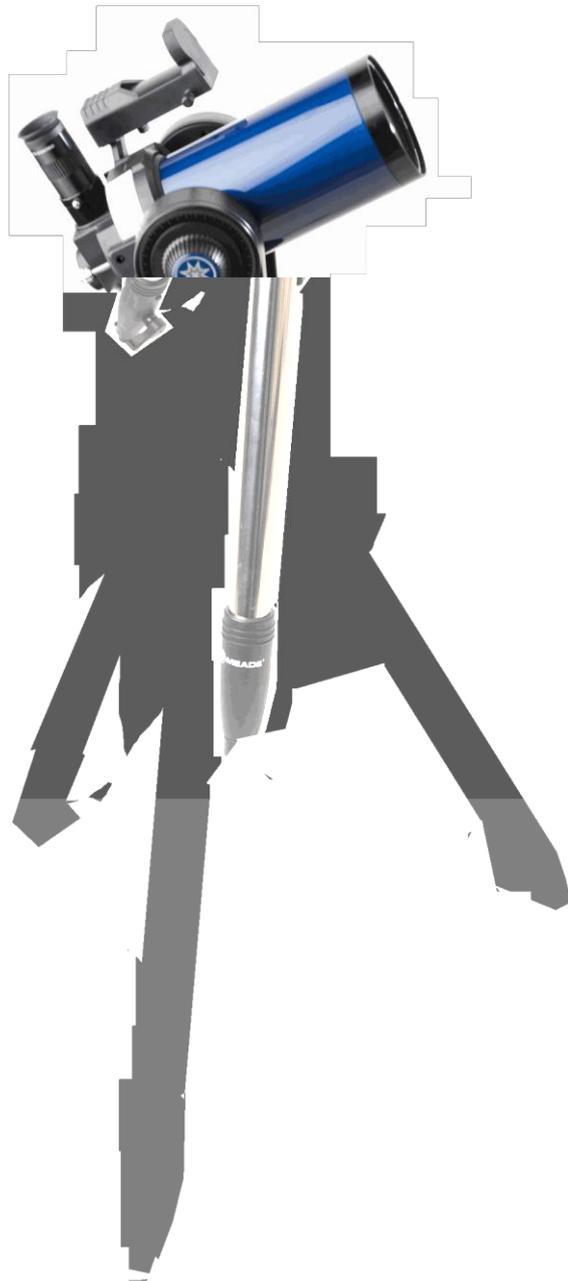


Télescope

Dossier technique



SOMMAIRE



Présentation du système

P1	Préambule
P1	La problématique de l'observation des astres
P2	Les instruments d'observation <ul style="list-style-type: none">- Principes optiques- La problématique du pointage et du suivi d'un objet céleste :- Les montures
P3	Le télescope Meade ETX90
P4	Optique d'observation
P5	Vue schématisée des axes motorisés
P6	Données techniques complémentaires
P6	Mise en œuvre

Approche fonctionnelle

P7	Expression du besoin fondamental (diagramme "bête à cornes")
P7	Chaînes d'énergie et d'information
P8	Diagramme "pieuvre"
P9 à P10	Diagramme FAST
P11 à P12	Analyse descendante
P13 à P17	Schéma fonctionnel

Approche matérielle

P18	Schéma général des interconnexions
P19 à P20	Vues d'ensemble du télescope
P21	Données techniques de la fourche et de l'embase du télescope
P22	Perspective éclatée et nomenclature du motoréducteur Azimut
P23	Perspective éclatée et nomenclature du motoréducteur Altitude
P24	Carte électronique raquette Autostar
P25	Carte électronique contrôleur moteur azimut
P26	Caractéristiques techniques détaillée des moteurs

Données techniques fabricant

P27	Caractéristiques techniques générales du modèle ETX90PE
P28	Catactéristiques techniques générales de la raquette Autostar



Préambule :

L'observation du ciel a de tous temps été une activité coutumière de l'Homme, que ce soit en lien avec des croyances puis par curiosité scientifique ou pour des motifs purement pratiques tels que la détermination des saisons et des phases de la lune ou l'orientation nocturne.

L'astronomie est née de l'observation à l'œil nu des astres* mais elle s'est véritablement développée vers le début du XVII^{ème} siècle avec l'invention des instruments optiques que nous connaissons, à savoir la lunette astronomique et le télescope. Depuis ces inventions, cette science progresse au rythme du perfectionnement des moyens d'observation qui ne se limitent plus au rayonnement visible mais qui couvrent l'ensemble du spectre, du rayonnement gamma jusqu'aux ondes radio, en passant par les rayons X ou infrarouges. L'utilisation de procédés nouveaux tels que l'optique adaptative, l'interférométrie ou l'envoi d'instruments dans l'espace permettent de faire progresser chaque jour notre connaissance de l'univers.

Dans ce contexte l'astronomie en tant que loisir à caractère scientifique passionne de nombreux amateurs et un réseau de fabricants et de distributeurs leur propose une gamme étendue de produits allant de la lunette «jouet» au télescope de plusieurs centaines de millimètres de diamètre. Les instruments d'observation proposés au grand public profitent des avancées techniques les plus récentes et représentent souvent un concentré de technologie en alliant des capacités optiques et des fonctions mécatroniques destinées à simplifier leur utilisation.

(*) astre ou objet céleste : le plus communément étoile mais aussi amas, nébuleuse, galaxie, planète, satellite...

1. La problématique de l'observation des astres :

La qualité d'une observation du ciel nocturne repose sur 2 paramètres :

- la quantité de lumière collectée autrement dit la quantité de photons qui parviennent à l'œil.
- la finesse des images c'est-à-dire le niveau de détails observables.

La luminosité des objets célestes vus de la Terre se caractérise par une grandeur spécifique appelée magnitude apparente. L'échelle des magnitudes est une fonction logarithmique inverse de la luminosité : la magnitude 0 correspond à la luminosité de l'étoile Véga qui sert de référence, cette magnitude prend -1 à chaque multiplication de la luminosité par 2,51 et +1 à chaque division par 2,51. Par exemple Vénus présente une magnitude apparente pouvant atteindre -4,6 ce qui correspond à une luminosité vue de la Terre 60 fois plus grande que Sirius.

L'œil nu « normal » permet de distinguer, dans de bonnes conditions de ciel nocturne, environ 6000* astres pour l'ensemble de la sphère céleste, dans une gamme du plus brillante comme Vénus jusqu'à une magnitude apparente de 6 cad 250 fois moins brillante que l'étoile de référence. Ce chiffre de 6000 peut sembler élevé mais il est à rapprocher des estimations à 100 milliards d'étoiles de notre galaxie et 100 milliards de galaxies que compte l'univers.

La lumière est collectée par la pupille de l'œil dont le diamètre vaut environ 6mm en conditions nocturnes (dilatation maximale). L'utilisation d'un instrument d'observation permet d'augmenter la quantité de lumière reçue par la pupille. Par exemple si on prend un instrument avec une ouverture de 60mm la surface collectant la lumière est multipliée par 10 donc la quantité de lumière atteignant la pupille est multipliée par 100, ce qui fait gagner 5 magnitudes. Autrement dit on peut alors observer des objets jusqu'à une magnitude de 11, ce qui donne des dizaines de milliers d'objets observables au lieu de 6000.

(*) Seuls 2000 astres sont en fait observables en un point donné et à un instant donné.

La finesse des images observables est liée au pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur de l'instrument, cela correspond à la taille angulaire minimale d'un objet ou à la séparation angulaire minimale de deux objets pour qu'ils soient vus distinctement. Une formule empirique donne $R = 125/D$ avec R : pouvoir de résolution en secondes d'arc (") et D : diamètre de l'objectif en mm.

Pour le télescope présenté plus loin, dont le diamètre $D = 90\text{mm}$, la formule donne un pouvoir de résolution $R = 1,39''$. Sachant qu'une seconde d'arc correspond en moyenne à 1,9km sur la lune, ce télescope permet donc de distinguer des détails de 2,6km minimum sur cet astre.

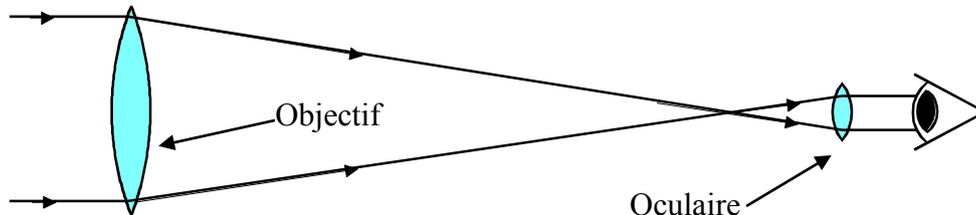


2. Les instruments d'observation :

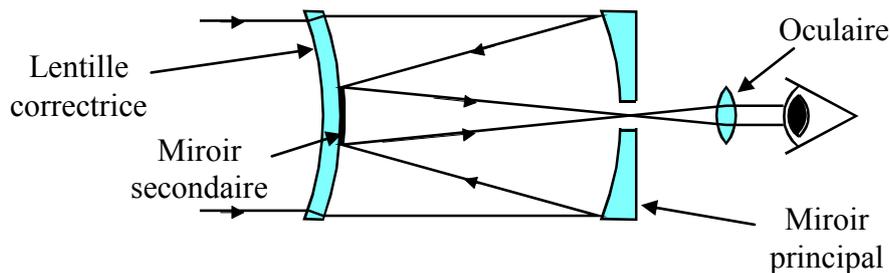
Principes optiques :

On rencontre de nombreux types d'instruments. On peut toutefois les classer en deux catégories :

- La lunette astronomique : ce type ne comporte que des lentilles. Malgré son encombrement cet instrument est toujours prisé par nombre d'astronomes amateurs par ses qualités optiques.



- Le télescope* : ce type combine miroirs et lentilles, ce qui lui permet d'être plus compact et plus léger qu'une lunette de caractéristiques équivalentes. De nombreuses variantes existent. Le télescope Meade ETX 90 est de type Maksutov-Cassegrain, type caractérisé par l'utilisation de miroirs et d'une lentille de correction, tous de forme semi-sphérique assez simple à réaliser.



(*) Nota : en anglais le terme « télescope » désigne indifféremment la lunette ou le télescope tels que décrits ci-dessus

La problématique du pointage et du suivi d'un objet céleste :

L'observation du ciel par un amateur à l'aide d'un instrument optique présente 2 difficultés :

- Le pointage de l'instrument sur l'objet à observer, autrement dit son positionnement pour avoir l'objet dans son champ de vision. Sachant qu'un télescope d'amateur permet d'observer jusqu'à plusieurs milliers d'objets célestes, le pointage rapide et précis de l'instrument est une étape importante de sa mise en œuvre.
- Le suivi de l'objet céleste dans le temps : la rotation de la terre sur son axe fait que l'objet observé quitte rapidement le champ de l'instrument. La compensation automatique du déplacement terrestre permet d'observer confortablement un astre sur une durée intéressante.

La motorisation des montures des instruments, pilotée par ordinateur, permet de réaliser simplement les 2 opérations précédentes : le pointage automatique vers un objet sélectionné dans une base de données mémorisée dans l'appareil et le suivi de cet objet dans la durée. Pour cela une opération préalable à toute observation est nécessaire, il s'agit de l'**alignement** de l'instrument.

- 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 aux coordonnées répertoriées de cet objet.



Les montures :

Les opérations d'alignement, pointage et suivi dépendent du type de monture de l'instrument : on rencontre essentiellement deux types :

- La monture équatoriale : la mise en station nécessite de placer l'axe de rotation de l'embase parallèle à l'axe de rotation de la terre, ensuite, une fois l'objet pointé, seul le déplacement en azimut du tube optique est nécessaire pour assurer le suivi. Cette monture présente l'inconvénient de créer d'importants porte-à-faux mécaniques complexes à équilibrer et elle ne peut s'utiliser que pour de petits instruments d'amateurs.
- La monture altazimutale : constituée d'un axe horizontal et d'un axe vertical. Cette monture est facile à équilibrer mais le suivi d'un objet nécessite de combiner des déplacements suivant les deux axes avec des vitesses liées à des polynômes assez complexes. La motorisation des axes de déplacement et le pilotage par ordinateur rend l'utilisation de ce type de monture à la portée du grand public.

3. Le télescope Meade ETX90

Ce télescope est un produit « grand public », à destination d'astronomes amateurs, caractérisé par sa facilité de mise en œuvre grâce à son alignement simplifié et son suivi automatique.

