PROJET ABRI MOTORISÉ POUR ASTROPHOTOGRAPHIE

Descriptif Technique de Construction (DCT)

Abri d'observatoire à toiture motorisée — structure tubulaire, panneaux sandwich, mécanisme Nema23 / vis TR8

Ce document rassemble et synthétise les choix techniques retenus pour la construction d'un abri démontable destiné à protéger un astrographe (lunette FRA400, caméra principale et caméra de guidage) monté sur une monture ZWO AM5N (monture harmonique), avec une toiture motorisée à deux demi-pans coulissants symétriques et pilotée par un automate IPX800. Il regroupe le dimensionnement de la structure, la justification des choix de matériaux, le mécanisme d'ouverture, le pilier d'instrument, le plancher, l'architecture électrique de commande et l'intégration de l'automate IPX800, ainsi que les listes d'outillage et de fournitures nécessaires à la réalisation.

Sommaire

1. Objet et contexte du projet
2. Vue d'ensemble
3. Choix des matériaux — analyse comparative
4. Structure tubulaire (squelette des murs)
5. Panneaux sandwich (murs)
6. Toiture motorisée — deux demi-pans coulissants
7. Colonne-pilier et fondation de l'instrument
8. Plancher
9. Ancrage au sol et réhausses optionnelles
10. Architecture électrique et commande
11. Outillage nécessaire
12. Fournitures et quincaillerie — liste de débit
13. Poids et bilan matière
14. Points de vigilance et sécurité

1. Objet et contexte du projet

L'abri a pour fonction d'assurer le stockage protégé, diurne et nocturne, d'une monture astronomique ZWO AM5N (monture harmonique) équipée d'un astrographe — l'ensemble formé par la lunette FRA400, la caméra principale et la caméra de guidage —, tout en permettant une ouverture motorisée rapide de la toiture en début de séance d'observation, pilotée et supervisée à distance par un automate IPX800 intégrant capteurs météo, sécurités et scénarios d'automatisation (§10). Il s'agit d'une construction démontable, à vocation de mise en place temporaire au gré des saisons et des séances d'observation ou d'astrophotographie, dont les quatre panneaux muraux et la toiture peuvent être désassemblés indépendamment (boulonnerie et écrous sertis, hors soudures internes à chaque panneau) — par opposition à une construction maçonnée ou entièrement soudée sur site.

Contraintes de conception retenues comme structurantes pour l'ensemble des choix décrits dans ce document :

- Rigidité suffisante pour porter les glissières de toiture (120 kg de charge admissible chacune) et maintenir un axe moteur → renvoi → vis TR8 rigoureusement droit, sans jeu de réglage vertical ;
- Masse limitée par panneau (environ 22 kg) afin que chaque panneau mural reste manipulable par une seule personne lors du montage ou d'une dépose ponctuelle ;
- Caractère démontable de l'ensemble : les 4 panneaux muraux et la toiture sont assemblés par boulonnerie et écrous sertis (les jonctions internes propres à chaque panneau restant soudées), ce qui permet de déposer un panneau isolément sans démonter le reste de l'abri, ou de désassembler entièrement la structure si nécessaire ;
- Isolation thermique différenciée entre les murs (tamponnage jour/nuit, limitation de la condensation) et la toiture (faible masse thermique volontaire, pour éviter les turbulences optiques en début de séance) ;
- Résistance à l'effraction portée par le cadre, les tôles et les fixations mécaniques — jamais par le dimensionnement du moteur ;
- Sol argileux du terrain d'implantation (zone à aléa retrait-gonflement), qui a orienté le choix de fondation du pilier d'instrument vers une vis de fondation vissée plutôt qu'un plot béton coulé ;
- Découplage mécanique total entre le pilier porteur de la monture et le reste de l'abri (plancher, murs, toiture), pour ne transmettre à l'instrument aucune vibration liée au vent, aux pas, ou au mécanisme du toit.

2. Vue d'ensemble

L'abri présente une surface libre intérieure carrée de 1,20 × 1,20 m (emprise extérieure d'environ 1,26 × 1,26 m), composée de quatre panneaux muraux démontables (A, B, C, D) et d'une toiture motorisée à deux demi-pans coulissants. Chaque panneau mural est constitué d'un squelette tubulaire acier autoportant sur lequel vient se fixer, indépendamment, un panneau sandwich isolant.

