la commande **00** qui a un effet identique à la commande **01**, l'Autostar l'utilise lors des phases de suivi d'un objet céleste.

*Exemple : commande de vitesse n°5 – sens horaire*



- Commande de rotation : **01**
- Consigne de vitesse :  $(08A2C1)_{16}$

### Les différentes consignes de vitesse

Lorsque l'on pilote le télescope à l'aide des touches de direction de l'Autostar, on a le choix entre 9 vitesses différentes. On donne ci-après les consignes de vitesse spécifiques au télescope ETX-90 :

#### Pour le sens horaire

vitesse 1 : **01 00 18 0F**  
 vitesse 2 : **01 00 45 16**  
 vitesse 3 : **01 01 14 58**  
 vitesse 4 : **01 02 28 B0**  
 vitesse 5 : **01 08 A2 C1**  
 vitesse 6 : **01 11 45 82**  
 vitesse 7 : **01 22 8B 05**  
 vitesse 8 : **01 3C B8 5F**

1x = 1 x vitesse sidérale (0.25 arc-min/sec ou 0.004°/sec)  
 2x = 2 x vitesse sidérale (0.5 arc-min/sec ou 0.008°/sec)  
 8x = 8 x vitesse sidérale (2 arc-min/sec ou 0.033°/sec)  
 16x = 16 x vitesse sidérale (4 arc-min/sec ou 0.067°/sec)  
 64x = 64 x vitesse sidérale (16 arc-min/sec ou 0.27°/sec)  
 128x = 30 arc-min/sec ou 0.5°/sec  
 1.0° = 60 arc-min/sec ou 1.0°/sec  
 1.5° = 90 arc-min/sec ou 1.5°/sec

#### Remarque :

En étudiant les consignes de vitesse, on s'aperçoit que les rapports de proportionnalité entre les vitesses qui sont indiqués dans la documentation ne sont pas respectés. Cela vient du fait que la consigne de vitesse n°1 ne correspond pas à la vitesse sidérale.

Pour obtenir la vitesse sidérale, il faut envoyer la consigne **01 00 22 8B**. On retrouve alors les rapports de proportionnalité entre les différentes vitesses.

**Pour le sens anti-horaire**

On retrouve exactement les mêmes valeurs mais négatives (codées en code complément à 2) :

vitesse 1 : **01** FF E7 F1

vitesse 2 : **01** FF BA EA

vitesse 3 : **01** FE EB A8

vitesse 4 : **01** FD D7 50

vitesse 5 : **01** F7 5D 3F

vitesse 6 : **01** EE BA 7E

vitesse 7 : **01** DD 74 FB

vitesse 8 : **01** C3 47 A1

**Signification de la consigne de vitesse**

La consigne de vitesse correspond au nombre d'impulsions qui doit être compté sur le capteur optique pendant une durée donnée. Cette manière d'indiquer les consignes de vitesse permet à l'Autostar d'être compatible avec les différents modèles de télescope en adaptant les consignes en fonction du rapport de réduction de la transmission mécanique du télescope piloté.

La consigne de vitesse est codée sur 3 octets et correspond au nombre de pas à effectuer sur une durée de 6,5536ms. Le 1er octet représente la partie entière du nombre de pas à effectuer, les deux suivants la partie fractionnaire (1 pas = 1 tour / 144).

Par exemple, la consigne de vitesse (01 00 00)<sub>16</sub> correspond à 1 pas toutes les 6,5536ms soit 152,6 pas par seconde.

Lorsque le moteur fait un tour complet, on compte 144 pas donc cette consigne correspond à une vitesse de rotation de 1,06 tr/s ou 63,6 tr/mn.