Photo d'ensemble



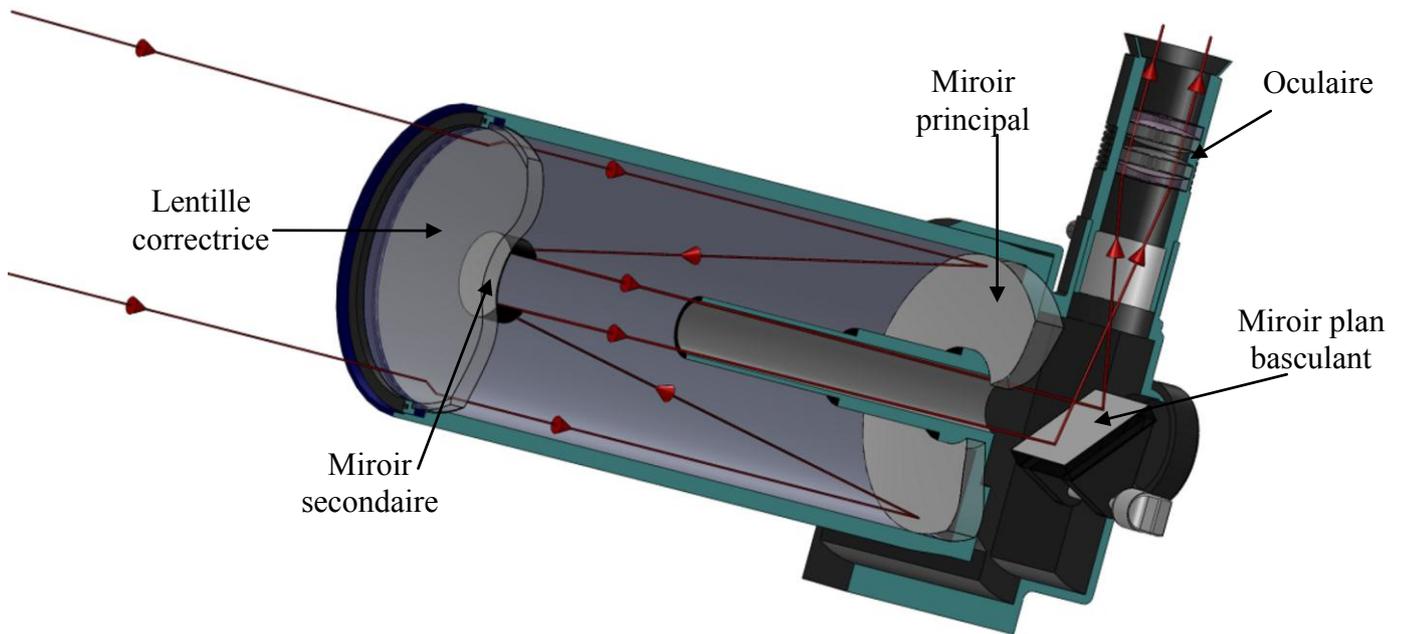


Optique d'observation :

- Son principe optique est de type Maksutov-Cassegrain comme indiqué plus haut.
- Son diamètre d'ouverture D vaut 90 mm et sa distance focale F vaut 1250 mm. Le rapport F/D de 13,8 le rend plus particulièrement adapté à l'observation planétaire.

Avec l'objectif de distance focale 26 mm, livré en standard, on obtient un grossissement de $1250/26 = 48$ avec un pouvoir séparateur (ou pouvoir de résolution) de 1,3 seconde d'arc. Avec d'autres oculaires on peut monter jusqu'à un grossissement de 225.

Vue en coupe de l'optique de l'ETX



Monture :

L'ensemble télescope + trépied permet de réaliser soit une monture équatoriale (photo 1) soit une monture altazimutale (photo 2)

Photo 1



Photo 2

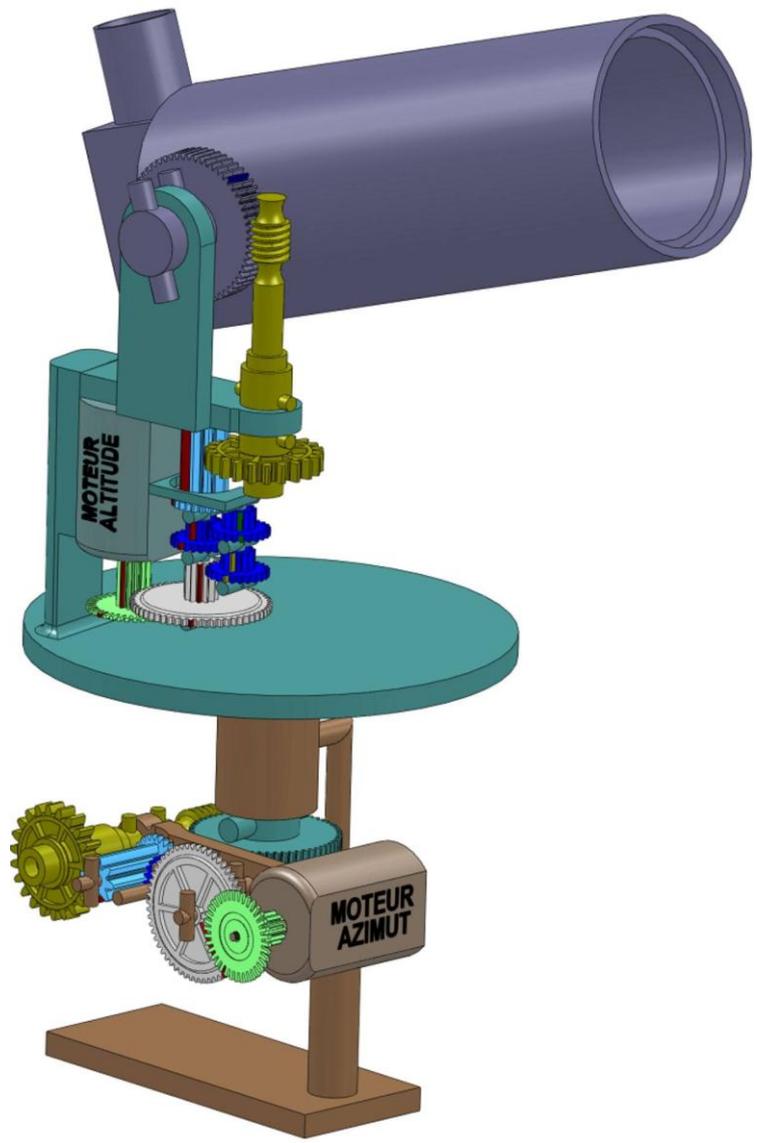




Vue schématisée des axes motorisés :

Les motoréducteurs intégrés dans l'embase et dans la fourche permettent d'automatiser les mouvements sur deux axes

Vue schématisée d'ensemble



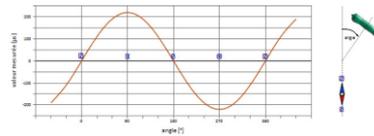


Données techniques complémentaires :

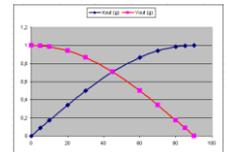
- Alimentation en 12V continu par piles, accus ou alimentation externe.
- Monture à fourche avec deux axes motorisés par moteurs à courant continu 12V + interfaces, réducteurs à trains d'engrenages + roue-vis-sans-fin et limiteurs de couple à friction. Fonctionnement en boucle fermée avec mesure du déplacement et de la vitesse par codeur incrémental sur l'axe de sortie des moteurs.
- Un module LNT (Level North Technology) intégrant le capteur de Nord magnétique, l'inclinomètre, l'horloge temps réel et le pointeur à diode laser « smartfinder ».



Boussole électronique :



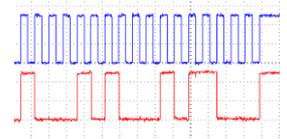
Inclinomètre :



- Une raquette « Autostar », avec clavier 25 touches et afficheur LCD, intégrant la base de données d'objets célestes et le calculateur pour effectuer les commandes manuelles et automatiques des déplacements, ainsi que la connexion série vers un PC.

Principales fonctionnalités commandables depuis l'Autostar :

- Alignement (semi-)automatique du télescope.
- Pointage automatique vers chacun des 30000 objets préenregistrés.
- Suivi automatique d'un objet céleste en mode altazimutal ou équatorial.
- Pointage manuel vers un objet céleste ou automatique à partir de ses coordonnées célestes.
- Sélection de la vitesse de rotation du télescope (9 vitesses disponibles)
- « Visite guidée » cad présentation automatique des objets célestes les plus intéressants selon le lieu, la date et l'heure de l'observation.



Mise en œuvre :

Avec son trépied inclinable et sa monture à fourches permettant le pivotement sur l'axe horizontal et l'axe vertical, ce télescope permet de travailler soit en alignement-suivi équatorial, soit en alignement-suivi altazimutal. Ce deuxième mode étant le plus simple à utiliser car presque entièrement automatique.

En mode altazimutal, après avoir spécifié le lieu d'observation et la date, il suffit de lancer la procédure d'alignement automatique. A l'aide de ses deux moteurs d'axes le télescope va chercher le Nord magnétique grâce à sa boussole intégrée, puis il enregistre la position de l'embase par rapport à l'horizontale grâce à son inclinomètre. Il effectue ensuite un pointage successivement vers deux étoiles brillantes qu'il suffit d'ajuster manuellement au centre du champ de vision puis de valider pour terminer l'opération. Le télescope est maintenant capable de pointer automatiquement tout objet répertorié dans sa base de données grâce à sa fonction GoTo. Par l'intermédiaire de la liaison vers ordinateur il est également possible de piloter le télescope à l'aide de logiciels dédiés, éventuellement à distance via Internet TCP/IP.

Nota : Pour une mise en œuvre complète consulter la notice de mise en service fournie par SET et le mode d'emploi fourni par le fabricant.



APPROCHE FONCTIONNELLE

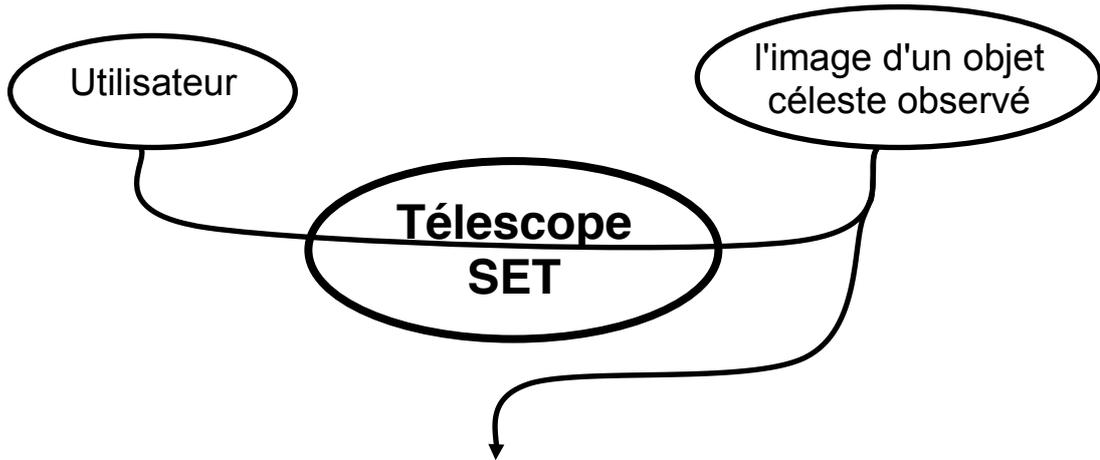
EXPRESSION DU BESOIN FONDAMENTAL (DIAGRAMME "BETE A CORNES")

De quoi s'agit-il ? D'un télescope

A qui sert-il ? A un utilisateur

Sur quoi agit-il ? Sur l'image d'un objet céleste observé

Pour quoi faire ? Grossir l'image et suivre automatiquement un objet céleste en mouvement par rapport à la terre



Grossir l'image et suivre automatiquement un objet céleste en mouvement par rapport à la terre