Le mur A porte le moteur, le coffret électrique et les capteurs météo. Les murs B et D, en vis-à-vis, portent chacun une vis TR8 et une glissière de toit. Le mur C est un panneau nu, sans équipement. Les murs B et D sont des « murs pleins » (squelette continu d'angle à angle, portant la continuité de la vis TR8), tandis que les murs A et C sont des « murs en retrait » (squelette raccourci de 30 mm à chaque extrémité pour venir buter contre le flanc du montant voisin) — le détail des cotes de chaque panneau figure dans le guide de montage.

> 💡 **Justification de la hauteur de mur (1,00 m) —** La hauteur de mur n'est pas un choix arbitraire mais une contrainte : elle résulte du compromis nécessaire pour maximiser le champ de vision

dégagé de l'astrographe une fois le toit ouvert. Une hauteur de mur plus importante réduirait d'autant l'élévation minimale visible dans toutes les directions ; 1,00 m représente le maximum compatible avec un dégagement de ciel exploitable pour l'observation (voir le calcul de champ visuel détaillé séparément). Ce choix a par ailleurs été renforcé par la disponibilité du matériau : les tôles prélaquées blanc du commerce se trouvent en format standard 1000 × 2000 mm, et une hauteur de mur de 1,00 m permet d'utiliser ce format sans reprise de protection (sous-couche, peinture, anti-corrosion) sur des chants recoupés — évitant d'avoir à refaire soi-même ces protections.

2.1 Logique thermique murs / toiture

Les murs et la toiture répondent à des logiques thermiques opposées, volontairement. Les murs sont isolés (XPS 10 mm) pour tamponner les écarts de température entre le jour et la nuit pendant le stockage de l'astrographe entre deux séances, et limiter la condensation à l'intérieur de l'abri. La toiture, à l'inverse, reste en tôle simple non isolée : une faible masse thermique lui permet de rejoindre rapidement la température ambiante une fois ouverte, plutôt que de restituer lentement la chaleur accumulée dans la journée — ce qui créerait des turbulences locales au-dessus de l'instrument en début de séance. Le feutre anti-condensation collé sous le toit gère l'humidité qui s'y dépose par point de rosée lors des nuits claires et froides, sans revenir sur ce choix de faible masse thermique.

3. Choix des matériaux — analyse comparative

Le couple « squelette tubulaire acier 30 × 30 × 1,5 mm + panneaux sandwich tôle prélaquée 0,5 mm / XPS 10 mm » a été retenu à l'issue d'une comparaison chiffrée avec deux familles alternatives (aluminium et bois), sur les critères jugés déterminants pour ce projet : solidité, rigidité, sécurité anti-effraction, masse, performance moteur, tenue environnementale et isolation.

3.1 Guide de choix chiffré (comparaison relative, base 100 = acier laminé à froid)

Critère	Acier 30×30×1,5 (retenu)	Aluminium 6060/6082	Bois (résineux traité / composite)	Commentaire quantifié
Solidité (résistance à la rupture / effort d'arrachement)	100	55–65	25–40	Limite d'élasticité acier ≈250–350 MPa ; alu ≈150–250 MPa ; bois ≈40–80 MPa en traction. Les équerres M8 et boulons M6×50 de sécurité reposent sur cette marge.
Rigidité (module d'Young / flèche sous charge glissière)	100 (E≈200 GPa)	35 (E≈70 GPa)	5–15 (E≈10–12 GPa)	Flèche sous 120 kg de glissière : tube acier < 1 mm sur 1,26 m ; alu nécessite section supérieure (+30–40 % masse) ; bois fléchit trop pour un axe TR8 droit.
Sécurité anti-effraction	100	40–50	15–25	Tôle 0,5 mm doublée + rivets 4,8×20 + cadre U + boulons M6 traversant jusqu'au tube. Le bois se scie ou se défonce facilement ; l'alu se déforme ou se perce plus vite.
Masse linéique /	100 (≈22 kg)	45–55	60–80	Acier : 8,8–9,1 kg tube + 10,3 kg