On en déduit comment calculer la vitesse de rotation du moteur à partir de la valeur de consigne (exprimée en base 10):

On calcule le nombre de pas par seconde : 
$$N = \frac{\text{consigne}}{65536} \times \frac{1}{6,5536 \cdot 10^{-3}} \rightarrow N \approx \frac{\text{consigne}}{429,5}$$

On en déduit la vitesse de rotation : 
$$\text{vitesse} = \frac{N}{144} \text{ en tr/s}$$

**Cas de la vitesse n°9 (vitesse maximale)**

Pour la vitesse 9 (approx. 4.5°/sec), le moteur tourne à vitesse maximale, sa tension d'alimentation n'est plus modulée. La commande est constituée d'un seul octet :

**07** : pour le sens horaire

**06** : pour le sens anti-horaire

**La commande d'arrêt du moteur**

Elle est composée d'un seul octet : **05**

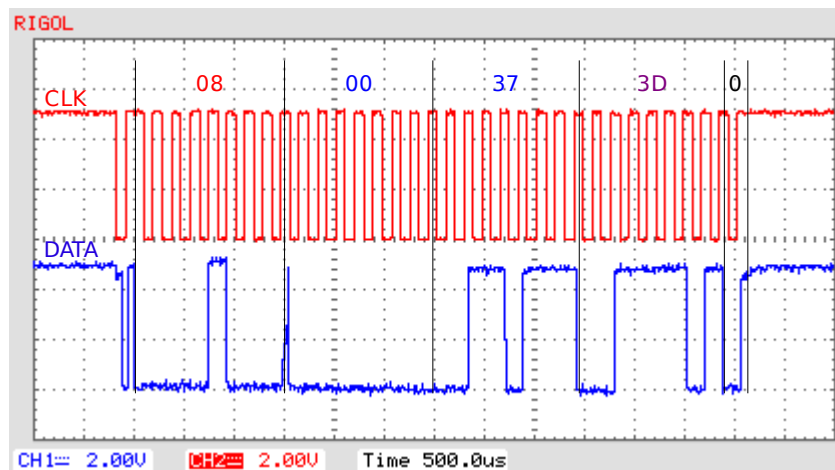
**La commande « status »**

Cette commande est envoyée périodiquement au contrôleur moteur par l'Autostar afin de connaître le déplacement angulaire effectué par celui-ci et la valeur actuelle du PWM.

L'Autostar envoie l'octet **08** et le contrôleur moteur renvoie alors 3 octets + 1 bit :

- Les 2 premiers octets représentent le nombre d'impulsions comptées sur le capteur depuis la dernière interrogation. Ce nombre est codé en code complément à 2.
- Le 3ème octet représente la valeur actuelle du PWM. Cela permet de détecter une situation de blocage du moteur.
- Un bit additionnel permet d'indiquer une erreur de comptage des impulsions si il est à 1.

Exemple :



- Commande « status » : **08**
- Il y a eu 55 impulsions comptées (**0037**)<sub>16</sub>
- La valeur du PWM est de 61 (**3D**)<sub>16</sub>
- Le bit additionnel est à 0

**La commande « change error count »**

Elle est constituée de l'octet **02** suivi d'un nombre de 16 bits codé en code complément à 2.

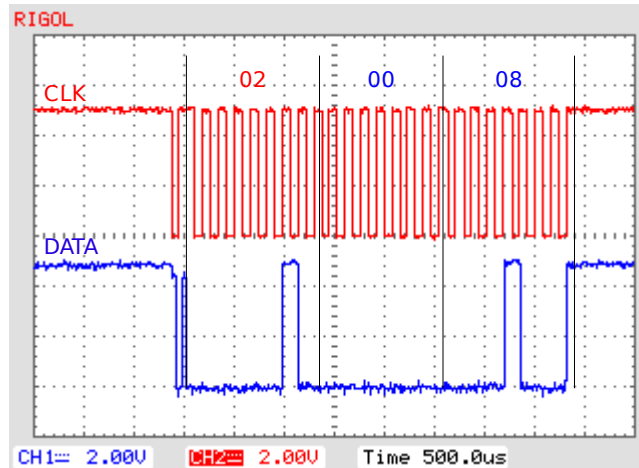
Elle permet d'indiquer au contrôleur moteur d'ajouter ou de retrancher un nombre d'impulsions lors de la rotation en cours.

Si la valeur indiquée est positive, celui-ci va faire accélérer la vitesse du moteur jusqu'à avoir ajouté le nombre d'impulsions demandé puis reprendre la vitesse de consigne.