**ARCHITECTURE FONCTIONNELLE
DES CHÂÎNES D'ENERGIE ET D'INFORMATION**

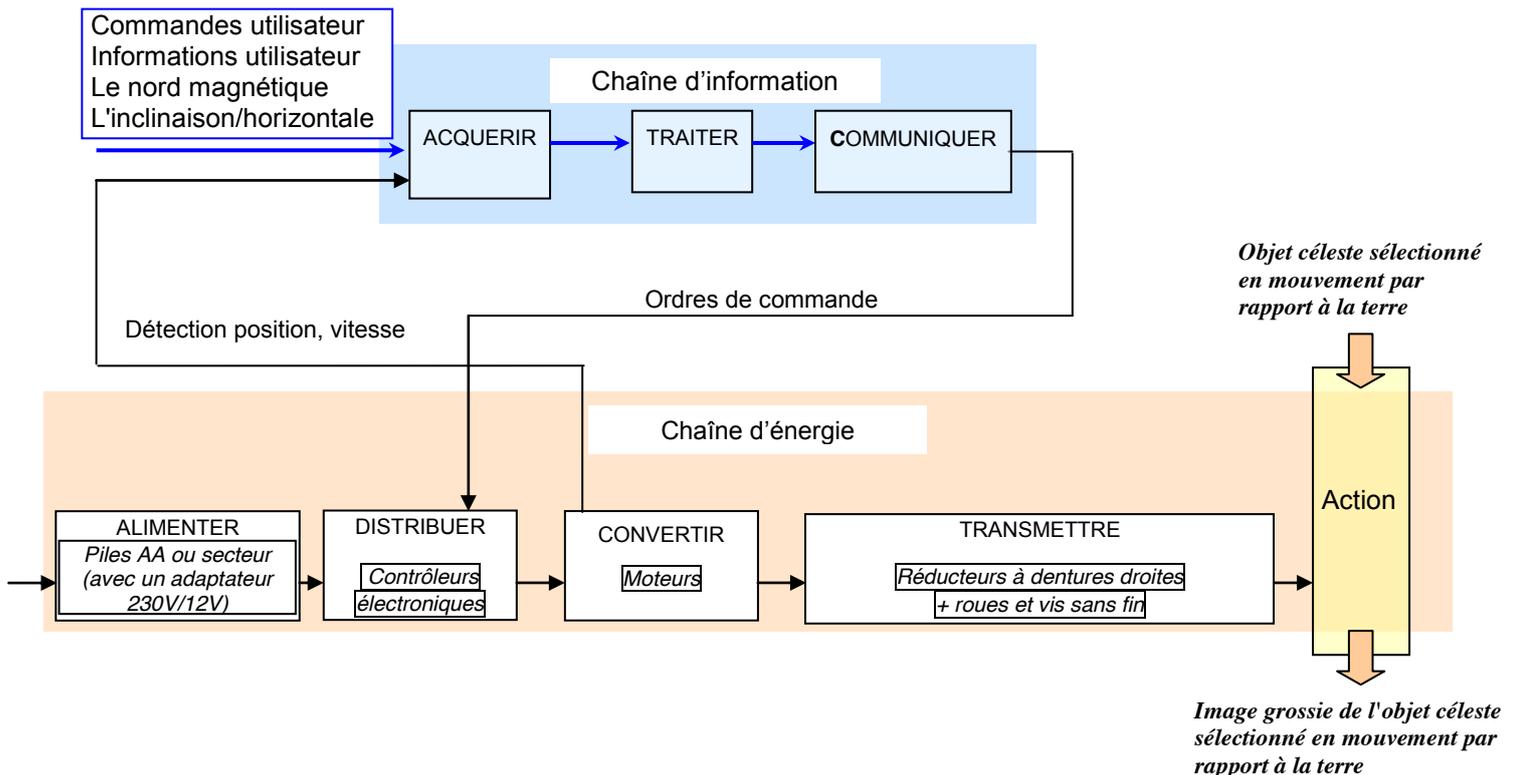
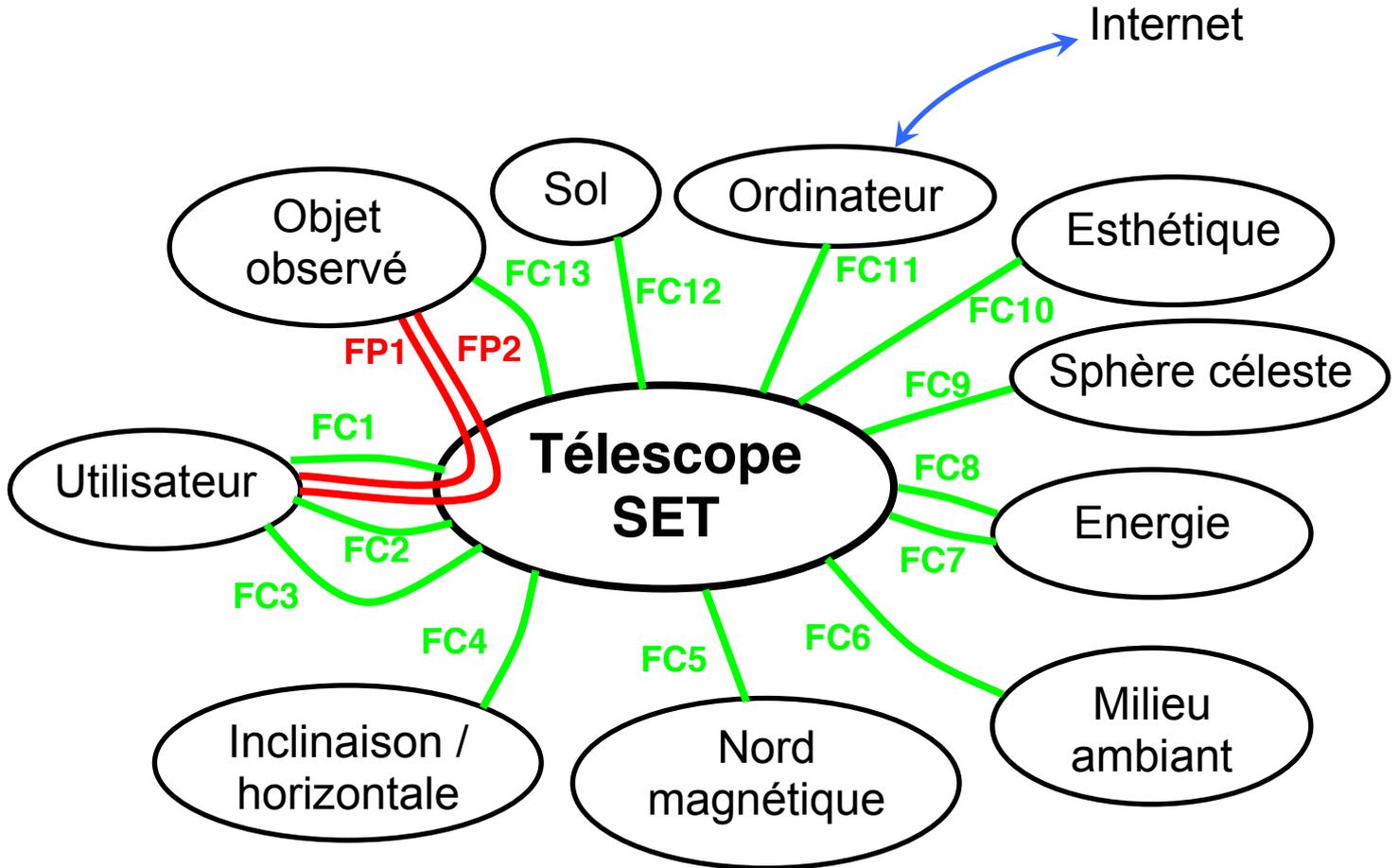




DIAGRAMME DES INTERACTEURS SIMPLIFIE (DIAGRAMME "PIEUVRE")



FP1 : **Grossir** l'image d'un objet observé

FP2 : **Mettre** un objet à observé dans le champ de l'oculaire

FC1 : Doit être simple à utiliser

FC2 : Spécifier le point d'observation (les coordonnées géographiques ainsi que la date et l'heure).

FC3 : Régler la netteté de l'image

FC4 : Mesurer l'inclinaison du télescope

FC5 : Mesurer le nord magnétique

FC6 : Doit résister au milieu ambiant

FC7 : Peut être indépendant énergétiquement

FC8 : Peut être raccordé à une autre source 12V DC

FC9 : Aligner le télescope par rapport à la sphère céleste

FC10 : Doit plaire à l'œil

FC11 : Communiquer avec un ordinateur

FC12 : Etre stable / sol

FC13 : Suivre l'objet observé en mouvement par rapport à la terre



Cas d'un objet céleste

DIAGRAMME FAST DES FONCTIONS FP1 ET FP2

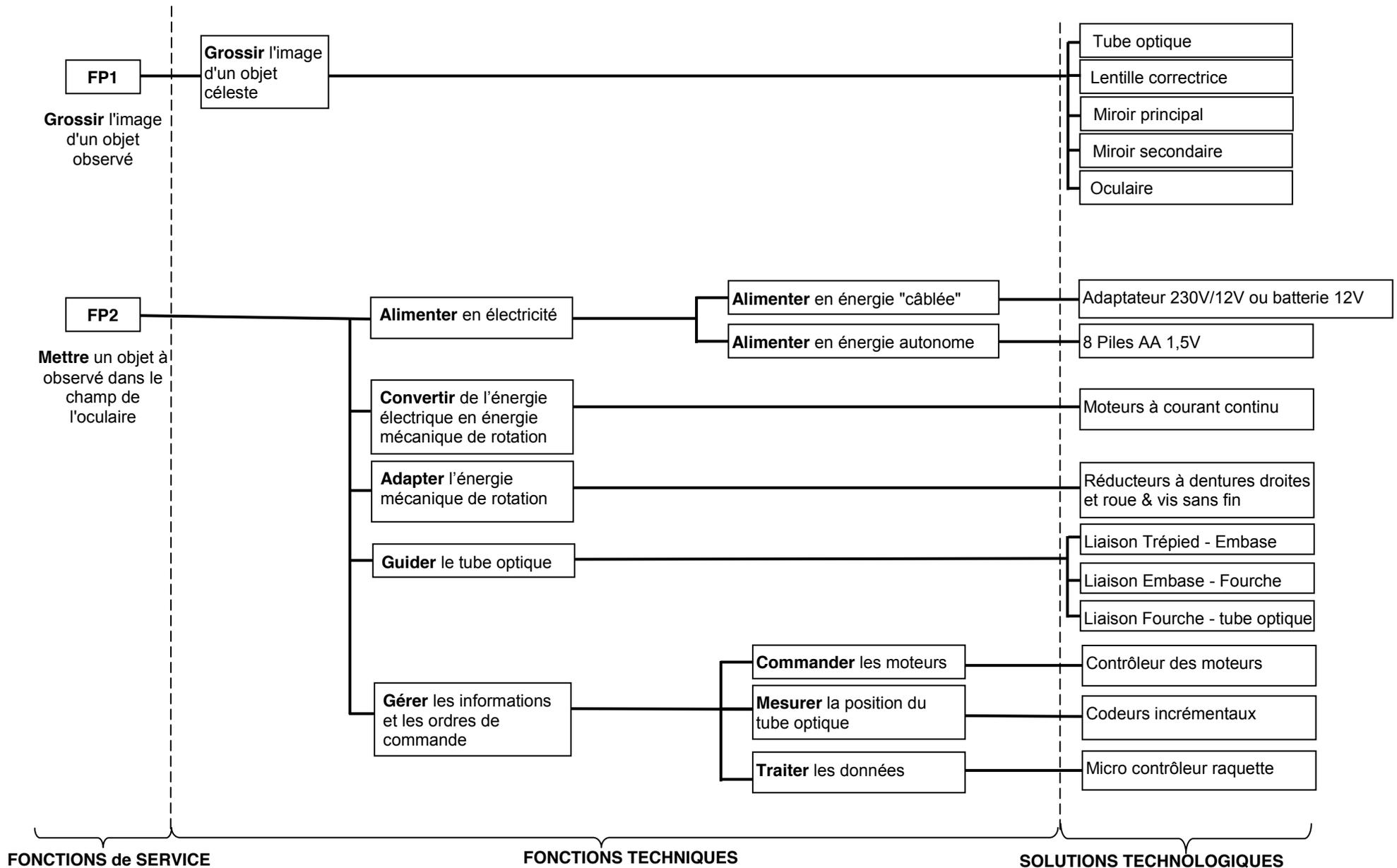
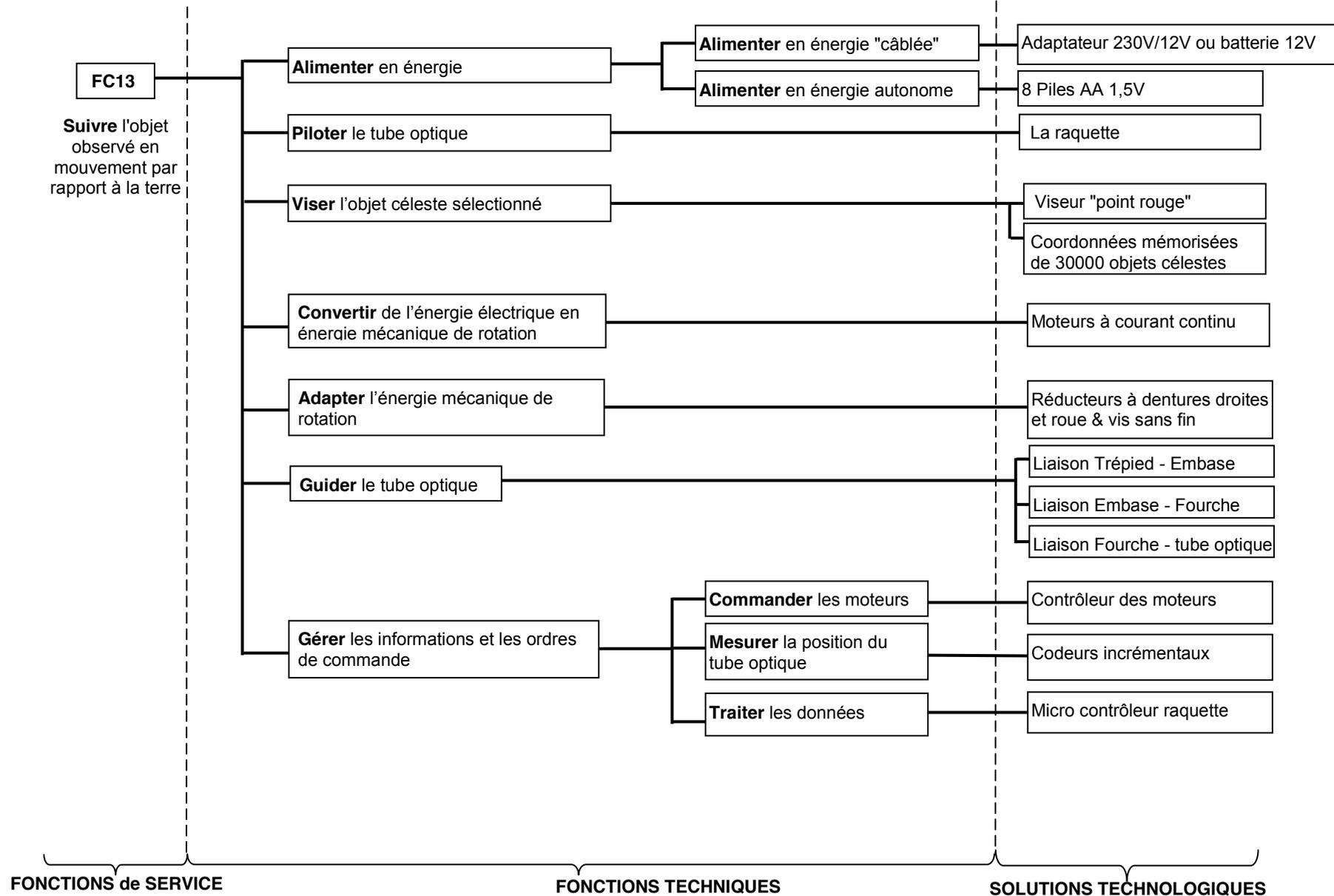