Critère	Acier 30×30×1,5 (retenu)	Aluminium 6060/6082	Bois (résineux traité / composite)	Commentaire quantifié
panneau				sandwich. L'alu allège le panneau mais oblige à surdimensionner les sections → gain net limité. Le bois est plus léger mais demande plus d'épaisseur.
Performances moteur (couple / inertie)	100 (Nema23 2–2,8 Nm largement suffisant)	70–80	90–110	Masse toiture + frottement glissières (120 kg) dominent. Le dimensionnement est limité par les glissières, pas par le couple moteur. Le bois introduit des jeux/dilatations qui perturbent l'alignement TR8.
Compatibilité capteurs météo / environnement	100 (primaire zinc + finition PU/glycéro)	90 (anodisation ou peinture)	40–60 (traitement + entretien)	Acier protégé : 10–15 ans outdoor. Alu correct mais joints/rivets plus sensibles. Bois : pourriture, gonflement, entretien annuel, incompatibilité XPS/colle.
Isolation / masse thermique	Murs XPS 10 mm + tôle (tampon jour/nuit) ; toiture double tôle non isolée (faible masse)	Identique possible	Meilleure isolation native, mais masse thermique élevée et hygroscopique	Choix volontaire d'isolation différenciée pour limiter la condensation intérieure et les turbulences optiques.

3.2 Synthèse de l'analyse

Le bois a été écarté en premier : rigidité insuffisante pour maintenir l'axe droit moteur → renvoi → vis TR8 (lead 2 mm) sans jeu, sensibilité à l'humidité (gonflement, pourriture), et sécurité anti-effraction très faible malgré un traitement.

L'aluminium séduit par sa légèreté et sa résistance à la corrosion, mais son module d'Young trois fois plus faible impose des sections plus importantes pour limiter la flèche sous les glissières 120 kg et les efforts de la toiture coulissante ; le gain de masse net devient marginal une fois la rigidité rétablie, et la tenue à l'effraction (déformation, perçage) reste inférieure à celle d'un cadre acier + tôle rivetée.

L'acier laminé à froid 30 × 30 × 1,5 mm, assemblé par soudure au fil fourré puis protégé (décapage, primaire riche en zinc, finition polyuréthane ou glycéro), offre le meilleur rapport rigidité/masse pour un panneau manipulable à une personne, une continuité structurelle parfaite pour les vis TR8, et une base solide pour les équerres M8 et les boulons M6 de sécurité. Les panneaux sandwich (tôle prélaquée Z275 0,5 mm + XPS 10 mm dans profilé U) apportent l'isolation nécessaire aux murs tout en restant indépendants du squelette — démontables sans toucher à l'assemblage principal. La toiture, en double tôle collée-rivetée non isolée, conserve volontairement une faible masse thermique, le feutre anti-condensation gérant l'humidité de rosée.

Ce choix permet de dimensionner le moteur Nema23 (2–2,8 Nm) avec une large marge, de conserver les capteurs météo et le coffret électrique dans un environnement protégé, et de garantir une structure stable dès la phase d'assemblage à nu, avant la pose des panneaux sandwich.

4. Structure tubulaire (squelette des murs)

4.1 Matériau et principe de montage

- Tube carré acier laminé à froid, non galvanisé, 30 × 30 mm, épaisseur de paroi 1,5 mm ;
- Finition après soudure/assemblage : dégraissage, décapage de la calamine, primaire riche en zinc, finition polyuréthane ou glycéro extérieure ;
- Principe général : les deux montants verticaux de chaque panneau sont d'un seul tenant, du bas jusqu'en haut ; les quatre traverses horizontales (haute, à 0,10 m sous le haut, à mi-hauteur, basse) sont coupées à longueur pour s'insérer entre les deux montants, et non l'inverse ;
- Séquence : poser les deux montants parallèles à l'écart voulu, positionner les 4 traverses aux hauteurs prévues, vérifier l'équerrage (diagonales égales), puis souder les traverses aux montants — jonctions internes montant/traverse toujours soudées.

> 💡 **Justification du choix de la section 30×30 mm —** La section carrée 30×30 mm a été retenue comme le meilleur compromis entre prix, solidité, rigidité et poids : une section supérieure améliorerait marginalement la rigidité mais alourdirait chaque panneau au-delà du seuil manipulable par une personne et renchérirait l'ensemble du squelette (≈28 m de tube) ; une section inférieure réduirait le poids et le coût mais compromettrait la tenue de l'axe moteur → renvoi → vis TR8 et la résistance à l'effraction.