Si la valeur indiquée est négative, celui-ci va faire diminuer la vitesse du moteur jusqu'à avoir perdu le nombre d'impulsions demandé puis reprendre la vitesse de consigne.

Cette commande est utilisée lors des changements de sens de rotation et permet certainement de compenser le jeu dans la chaîne de transmission mécanique.

*Exemple :*



- Commande « change error count » : **02**
- Nombre d'impulsions : **(0008)<sub>16</sub>**

**Les commandes de calibration et de configuration du capteur optique**

L'Autostar peut demander au contrôleur moteur de rechercher le courant permettant d'obtenir le fonctionnement optimal du capteur. Il lui demande ensuite la valeur trouvée. Le contrôleur renvoie alors un octet correspondant à la configuration des six résistances utilisées pour fixer le courant dans la led IR.

Cet octet se décompose de la manière suivante :

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RLED6	RLED5	RLED4	RLED3	RLED2	RLED1	0	0

L'Autostar mémorise également la dernière valeur de configuration trouvée et l'envoie au contrôleur moteur lors de la phase d'initialisation à la mise sous tension du télescope.

*Les commandes utilisées sont :*

- Demande de calibration du capteur : l'Autostar envoie l'octet **04**.
- Interrogation calibration capteur : l'Autostar envoie l'octet **09**, le contrôleur moteur répond avec un octet correspondant à la valeur de calibration trouvée.
- Envoi de la valeur de calibration du capteur : l'Autostar envoie l'octet **03** suivi d'un octet contenant la valeur de calibration.

## D.2 - Le bus AUX

### Présentation

Le bus AUX est un bus spécifique aux télescopes « Meade » qui permet de connecter différents équipements au télescope afin d'étendre ses fonctionnalités. On peut ainsi ajouter au télescope un module de commande électrique de mise au point, un GPS, etc.

Le télescope ETX-90 dispose de deux connecteurs pour le bus AUX sur sa façade. Ces connecteurs comportent 4 broches : 2 pour l'alimentation et 2 pour la communication.

Le module LNT fourni avec le télescope est relié de manière interne au bus AUX du télescope.

### Protocole de communication

Le bus AUX qui est un bus de communication bidirectionnel de type « maître / esclave ».

La raquette (Autostar) est le « maître » de la communication et chaque périphérique connecté au bus AUX possède une adresse unique comprise entre 1 et 255 (le LNT possède l'adresse 06). L'adresse 0 est réservée pour l'envoi de commandes destinées à tous les périphériques connectés au bus.

Toutes les communications sont initiées par la raquette qui commence par envoyer un message constitué des informations suivantes :

- un octet contenant le nombre d'octets que comprend le message.
- un octet correspondant à l'adresse du périphérique auquel s'adresse ce message.
- un ou plusieurs octet(s) correspondant à la commande que doit exécuter le périphérique.

En réponse à cette commande, le périphérique répond en envoyant un message constitué des informations suivantes :

- un octet contenant le nombre d'octets que comprend le message.
- un ou plusieurs octet(s) correspondant à la réponse du périphérique à la commande de la raquette.