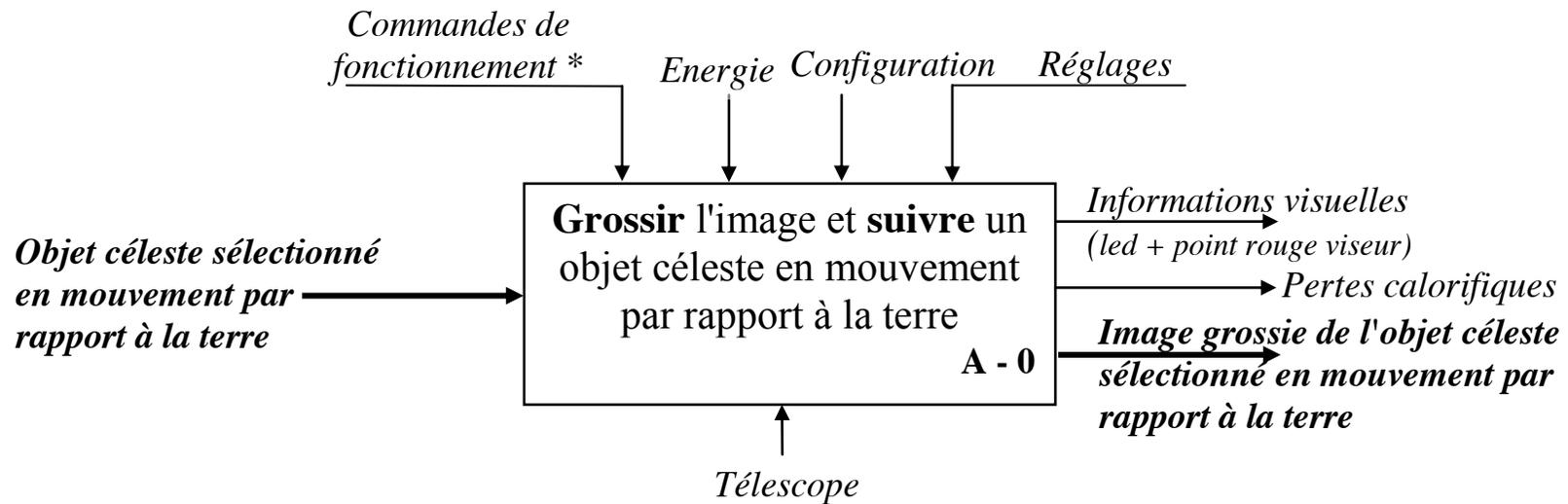
DIAGRAMME FAST DE LA FONCTION FC13





ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE Analyse descendante

Niveau A-0 : fonction d'usage

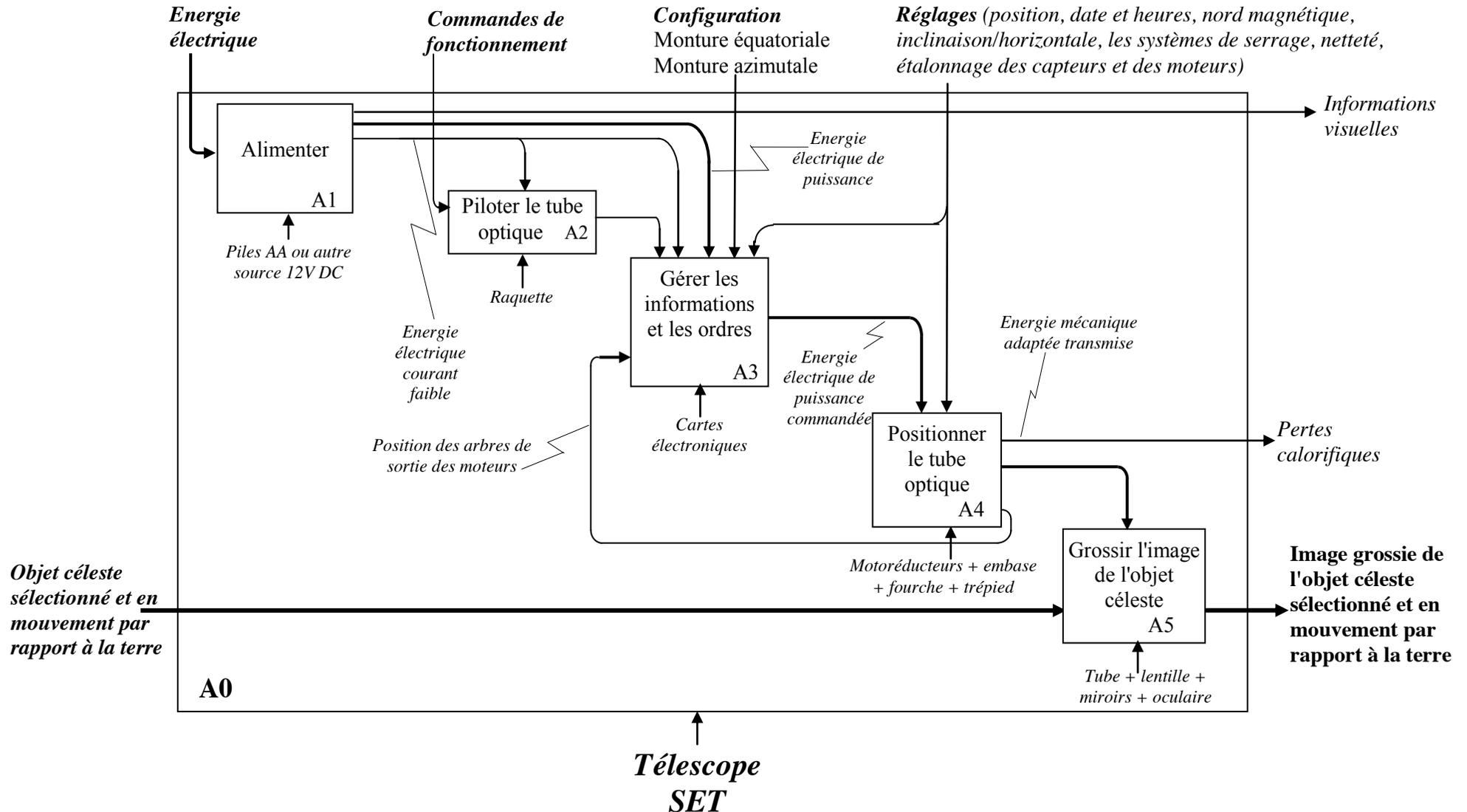


*Commandes de fonctionnement = Ordres donnés par l'utilisateur par l'intermédiaire de la raquette

Valeur ajoutée : Grossir l'image d'un objet céleste en mouvement par rapport à la terre