> ⚠️ *Les jonctions montant/traverse à l'intérieur d'un même panneau sont soudées — les équerres 60×60 ne servent qu'à relier les panneaux entre eux, pas à l'assemblage interne d'un cadre (le détail des hauteurs de traverse figure dans le guide de montage).*

4.2 Assemblage d'angle entre panneaux adjacents

- Le montant du mur plein (B ou D) est positionné exactement au coin réel de l'abri ; le montant du mur en retrait (A ou C) est en retrait de 30 mm et vient buter contre son flanc ;
- L'équerre horizontale de chaque traverse (0,10 m / mi-hauteur / basse) relie les deux panneaux à ce niveau, avec 2 écrous sertis de chaque côté du joint ;
- L'habillage sandwich de A et C est surdimensionné à 1,26 m de large (au lieu de 1,20 m) : les 30 mm de débord de chaque côté se posent sur le montant du mur plein voisin, sans porte-à-faux ;
- Une cornière d'angle extérieure capote la jonction entre les deux tôles au coin réel — rôle limité à l'étanchéité et à la protection des vis ;
- 3 boulons M6×50 de sécurité (Ø6 mm) traversent le sandwich, les ailes du profilé U et le tube du montant à chaque angle, pour reprendre l'effort d'arrachement de la cornière indépendamment du rivetage sur la tôle.

> ⚠️ *Séquence obligatoire : les squelettes des 4 murs doivent être assemblés entre eux avant la pose des sandwichs de A et C, puisque leurs bords fixent en partie sur le montant du panneau voisin.*

5. Panneaux sandwich (murs)

5.1 Composition

- 2 tôles acier prélaqué blanc, 0,5 mm d'épaisseur, substrat galvanisé Z275 (protection envers/backcoat en option) ;
- Âme isolante : polystyrène extrudé (XPS) 10 mm ;
- Cadre périphérique : profilé en U acier, ouverture intérieure 10 mm, épaisseur 1,5–2 mm.

> 💡 **Justification du choix de la tôle prélaquée 0,5 mm —** Ce choix résulte de la disponibilité du matériau dans le commerce, de son prix, de sa facilité de mise en œuvre (découpe, pliage, rivetage sans outillage lourd), et du laquage lui-même qui assure à la fois la protection anticorrosion et une protection thermique par la couleur blanche retenue — celle-ci limite l'échauffement des panneaux sous exposition solaire directe, cohérent avec la logique de tamponnage thermique des murs (§2.1).

Le sandwich est assemblé comme un sous-ensemble indépendant (cadre en U + tôles + XPS rivetés) avant d'être rapporté sur le squelette déjà monté — le détail de la séquence d'assemblage et de fixation figure dans le guide de montage.

> ⚠️ *Le XPS est maintenu par simple compression entre les deux tôles vissées sur le U — pas de collage nécessaire. En cas de bombement, seule une colle polymère MS (silane modifié, compatible XPS) peut être ajoutée en appoint ; jamais de colle contact ou de mousse PU classique, qui attaqueraient le XPS.*

6. Toiture motorisée — deux demi-pans coulissants

6.1 Cadre et tôle du demi-toit

- Cadre tube acier 30 × 30 mm, même nuance que les murs ;
- Hauteur de demi-toit ≈ 400 mm (dégagement au joint central inclus) ;
- Tôle doublée (non sandwich) : 2 tôles acier prélaquées blanc 0,5 mm chacune, collées dos à dos (colle polymère MS, type silane modifié, prise progressive) puis fixées sur le tube par rivets 4,8×20 à tête large (Ø16 mm), pas 100 mm maximum — même rivet traversant les 2 tôles et accrochant le tube ;
- Objectif : résistance à l'effraction proche d'une tôle pleine d'≈1 mm, sans le point faible du rivetage seul (risque de pelage entre rivets) ;
- Joint périphérique de chaque panneau doublé scellé (mastic butyl ou silicone), contre l'infiltration d'humidité entre les deux tôles ;
- Feutre anti-condensation autocollant, 3 à 5 mm, collé en face intérieure du dessus de chaque demi-toit.