#### *Remarques :*

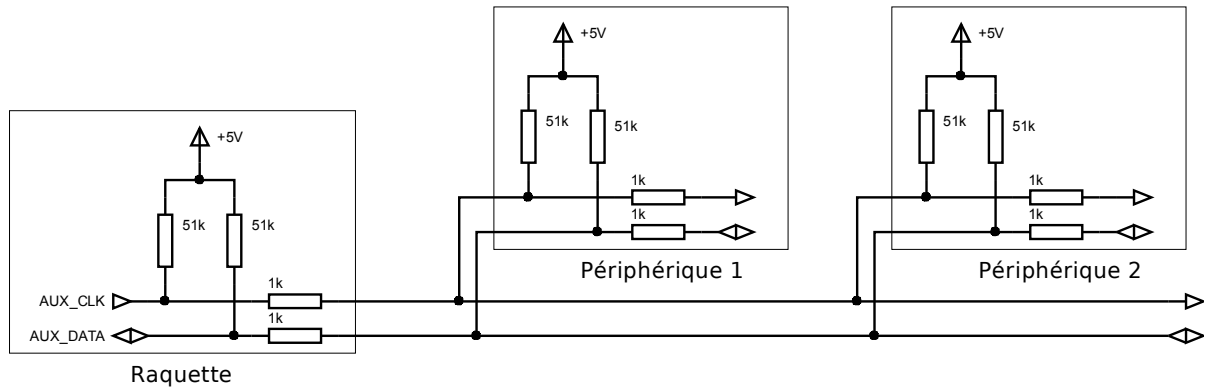
- Le premier octet correspondant au nombre d'octets que comprend le message n'est pas compté dans ce nombre.
- Si un périphérique n'a pas d'information à retourner à la raquette en réponse à une commande, le premier octet de sa réponse est donc égal à 0x00.
- Si la raquette essaye de communiquer avec un périphérique n'est pas présent sur le bus, le premier octet de la réponse est égal à 0xFF.



### Constitution du bus AUX

Physiquement, le bus AUX est constitué de deux fils constituant une liaison série synchrone :

- AUX\_CLK : signal d'horloge toujours contrôlé par la raquette.
- AUX\_DATA : signal de donnée contrôlé alternativement par la raquette et les périphériques. Des résistances de tirage vers le haut permettent de mettre AUX\_DATA à l'état haut quand ni la raquette, ni aucun périphérique ne contrôlent cette ligne.

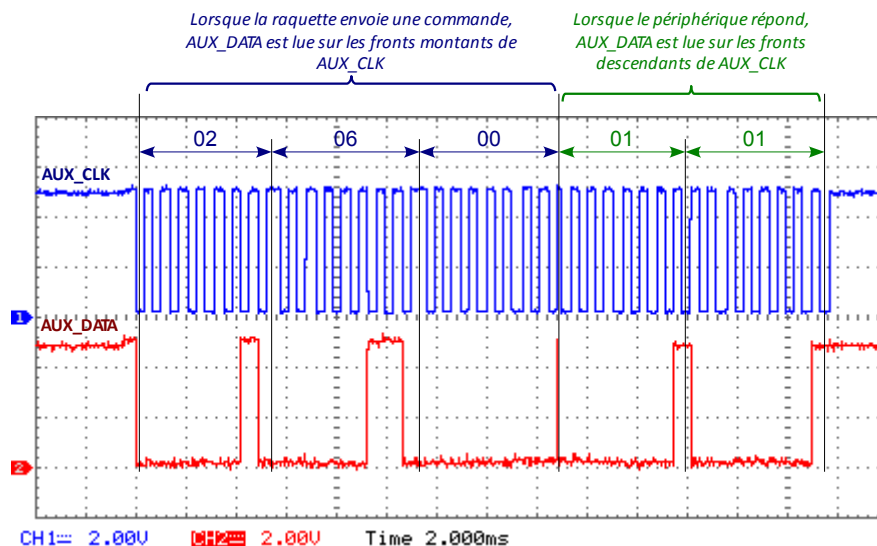


Le signal d'horloge AUX\_CLK est un signal logique de niveaux 0 / 5V dont la période est de 700µs lors de la transmission ou de la réception d'une donnée.

Le signal de donnée AUX\_DATA est un signal logique de niveaux 0 / 5V. Les bits constituant les données sont transmis en commençant par le bit de poids fort. Lors de l'envoi d'un message par la raquette, la lecture du niveau de AUX\_DATA se fait sur les fronts montants de AUX\_CLK. Par contre, lors de la réponse du périphérique, la lecture du niveau de AUX\_DATA se fait sur les fronts descendants de AUX\_CLK.