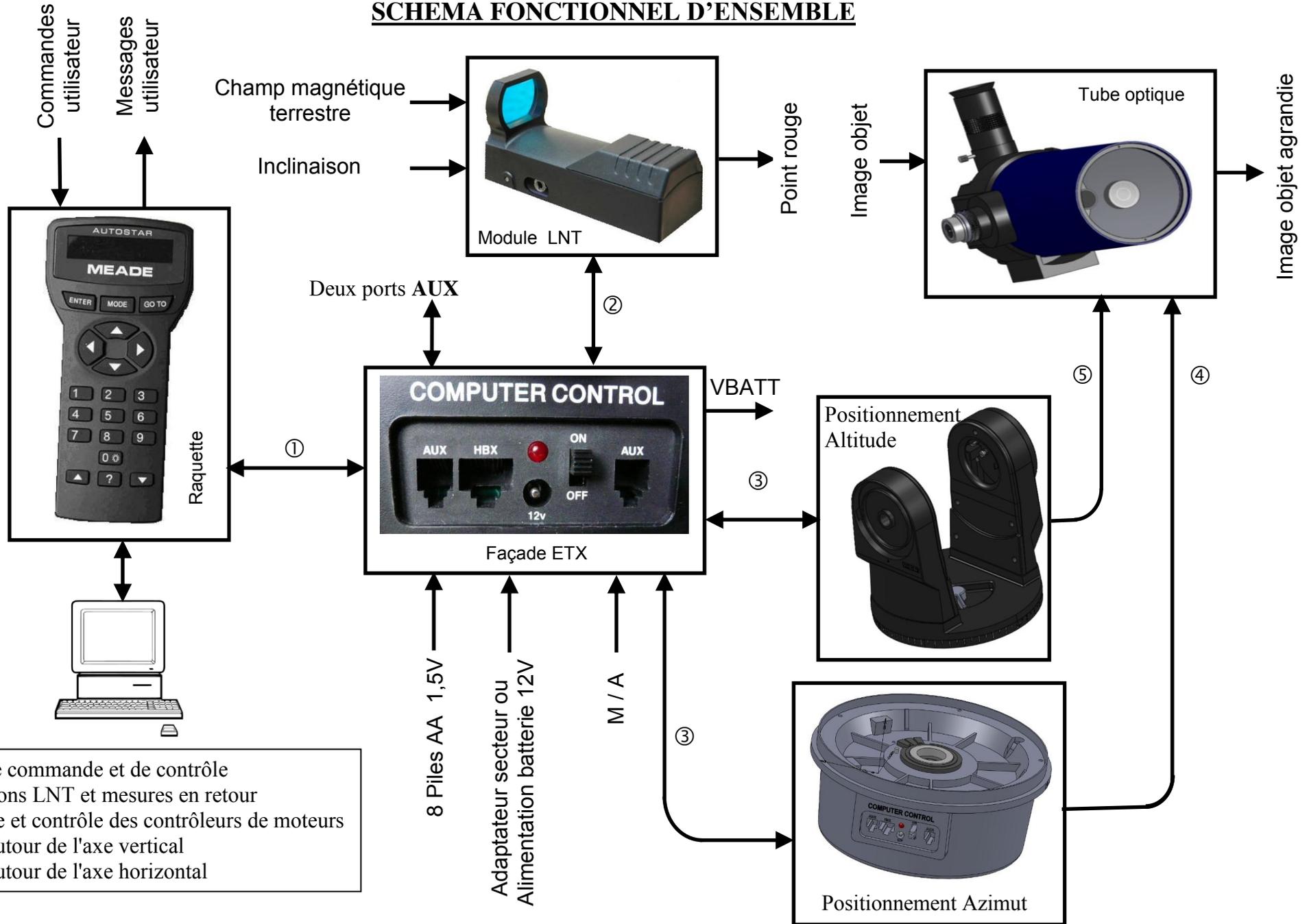


ACTIGRAMME A0





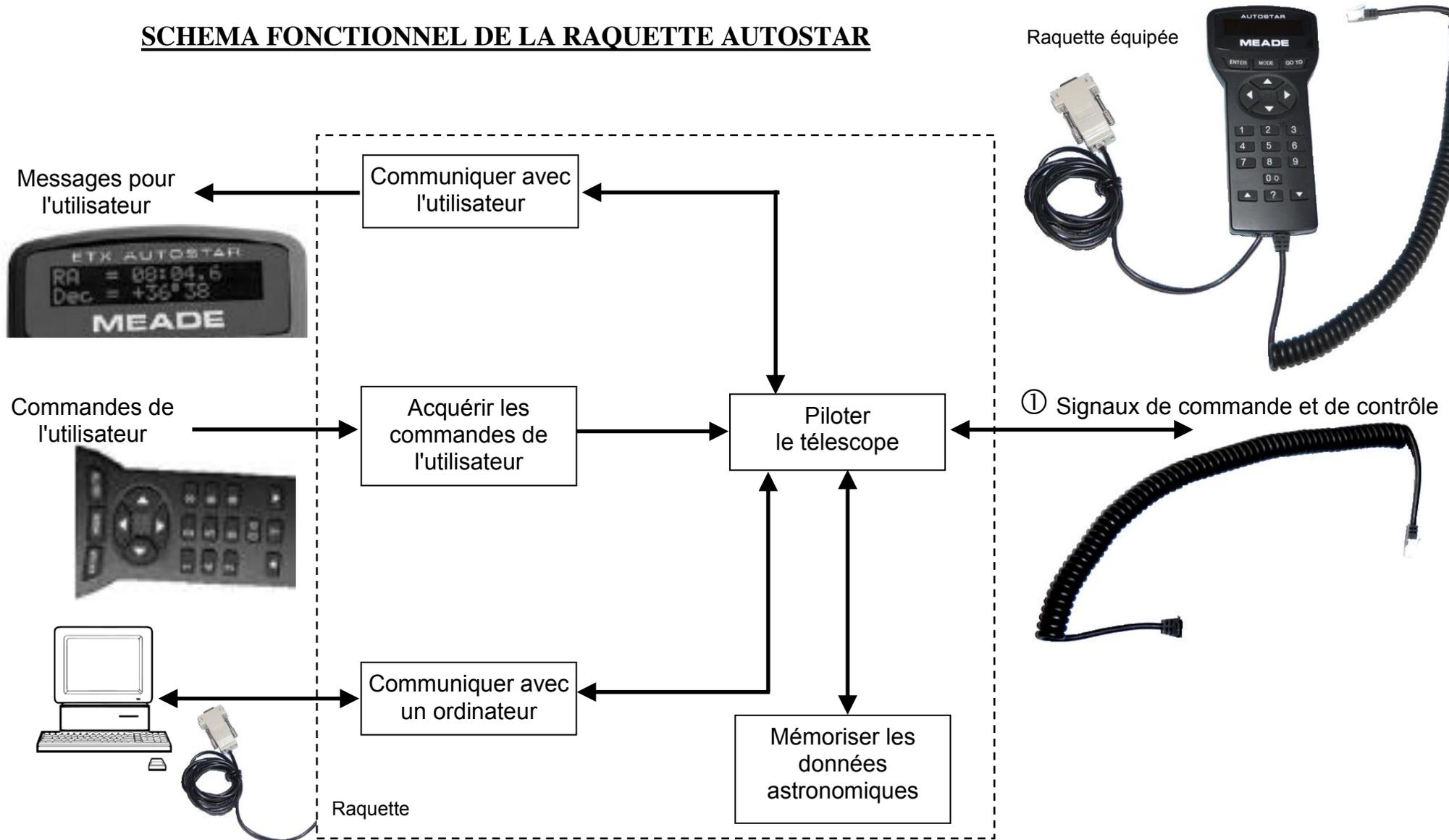
SCHEMA FONCTIONNEL D'ENSEMBLE



- ① Signaux de commande et de contrôle
- ② Interrogations LNT et mesures en retour
- ③ Commande et contrôle des contrôleurs de moteurs
- ④ Rotation autour de l'axe vertical
- ⑤ Rotation autour de l'axe horizontal