> 💡 **Justification de la hauteur de toit (400 mm) —** Cette hauteur n'est pas un choix esthétique mais une obligation mécanique : le toit doit pouvoir se refermer complètement même lorsque l'astrographe n'est pas ramené en position de parking « zéro » (tube à la verticale). Les 400 mm de hauteur de demi-toit garantissent le dégagement vertical nécessaire pour fermer l'abri en toute sécurité quelle que soit l'orientation dans laquelle la monture a été laissée en fin de séance.

6.2 Mécanisme Nema23 / vis TR8

- Moteur Nema23, 2 Nm, 24 V, à deux sorties d'arbre coaxiales tournant dans le même sens, fixé en partie haute du mur A ;
- La vis TR8 (lead 2 mm) est horizontale, parallèle à la glissière, montée en deux tronçons à pas inversé reliés par un raccord souple au milieu du panneau — c'est ce pas opposé qui entraîne symétriquement les deux demi-toits vers l'extérieur depuis un seul arbre ;
- Le renvoi d'angle à 90° se trouve uniquement à l'extrémité du panneau qui fait le coin avec le mur A — c'est lui qui reçoit l'arbre moteur ;
- Le raccord souple central autorise un léger désalignement, mais l'axe moteur → renvoi doit rester rigoureusement droit ;

- La hauteur de fixation du moteur doit être rigoureusement identique à celle des renvois d'angle sur B et D : percer/fixer moteur et renvois sur un gabarit commun plutôt que panneau par panneau.

⚠️ *Le couple moteur (2,8 Nm) offre une marge très largement suffisante face à la charge réelle des demi-toits — la contrainte de dimensionnement à surveiller est la charge admissible des glissières (120 kg chacune), pas le couple moteur.*

💡 **Justification du choix du moteur Nema23 —** Le Nema23 a été retenu sur un arbitrage prix/performances : ce standard très répandu offre un couple largement suffisant pour l'application (la charge admissible des glissières, et non le couple moteur, étant le facteur dimensionnant, cf. encadré ci-dessus) à un coût nettement inférieur à celui d'un moteur de classe supérieure, sans compromis sur la fiabilité.

💡 **Justification du choix de la vis TR8 —** La transmission par vis trapézoïdale TR8 a été retenue plutôt qu'une solution à courroie crantée ou à chaîne, pour sa solidité, ses performances mécaniques et sa simplicité de mise en œuvre : une transmission rigide, sans jeu ni élongation dans le temps (contrairement à une courroie qui se détend), une charge admissible largement supérieure aux efforts réels des demi-toits, un comportement autobloquant qui limite les contraintes sur le moteur et le maintien en position lorsque celui-ci est à l'arrêt, et un montage/alignement plus simple qu'un ensemble poulies-courroie à tendre et à régler.

💡 **Justification du choix des renvois d'angle à engrenages coniques —** Le renvoi d'angle à 90° entre l'arbre moteur et chaque tronçon de vis TR8 est réalisé par un couple d'engrenages coniques. Ce choix a été comparé à des solutions initialement envisagées à courroie/poulies et à roues dentées/crantées, puis abandonnées : les engrenages coniques offrent une meilleure solidité et un couple transmis plus élevé, sans risque de patinage ni de détente dans le temps (contrairement à une courroie), pour un coût d'acquisition réduit par rapport aux ensembles poulie-courroie ou pignon-chaîne de performance équivalente.

6.3 Glissières et cornière porte-glissière

- Glissières à tiroir charge lourde 120 kg, section hors tout 53 × 19 mm (H × ép.), longueur rétractée 600 mm, extraction totale 600 mm ;
- Cornière inégale 30 × 60 mm soudée par sa petite aile sur le tube de la traverse haute, montée à champ sur sa grande aile (60 mm) ;
- Fixation par vis à tête fraisée traversant successivement la glissière, la cornière porte-glissière, puis une seconde cornière retournée qui accroche le profil en U du panneau sandwich — un seul jeu de vis solidarise les trois pièces, écrou côté intérieur derrière le sandwich.

7. Colonne-pilier et fondation de l'instrument

Le pilier qui porte la monture est une fondation totalement indépendante de l'abri : il ne doit jamais entrer en contact avec le plancher, pour ne transmettre aucune vibration (pas, vent sur les parois, mécanisme du toit) à l'instrument. Il est implanté à l'intérieur de l'abri, entre les 4 murs, ce qui limite son exposition directe au vent.