### Exemples de communication :

#### Recherche du LNT par la raquette



La raquette envoie le message suivant : **02 06 00**

**02** : le message comporte 2 octets

**06** : le message s'adresse au LNT

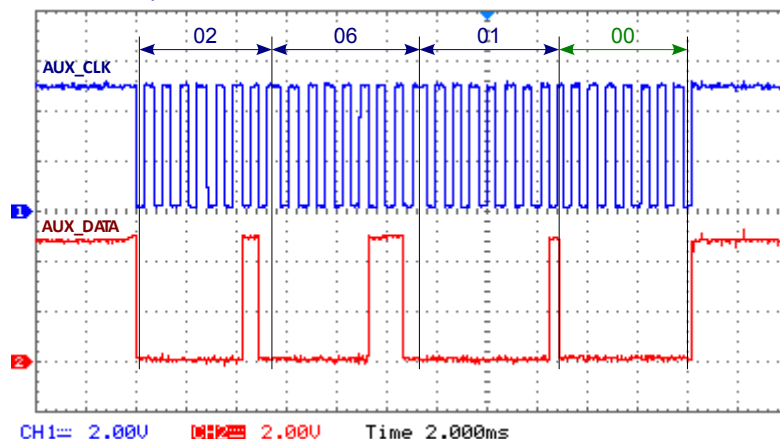
**00** : commande de recherche d'un périphérique

Le LNT répond avec le message : **01 01**

**01** : la réponse comporte 1 octet

**01** : réponse du LNT pour indiquer qu'il est présent sur le bus AUX

## Sélection de l'information « Nord » du LNT



La raquette envoie le message suivant : **02 06 01**

**02** : le message comporte 2 octets

**06** : le message s'adresse au LNT

**01** : commande de sélection de l'information « Nord »

Le LNT répond avec le message : **00**

**00** : la commande a bien été prise en compte, la réponse ne comporte pas d'autre octet.

## Les commandes du LNT

Le LNT fournit à la raquette des informations sur :

- La date et l'heure (sauvegardées par pile)
- La position du télescope par rapport au nord.
- L'inclinaison du tube selon 2 axes appelés « Niveau » (axe du tube) et « Tilt » (perpendiculaire à l'axe du tube)

Le LNT comprend également le chercheur « SmartFinder » qui se configure à l'aide de la raquette.

## Sélection de l'information « Nord »

La raquette envoie le message suivant : **02 06 01**

Si la commande a bien été prise en compte, le LNT répond avec le message : **00**

La raquette attend ensuite 1,2s avant de demander la valeur de l'information « Nord »

## Interrogation « Nord »

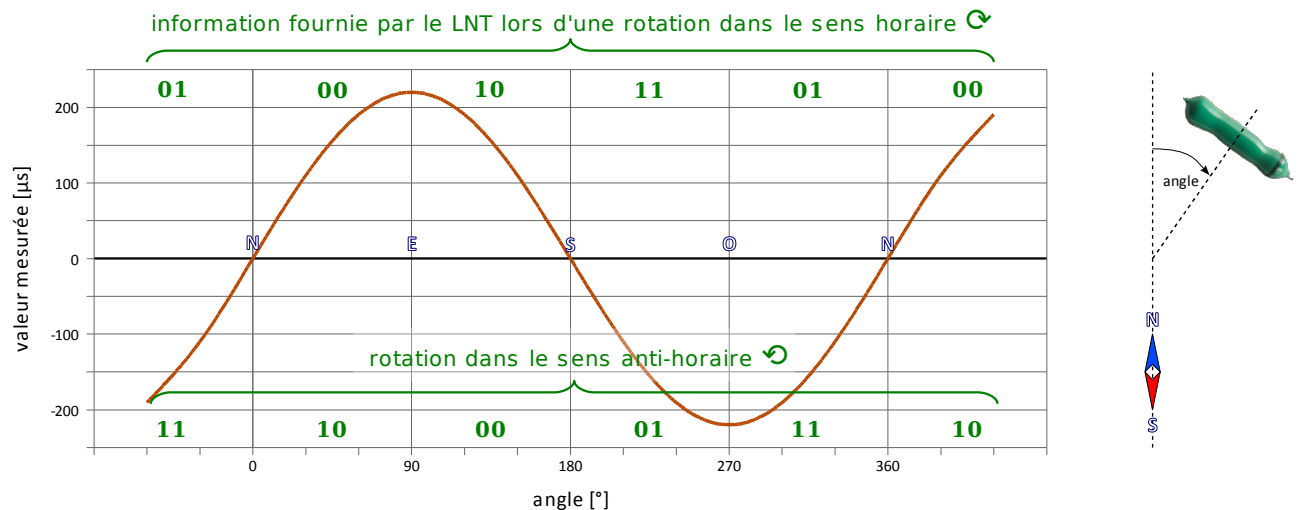
La raquette envoie le message suivant : **02 06 04**