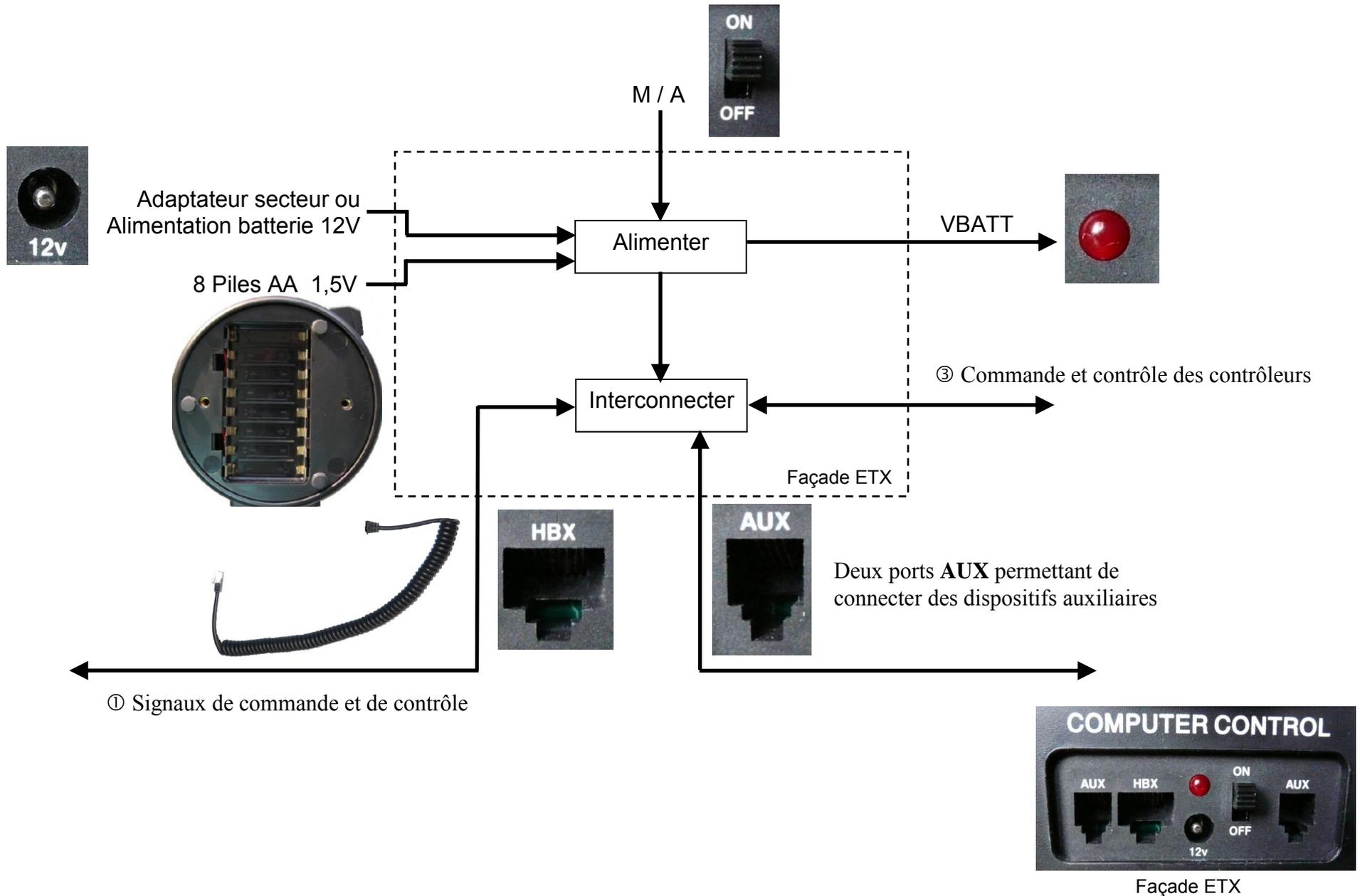


SCHEMA FONCTIONNEL DE LA RAQUETTE AUTOSTAR



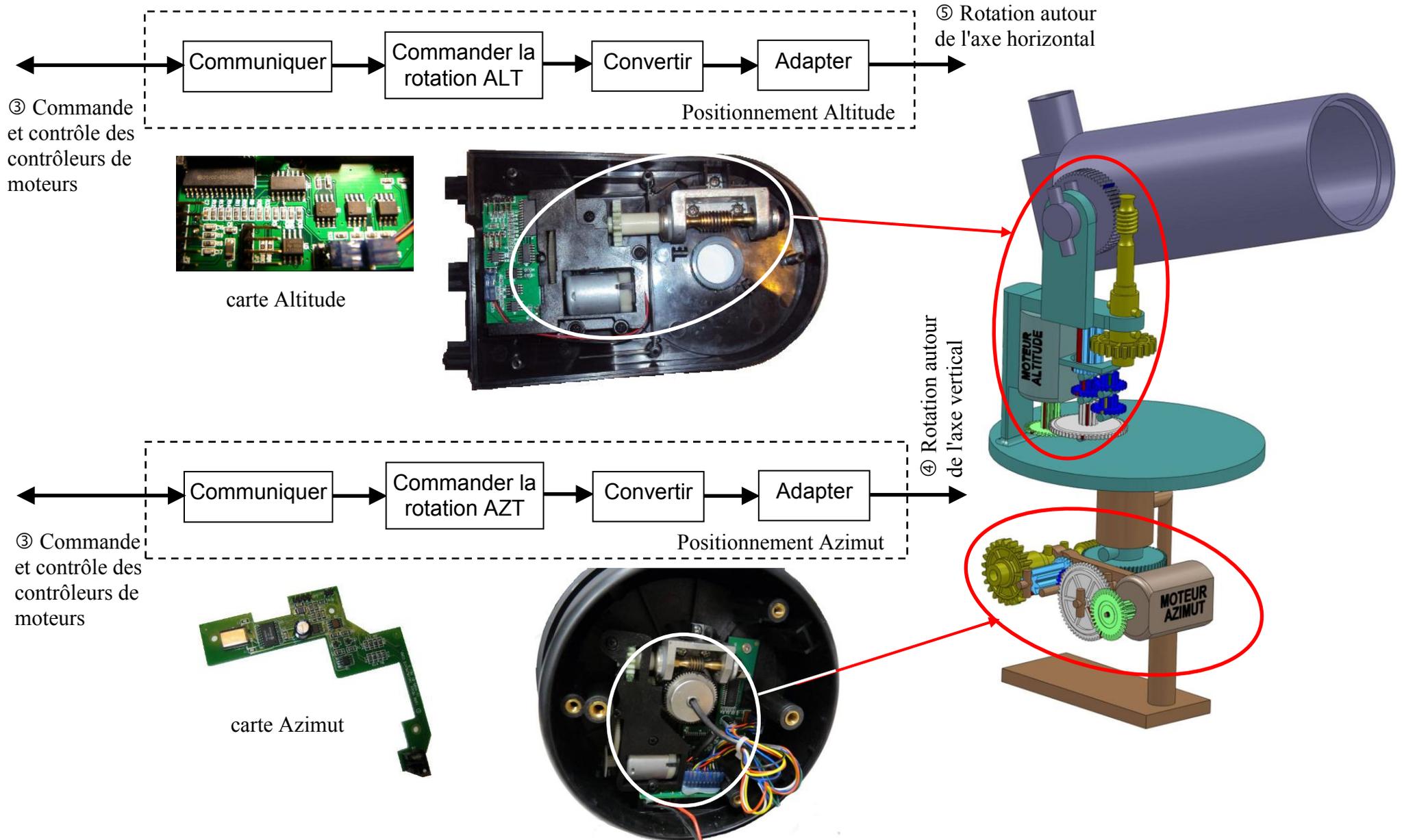


SCHEMA FONCTIONNEL DE LA FAÇADE ETX



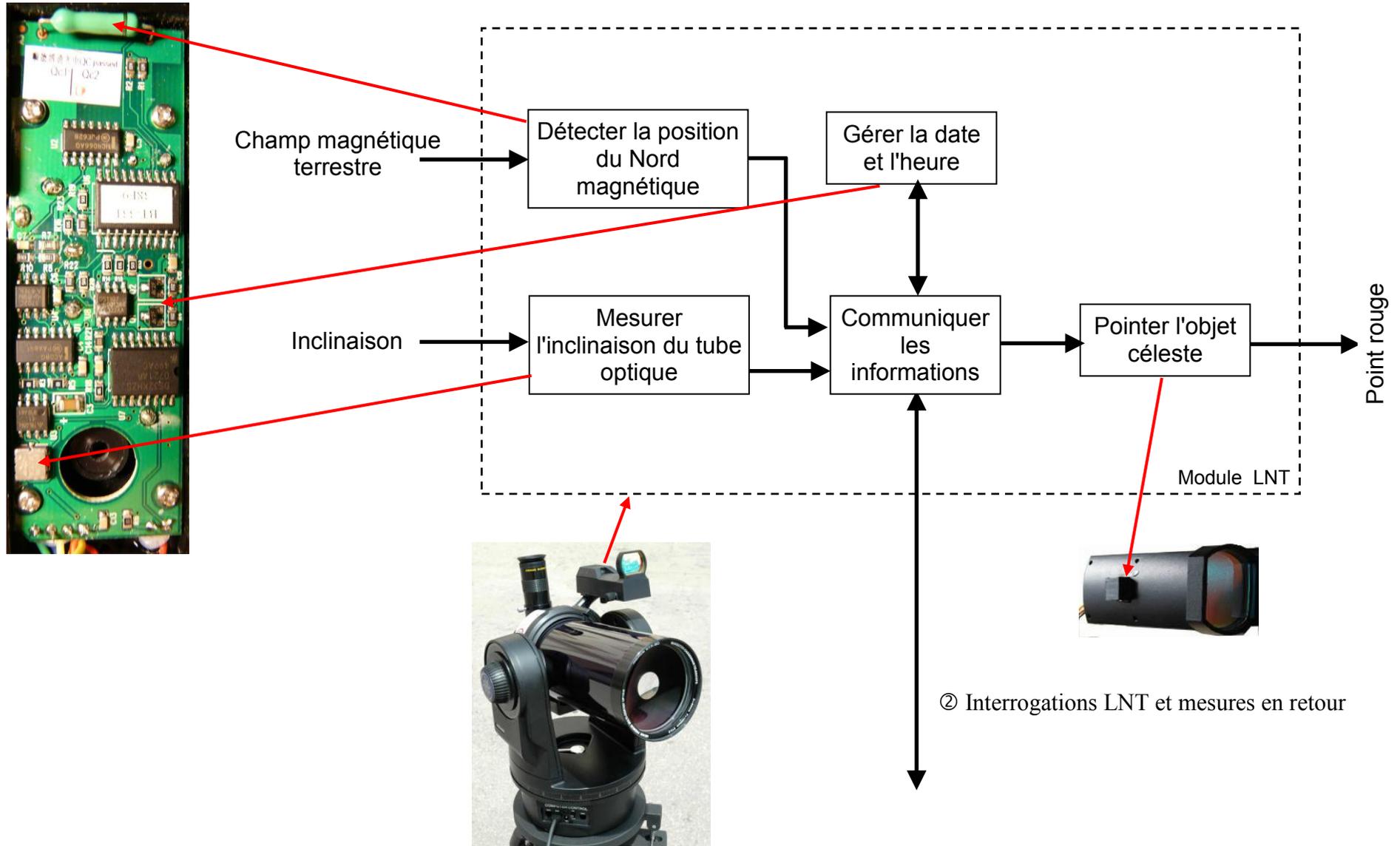


SCHEMA FONCTIONNEL DES POSITIONNEMENTS ALTITUDE ET AZIMUT



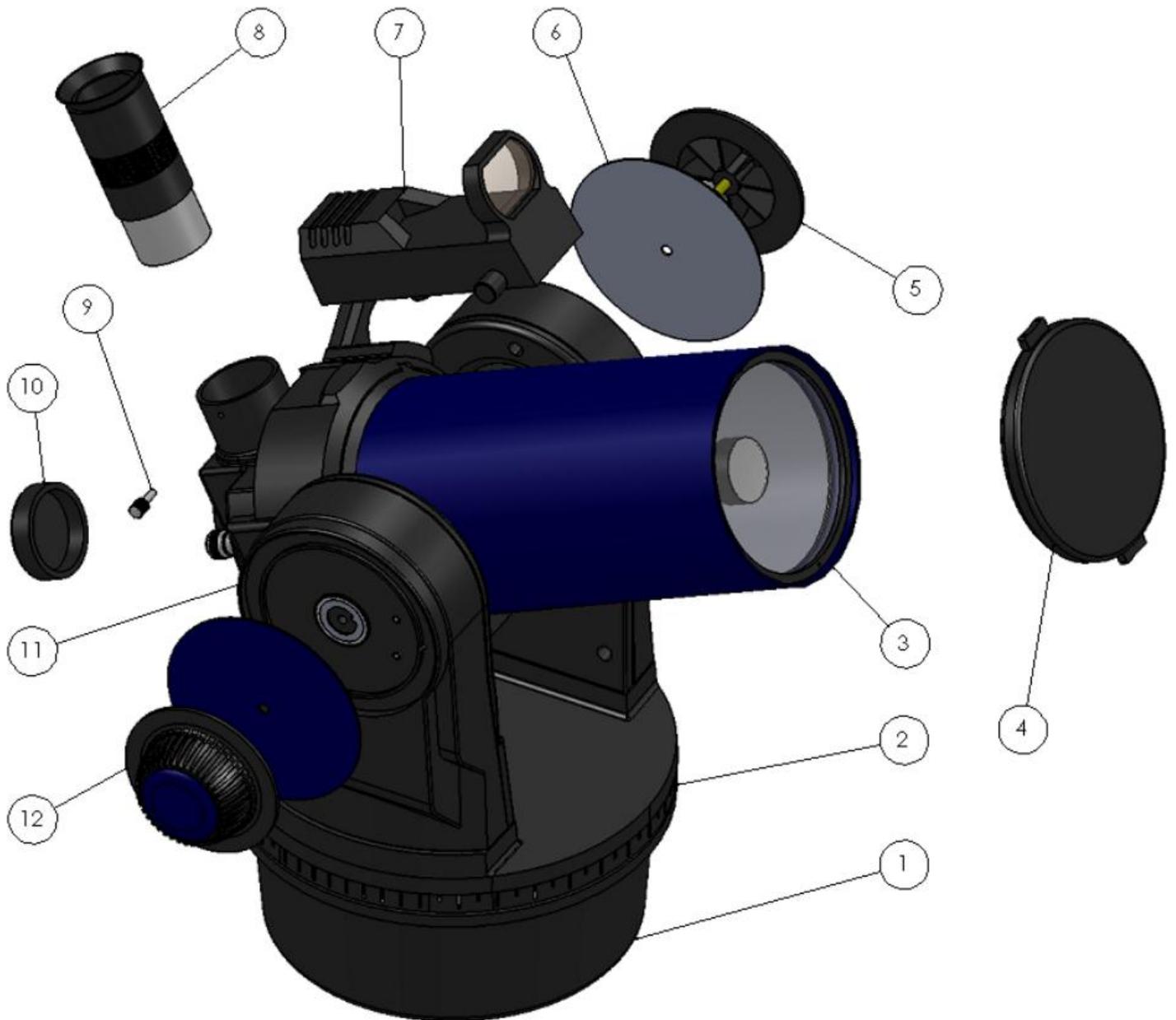


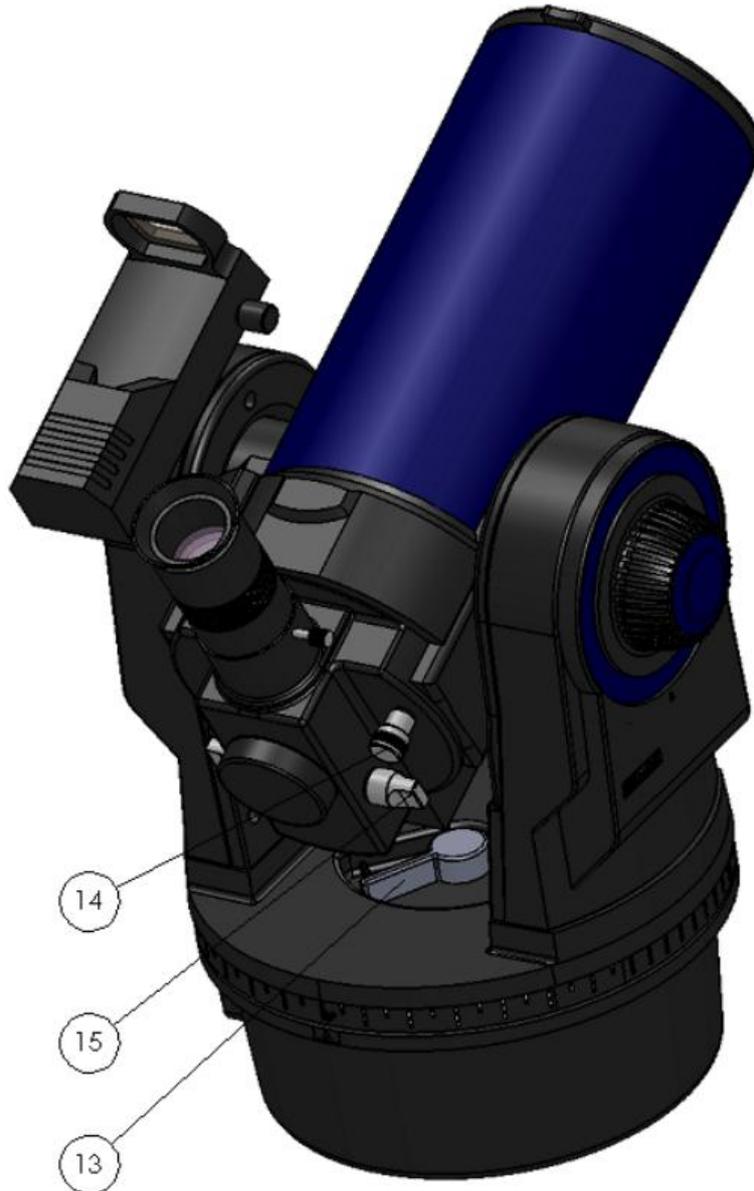
SCHEMA FONCTIONNEL DU MODULE LNT





APPROCHE MATERIELLE VUES D'ENSEMBLE DU TELESCOPE



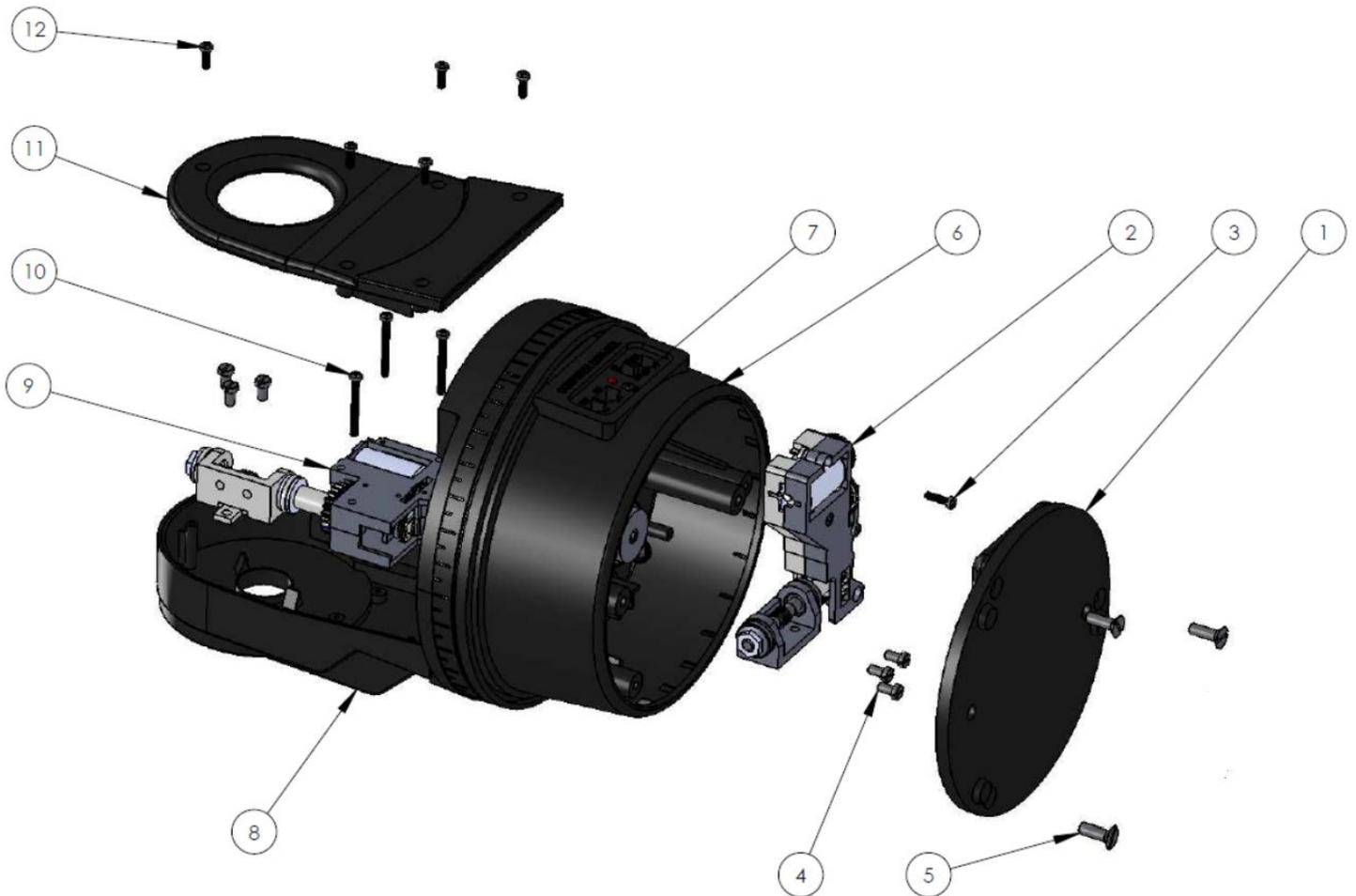


Nomenclature

15	1	Molette du miroir plan basculant
14	1	Réglage position miroir principal
13	1	Languette blocage horizontal
12	1	Molette blocage vertical
11	2	Bras de la fourche
10	1	Cache orifice sortie photo/redresseur
9	1	Vis de blocage du porte oculaire
8	1	Oculaire
7	1	Module LNT
6	2	Cercle de coordonnées en déclinaison
5	1	Molette fourche non motorisée
4	1	Cache poussières
3	1	Tube Optique
2	1	Cercle de coordonnées en ascension droite