💡 **Justification des choix de conception de la colonne —** Plusieurs critères ont guidé la conception de cette colonne, au-delà de la seule nature du sol (§7.1) : un caractère démontable (platine basse boulonnée et non soudée sur la vis de fondation), l'absence de tout plot béton qui resterait de façon permanente dans le terrain, la compatibilité avec le passage régulier d'une tondeuse robot (capuchon amovible sur la tête de vis en phase transitoire, §7.3), ainsi que la stabilité, la tenue anti-

vibratoire et la résistance à la flexion recherchées par un tube de forte section (Ø101,6 mm) plutôt qu'un profil plus léger.

7.1 Vis de fondation Cobra

Le sol argileux du terrain (zone à aléa retrait-gonflement) a conduit à retenir une vis de fondation longue plutôt qu'un plot béton, afin d'offrir une marge de profondeur suffisante contre les mouvements du sol.

Caractéristique	Modèle retenu — G 1200
Longueur de la vis	1200 mm (± 10 mm)
Diamètre de la vis	60 mm (± 1 mm)
Épaisseur de la paroi	3 mm
Longueur de l'hélice	360 mm (± 10 mm)
Épaisseur / hauteur de l'hélice	2 mm / 15 mm (± 1 mm)
Espacement de l'hélice	40 mm (± 3 mm)
Épaisseur de la pointe	4 mm
Largeur de la pointe	38 mm (± 1 mm)
Épaisseur du disque (tête)	6 mm
Poids	6,2 kg
Tête de la vis	Platine Ø120 mm, 6 trous Ø12 mm sur cercle Ø92 mm

7.2 Colonne et platines

- Tube d'essieu acier galvanisé Ø101,6 mm (4″), épaisseur 3,6 mm, longueur 720 mm (hauteur hors-tout ≈754 mm avec le disque correcteur d'assiette de 4 mm, la platine haute de 6 mm et l'adaptateur Geoptik de 24 mm), hauteur proche du trépied ZWO TC40 (≈800 mm) ;
- Platine basse et platine haute : disques ronds Ø120 mm, épaisseur 6 mm, soudés pleins (plutôt que pattes/brides boulonnées, pour la rigidité) — platine basse percée de 6 trous Ø12 mm sur cercle Ø92 mm, repercés plus petits, fixation par boulons M12 via le disque de correction d'assiette (pas de rivnuts sur cette liaison ; les rivnuts sont réservés à la structure tubulaire de l'abri) ;
- Disque de correction d'assiette NIVO & Cobra (épaisseur 4 mm, 3 tiges filetées intégrées sans tête, 3 écrous M12) : interface entre la platine basse et la tête de la vis de fondation, permettant de régler l'aplomb ;
- Adaptateur Geoptik réf. 30A155 — spécifiquement conçu pour l'interface des montures ZWO AM3N et AM5N, fixé sur la platine haute par 2 vis M10 ;
- La platine basse est soudée sur le tube puis boulonnée — et non soudée — sur la tête de la vis de fondation, pour permettre le démontage de la colonne.

7.3 Fabrication et point de sécurité soudure galvanisé

- Tube coupé à 720 mm à la scie à ruban à métaux, calé et équerré dans l'étau pour une coupe perpendiculaire nette ;
- Décapage du revêtement galvanisé sur quelques centimètres de part et d'autre de chaque zone à souder — on soude sur acier nu, jamais à travers le zinc, pour éviter porosités et inclusions ;

- Procédé recommandé : MIG/MAG ou arc électrode enrobée (MMA), moins sensibles à la contamination par le zinc qu'un TIG sur galvanisé mal décapé ;
- Pointage puis soudure du disque correcteur d'assiette en bout de tube (côté bas) et de la platine haute à l'autre extrémité, avec vérification de la perpendicularité au moment du pointage ;
- Retouche galva à froid sur les zones décapées et les zones affectées thermiquement par la soudure.