Le LNT répond avec un message comprenant 2 octets : **01 xx**

Le deuxième octet **xx** peut prendre les valeurs **00**, **01**, **10** ou **11** en fonction de la valeur mesurée (voir principe de fonctionnement du capteur magnéto-inductif page 46)

- Le premier chiffre indique le sens de variation de la valeur mesurée. Lorsqu'il change de valeur, il permet de déterminer la position de l'est et de l'ouest.
- Le second chiffre indique le signe de la valeur mesurée. Lorsqu'il change de valeur, il permet de déterminer la position du nord et du sud.

1er chiffre	2ème chiffre
<b>0</b> : la valeur mesurée augmente	<b>0</b> : la valeur mesurée > 0
<b>1</b> : la valeur mesurée diminue (ou reste stable)	<b>1</b> : la valeur mesurée < 0



Lors de la procédure d'alignement, le télescope commence par tourner dans le sens horaire à grande vitesse jusqu'à obtenir le passage du deuxième chiffre de la valeur **1** à **0** ce qui correspond au franchissement du nord magnétique.

Ensuite il revient en arrière (sens anti-horaire) en petite vitesse jusqu'à obtenir le passage du deuxième chiffre de la valeur **0** à **1** pour localiser précisément la position du nord.

Lors de la recherche du nord par la raquette, la période d'interrogation du LNT est de 110ms.

#### Sélection de l'information « Niveau »

La raquette envoie le message suivant : **02 06 02**

Si la commande a bien été prise en compte, le LNT répond avec le message : **00**

La raquette attend ensuite 300ms avant de demander la valeur de l'information « Niveau »

#### Interrogation « Niveau »

La raquette envoie le message suivant : **02 06 05**

Le LNT répond avec un message comprenant 5 octets : **04 t1<sub>H</sub> t1<sub>L</sub> t2<sub>H</sub> t2<sub>L</sub>**

Les octets **t1<sub>H</sub>** et **t1<sub>L</sub>** correspondent à la durée à l'état haut du signal Xout de l'accéléromètre MXD2020E.

Les octets **t2<sub>H</sub>** et **t2<sub>L</sub>** correspondent à la durée à l'état bas du signal Xout de l'accéléromètre MXD2020E.

Ces deux durées sont codées sur 16bits avec une précision de 500ns.

Pour connaître l'angle d'inclinaison, on calcule le rapport cyclique :  $\alpha = \frac{t1}{t1+t2}$

On calcule ensuite l'angle d'inclinaison :  $\theta = \arcsin\left(\frac{\alpha-0,5}{0,2}\right)$

*Remarque* : Lors de la mesure du niveau, la raquette interroge 10 fois consécutives le LNT avec une période d'interrogation de 110ms.

#### Sélection de l'information « Tilt »

La raquette envoie le message suivant : **02 06 09**

Si la commande a bien été prise en compte, le LNT répond avec le message : **00**

La raquette attend ensuite 300ms avant de demander la valeur de l'information « Tilt »

#### Interrogation « Tilt »

La raquette envoie le message suivant : **02 06 05**. L'obtention de l'information « Tilt » se fait exactement de la même manière que pour l'information « Niveau ».

Le LNT répond avec un message comprenant 5 octets : **04 t1<sub>H</sub> t1<sub>L</sub> t2<sub>H</sub> t2<sub>L</sub>**

Les octets **t1<sub>H</sub>** et **t1<sub>L</sub>** correspondent à la durée à l'état haut du signal Yout de l'accéléromètre MXD2020E.

Les octets **t2<sub>H</sub>** et **t2<sub>L</sub>** correspondent à la durée à l'état bas du signal Yout de l'accéléromètre MXD2020E.