1	1	Embase
Rep	Nb	Désignation



APPROCHE MATERIELLE Données techniques de la fourche et de l'embase du télescope

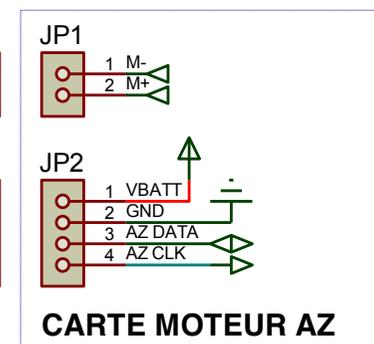
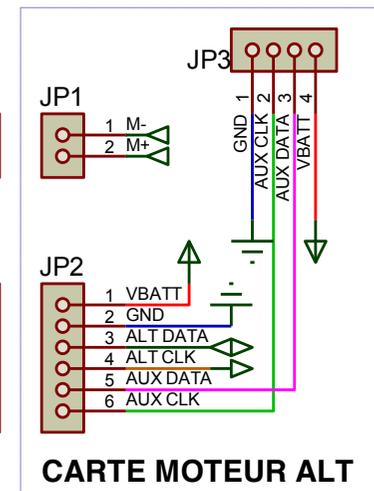
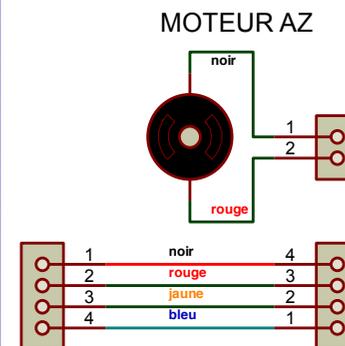
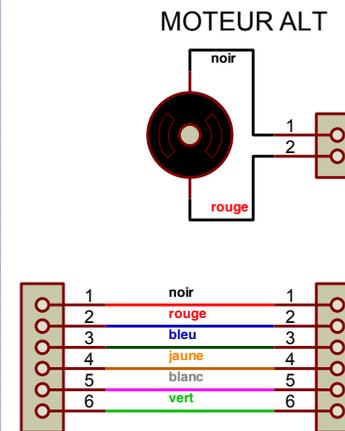
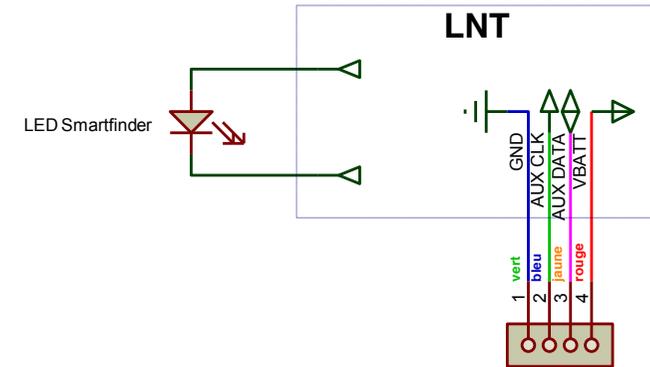
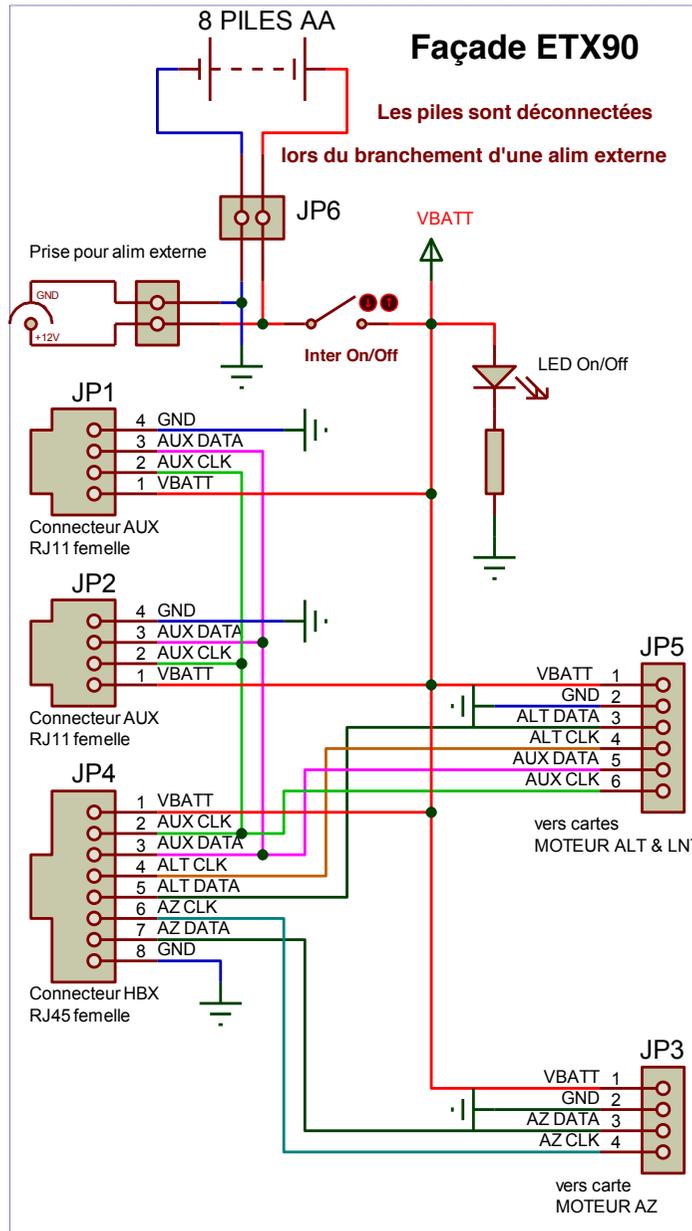
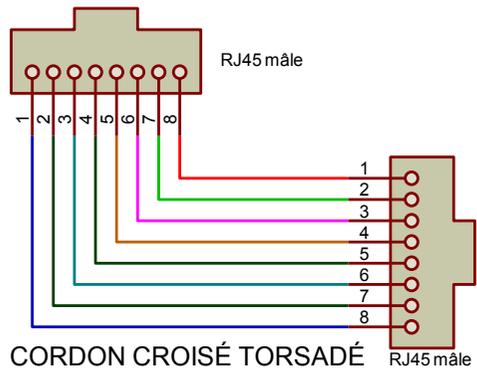
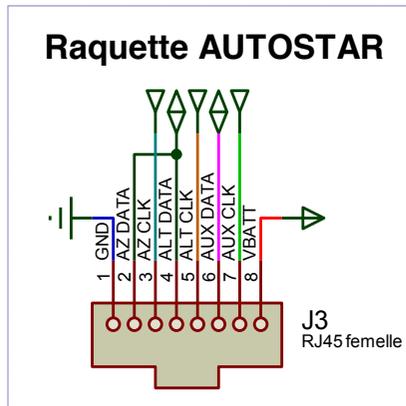


Nomenclature

12	10	Vis à tête cylindrique bombée cruciforme type H M3 - 10
11	1	Couvercle fourche motrice
10	3	Vis à tête cylindrique bombée cruciforme type H M3 - 25
9	1	Motoréducteur Altitude
8	1	Fourche motrice
7	1	Panneau de configuration
6	1	Carter embase
5	3	Vis à tête fraisée FS M5 - 16
4	6	Vis à tête cylindrique fendue CS M4 - 10
3	2	Vis à tête cylindrique bombée cruciforme type H M3 - 12
2	1	Motoréducteur Azimut
1	1	Couvercle embase
Rep	Nb	Désignation

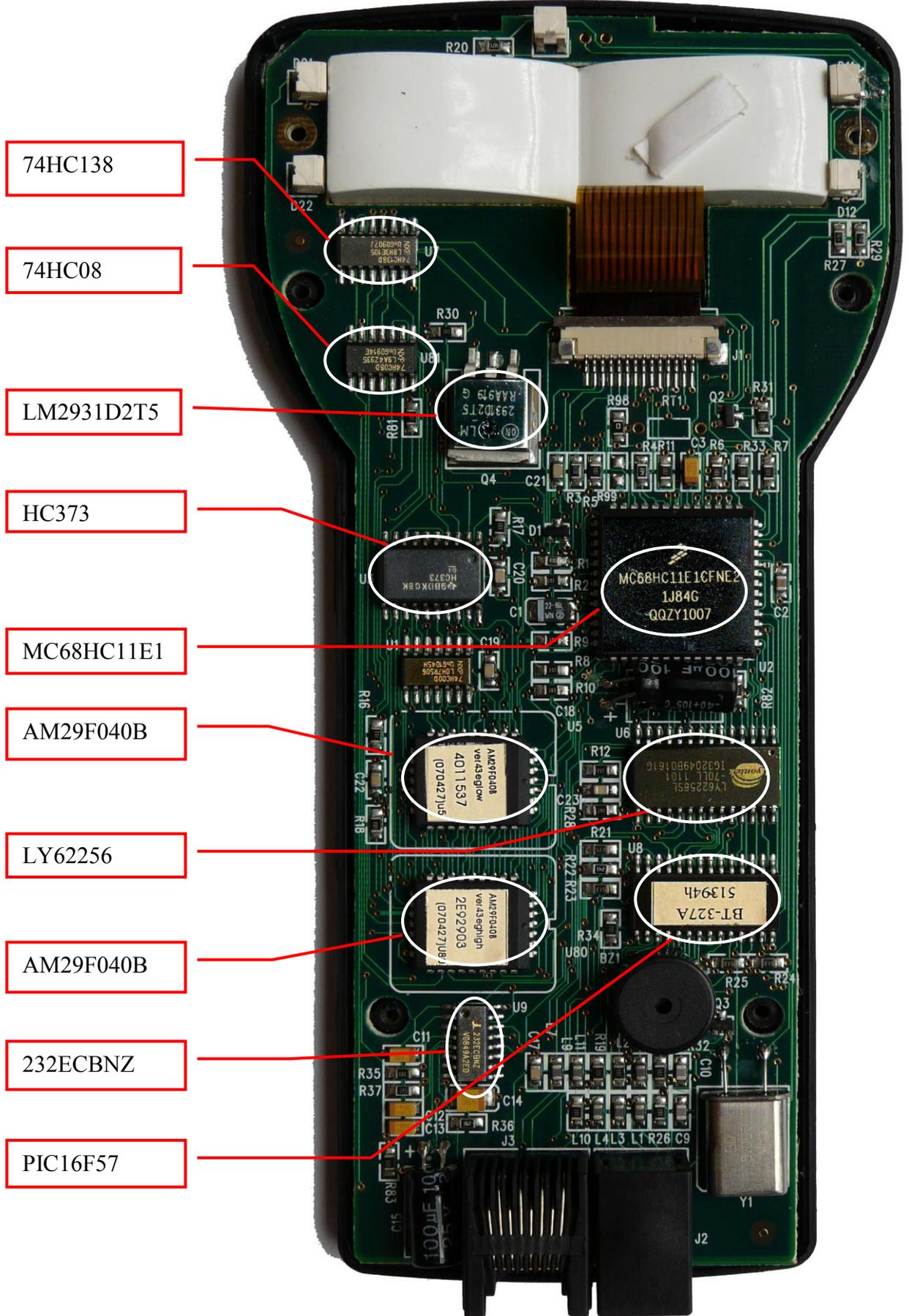


APPROCHE MATERIELLE SCHEMA GENERAL DES INTERCONNEXIONS





APPROCHE MATERIELLE
CARTE ELECTRONIQUE RAQUETTE AUTOSTAR

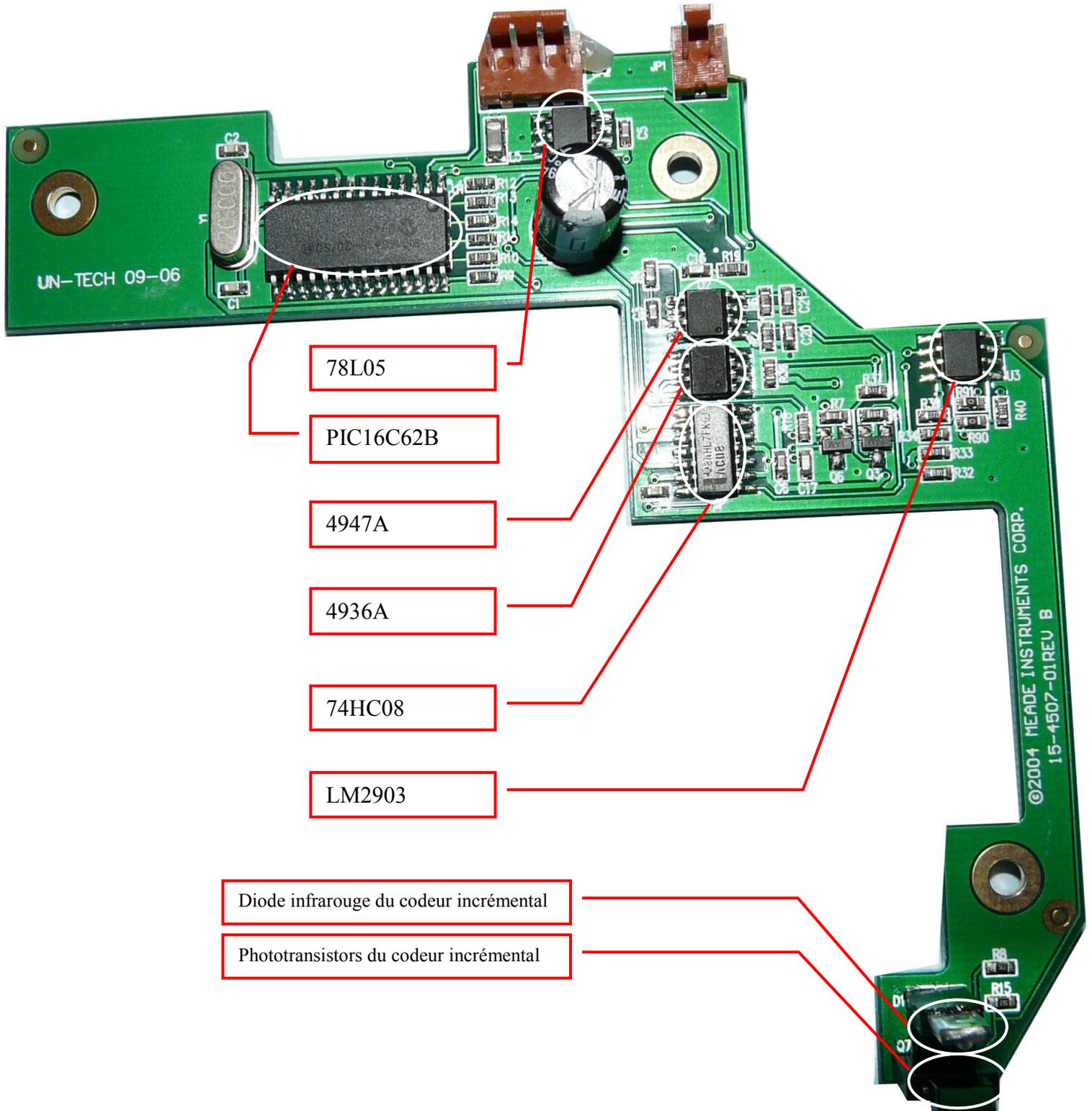




APPROCHE MATERIELLE

CARTE ELECTRONIQUE DE CONTROLE DU MOTEUR AZIMUT

Nota : la carte de contrôle du moteur d'altitude comporte les mêmes circuits intégrés



78L05

PIC16C62B

4947A

4936A

74HC08

LM2903

Diode infrarouge du codeur incrémental

Phototransistors du codeur incrémental



APPROCHE MATERIELLE Caractéristiques techniques des moteurs

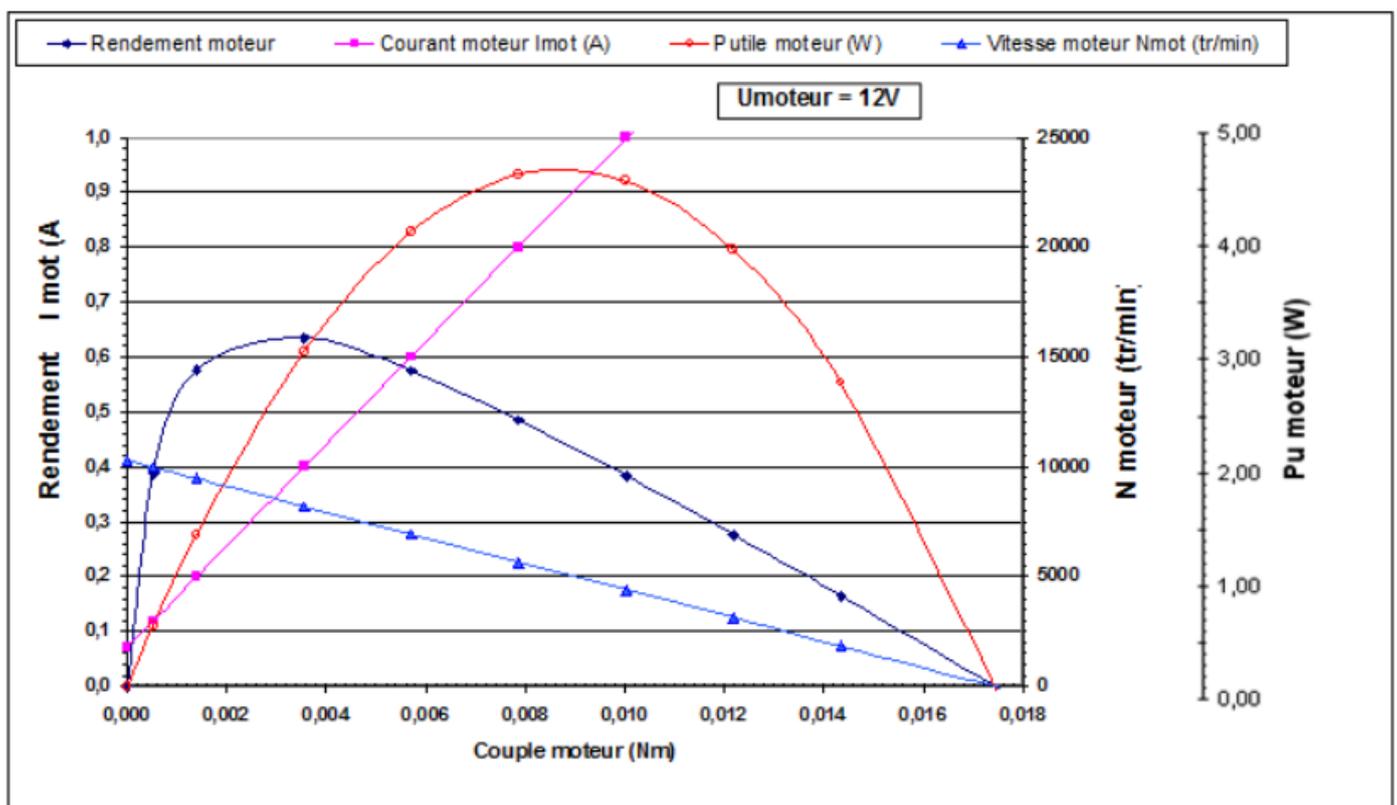
Les données constructeur

SPECIFICATIONS TECHNIQUES

		12V
Tension d'alimentation (Ua)	V	12
Vitesse au courant In	tr/mn	8572
Couple au courant In	mNm	4
Courant max permanent (In)	mA	620
Vitesse à vide à Ua à +/- 10%	tr/mn	12232
Courant à vide à +/- 50%	mA	92
Couple de démarrage à Ua	mNm	13
Courant de démarrage à Ua	mA	1691
Constante de couple	mNm/A	8.6
Constante de vitesse	tr/mn/V	1108
Pente vitesse/couple	tr/mn/mNm	915
Vitesse limite	tr/mn	15000
Puissance utile max. à Ua	W	4.3
Rendement maximum	%	53
Constante de temps électromécanique	ms	24
Inertie	gcm ²	3.5
Résistance aux bornes	Ohm	7.1
Inductivité	mH	5.3

Les essais moteur

TENSION	à VIDE (sous Unom)		Au régime nominal (rendement 0,63)				Rotor calé	
	Vitesse tr/min	Courant A	Vitesse tr/min	Courant A	Couple mN·m	Puissance W	Couple mN·m	Courant A
12V	10000	0,07	8000	0,43	4	3,3	18	1,7





CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES GÉNÉRALES

TELESCOPE MEADE ETX-90PE

Système optique	Maksutov-Cassegrain
Diamètre du miroir primaire	96 mm
Diamètre utile	90 mm
Longueur focale	1250 mm
Rapport d'ouverture	F/D 13,8
Mise au point minimum (approximative)	3,5 m
Pouvoir de résolution	1,3 seconde d'arc
Traitement des miroirs	UHTC
Magnitude stellaire limite (approximative)	11,7
Échelle de l'image	0,48°/centimètre
Grossissement maximum théorique	225 X
Dimensions du tube	10,4 cm (Ø) x 27,9 cm (longueur)
Obstruction du miroir secondaire (Ø.; %)	27,9 mm - 9,6%
Monture	à fourche
Diamètres des cercles	Déc : 88,8 mm ; A.D.: 177,5 mm
SmartFinder	diode laser par projection d'un point rouge sur lentille
Module LNT	haute précision, à oscillateur, correction de la température
	Mise à jour possible via l'accessoire ATUM Meade en option
Voltage	12 volts courant continu
Entraînement	Moteurs à courant continu sur les 2 axes
Commandes électroniques	9 vitesses sur les 2 axes
Hémisphères d'opération	Nord et Sud
Roulements :	
Altitude	UHMW polyéthylène
Azimut	PTFE
Matériaux :	
Tube	aluminium
Monture	ABS, aluminium renforcé
Miroir primaire	Pyrex®
Lentilles correctrices	Verres BK7 classe A
Dimensions du télescope	38 x 18 x 22 cm
Poids du télescope (avec raquette et piles)	3,5 kg
Poids du télescope avec son emballage	5,8 kg
Autonomie approximative des piles :	20 heures
Oculaire fourni en standard	type Super-Plössl série 4000
	Focale 26 mm, champ apparent 52°, "coulant" diamètre 31,75mm



RAQUETTE AUTOSTAR

Processeur . . . . .	.68HC11, 8MHz
Mémoire Flash . . . . .	.1Mo rechargeable
Clavier . . . . .	.20 touches alphanumériques
Affichage . . . . .	.2 lignes, 16 caractères LCD
Rétro-éclairage . . . . .	.LED rouge
Lumière . . . . .	.oui
RS-232 . . . . .	.oui
Câble torsadé . . . . .	.6m
Base de données . . . . .	.30223 objets

Longueur : . . . . .	.166 mm
Largeur (vers le LCD) . . . . .	.80 mm
Largeur (vers le Connecteur) . . . . .	.57 mm
Épaisseur . . . . .	.21 mm
Poids net . . . . .	.510 g