### Sélection de l'information «Date & Heure»

La raquette envoie le message suivant : **04 06 06 D0 00**

Si la commande à bien été prise en compte, le LNT répond avec le message : **00**

La raquette attend ensuite 220ms avant de demander la valeur de l'information «Date & Heure»

### Interrogation « Date & Heure »

La raquette envoie le message suivant : **04 06 07 07 D1**

Le LNT répond avec un message comprenant 5 octets : **07 sc mn hr nn jr mo an**

La signification de ces octets est la suivante :

**sc** : secondes ; **mn** : minutes ; **hr** : heures ; **nn** : n° du jour dans la semaine (valeur de 1 à 7)

**jr** : jour ; **mo** : mois ; **an** : année (sur deux chiffres uniquement).

Toutes ces valeurs sont codées en BCD.

*Remarque* : Lors de l'interrogation, la raquette interroge plusieurs fois le LNT jusqu'à constater une évolution des secondes.

### Réglage « Date & Heure »

La raquette envoie le message suivant : **0B 06 06 D0 00 sc mn hr nn jr mo an**

**sc** : secondes ; **mn** : minutes ; **hr** : heures ; **nn** : n° du jour dans la semaine (valeur de 1 à 7)

**jr** : jour ; **mo** : mois ; **an** : année (sur deux chiffres uniquement).

Toutes ces valeurs sont codées en BCD.

Si la commande à bien été prise en compte, le LNT répond avec le message : **00**

### Configuration de la LED du chercheur « SmartFinder »

La raquette envoie le message suivant : **05 06 08 int ton toff**

Si la commande à bien été prise en compte, le LNT répond avec le message : **00**

L'octet **int** correspond à la valeur de l'intensité de la LED.

L'octet **ton** correspond à la durée d'allumage de la LED en 10<sup>ème</sup> de seconde.

L'octet **toff** correspond à la durée d'extinction de la LED en 10<sup>ème</sup> de seconde.

L'intensité de la LED est modulée en PWM, son rapport cyclique correspond à  $\alpha = \frac{\text{int}}{255}$ .

### Résumé des différentes commandes du LNT

	Commande envoyée par la raquette	Réponse du LNT
Recherche périphérique	<b>02 06 00</b>	<b>01 01</b>
Sélection information « Nord »	<b>02 06 01</b>	<b>00</b>
Interrogation « Nord »	<b>02 06 04</b>	<b>01 xx</b>
Sélection information «Niveau»	<b>02 06 02</b>	<b>00</b>
Interrogation «Niveau»	<b>02 06 05</b>	<b>04 t1<sub>H</sub> t1<sub>L</sub> t2<sub>H</sub> t2<sub>L</sub></b>
Sélection information «Tilt»	<b>02 06 09</b>	<b>00</b>
Interrogation «Tilt»	<b>02 06 05</b>	<b>04 t1<sub>H</sub> t1<sub>L</sub> t2<sub>H</sub> t2<sub>L</sub></b>
Sélection information «Date & Heure»	<b>04 06 06 D0 00</b>	<b>00</b>
Interrogation «Date & Heure»	<b>04 06 07 07 D1</b>	<b>07 sc mn hr nn jr mo an</b>
Réglage «Date & Heure»	<b>0B 06 06 D0 00 sc mn hr nn jr mo an</b>	<b>00</b>
Configuration « SmartFinder »	<b>05 06 08 it ton toff</b>	<b>00</b>

## Capture du dialogue entre la raquette et le LNT lors de la phase d'alignement

**Légende :** > {commande de la raquette} : {réponse du LNT}

### Recherche des périphériques 56, 06 & 08

```
> 02 56 00 : FF
> 02 06 00 : 01 01
> 02 08 00 : FF
```

### Lecture de l'heure et de la date

```
> 04 06 06 D0 00 : 00
> 04 06 07 07 D1 : 07 33 25 19 01 06 05 09
> 04 06 06 D0 00 : 00
> 04 06 07 07 D1 : 07 34 25 19 01 06 05 09
```

### Recherche du périphérique 01

```
> 02 01 01 : FF
```

### Lecture Niveau

```
> 02 06 02 : 00
> 02 06 05 : 04 2A C9 24 07
> 02 06 05 : 04 2A C7 24 19
> 02 06 05 : 04 2A AF 24 2D
> 02 06 05 : 04 2A E9 24 01
> 02 06 05 : 04 2A C1 24 29
> 02 06 05 : 04 2A C7 24 23
> 02 06 05 : 04 2A A7 24 13
> 02 06 05 : 04 2A C7 24 09
> 02 06 05 : 04 2A C7 24 11
> 02 06 05 : 04 2A C9 24 25
```

### Recherche Nord (rotation sens horaire)

```
> 02 06 01 : 00
> 02 06 04 : 01 11
> 02 06 04 : 01 11
> || || || : || ||
> 02 06 04 : 01 11
> 02 06 04 : 01 11
> 02 06 04 : 01 01
> 02 06 04 : 01 01
> || || || : || ||
> 02 06 04 : 01 01
> 02 06 04 : 01 01
> 02 06 04 : 01 00
```

### Lecture Niveau

```
> 02 06 02 : 00
> 02 06 05 : 04 26 FF 27 ED
> 02 06 05 : 04 27 03 27 F5
> 02 06 05 : 04 27 0D 27 E1
> 02 06 05 : 04 27 0F 27 E7
> 02 06 05 : 04 27 0D 27 E7
> 02 06 05 : 04 27 07 27 F1
> 02 06 05 : 04 27 07 27 F1
> 02 06 05 : 04 27 03 27 ED
> 02 06 05 : 04 27 0D 27 E9
> 02 06 05 : 04 27 0B 27 DD
```

### Recherche Nord (rotation sens anti-horaire)

```
> 02 06 01 : 00
> 02 06 04 : 01 10
> 02 06 04 : 01 10
> || || || : || ||
> 02 06 04 : 01 10
> 02 06 04 : 01 10
> 02 06 04 : 01 11
```

### Lecture Tilt

```
> 02 06 09 : 00
> 02 06 05 : 04 27 4F 27 A9
> 02 06 05 : 04 27 57 27 A7
> 02 06 05 : 04 27 57 27 BB
> 02 06 05 : 04 27 4D 27 A7
> 02 06 05 : 04 27 57 27 BF
> 02 06 05 : 04 27 4B 27 B9
> 02 06 05 : 04 27 4D 27 9F
> 02 06 05 : 04 27 55 27 A5
> 02 06 05 : 04 27 57 27 B9
> 02 06 05 : 04 27 59 27 91
```

### Lecture Niveau

```
> 02 06 02 : 00
> 02 06 05 : 04 27 17 27 E7
> 02 06 05 : 04 27 1D 27 E7
> 02 06 05 : 04 27 1D 27 E5
> 02 06 05 : 04 27 1B 27 ED
> 02 06 05 : 04 27 25 27 E3
> 02 06 05 : 04 27 1B 27 DB
> 02 06 05 : 04 26 E3 27 D7
> 02 06 05 : 04 27 77 27 81
> 02 06 05 : 04 27 59 27 F9
> 02 06 05 : 04 26 ED 28 07
```

### Lecture Tilt

```
> 02 06 09 : 00
> 02 06 05 : 04 27 5B 27 A7
> 02 06 05 : 04 27 63 27 A9
> 02 06 05 : 04 27 63 27 9F
> 02 06 05 : 04 27 63 27 A3
> 02 06 05 : 04 27 5B 27 9D
> 02 06 05 : 04 27 73 27 A1
> 02 06 05 : 04 27 5F 27 A5
> 02 06 05 : 04 27 61 27 B7
> 02 06 05 : 04 27 59 27 A9
> 02 06 05 : 04 27 65 27 9F
```

### Sélection information Niveau

```
> 02 06 02 : 00
> 02 06 02 : 00
> 02 06 02 : 00
> 02 06 02 : 00
> 02 06 02 : 00
```

### Allumage de la LED du chercheur

```
> 05 06 08 26 05 0F : 00
```