> ⚠️ *Le fil fourré sans gaz dégage davantage de fumées que le MIG sous gaz, et souder du galvanisé libère en plus des fumées d'oxyde de zinc (risque de fièvre des fumées métalliques). À prévoir impérativement : meuler/décaper jusqu'au métal nu avant de souder, souder en extérieur ou avec une extraction de fumées efficace, et porter une protection respiratoire dédiée en plus du masque de soudure (qui ne protège que les yeux et le visage, pas les voies respiratoires).*

7.4 Vissage et assemblage final

- Traçage de l'emplacement, vérification de l'absence de réseaux enterrés, avant-trou de 35 mm pour guider la vis et sonder d'éventuels obstacles, lubrification à l'eau si le sol est sec ;
- Amorce manuelle sur quelques tours pour garantir une entrée bien verticale, puis vissage à la boulonneuse à choc 1500 N.m équipée de l'adaptateur Cobra (douille 41 mm), jusqu'à affleurement ou léger dépassement ;
- Pose d'un capuchon plat amovible sur la tête de vis en période transitoire (avant construction de l'abri), pour protéger trous et filetage de l'humidité et de la terre ;
- Au moment de construire l'abri : dégagement d'un petit espace de terre autour de la tête de vis, mise en place du disque correcteur d'assiette (3 tiges à travers les trous de la tête de vis), serrage des 3 écrous M12 à la clé à cliquet, réglage de l'aplomb en ajustant indépendamment chaque écrou, puis blocage définitif et rebouchage ;
- Montage final : adaptateur Geoptik 30A155 sur la platine haute, puis monture AM5N, puis astrographe (lunette FRA400 + caméra principale + caméra de guidage) ;
- Contrôle visuel annuel de l'aplomb, pour détecter tout mouvement du sol argileux dans le temps.

8. Plancher

Le plancher ne doit jamais être en contact avec le pilier qui porte la monture.

Ce plancher répond à trois exigences qui ont dicté sa composition en couches (§ ci-dessous) : ne transmettre aucune vibration à l'instrument (découplage total du pilier), gérer l'humidité (drainage, coupure des remontées capillaires), et résister aux sols détrempés en hiver sans se déformer ni glisser.

- Dalles à engazonner 600 × 390 × 40 mm, posées directement sur la pelouse, 6 dalles en 2×3 pour couvrir environ 1,20 × 1,17 m ;
- Bâche EPDM 1 mm à bordures remontantes, drapée sur les dalles, fixée par œillets renforcés aux 4 coins, pris dans les mêmes ancrages type trampoline que la structure ;
- 2 plaques de contreplaqué marine 1200 × 600 × 10 mm, posées par-dessus la bâche, chants traités (vernis marine ou résine époxy) après découpe ;
- Passage du pilier : demi-cercle découpé à la jonction des 2 plaques de contreplaqué, et collet souple non collé dans la bâche à cet endroit — un simple jeu de quelques centimètres, jamais un matériau rigide qui ferait pont avec le reste du plancher ;

- Compatibilité avec les deux montages de la monture : sur colonne fixe (découpe centrale sans contact) comme sur trépied (les 3 pieds prennent appui directement sur les plaques de contreplaqué autour de la découpe).

9. Ancrage au sol et réhausses optionnelles

Le choix d'ancrages type trampoline (vis à visser ou platines à sceller superficiellement) plutôt qu'un plot ou une dalle béton répond à trois critères : leur caractère démontable, leur simplicité de mise en œuvre (pas de coulage, pas de temps de séchage), et leur coût réduit — en cohérence avec le choix général de ne laisser aucun ouvrage en béton permanent dans le jardin.

- Sans réhausse : équerres fixées aux 4 angles bas des panneaux, sur ancrages au sol type trampoline, un par angle — hauteur totale de mur 1,00 m ;
- Avec réhausse : une platine d'ancrage prend le relais à la base de chaque réhausse (A1/B1/C1/D1, 200 mm de hauteur), sur les mêmes ancrages type trampoline — les panneaux muraux reposent alors sur les réhausses, hauteur totale portée à 1,20 m ;
- Les réhausses reprennent la même largeur et le même rôle (plein/retrait) que le panneau porté, avec un cadre simple (2 montants + 2 traverses, sans traverse intermédiaire vu la faible hauteur), habillé du même sandwich.

> 💡 **Justification du choix des réhausses (optionnelles) —** Les réhausses A1/B1/C1/D1 répondent à un compromis explicite : elles offrent une protection accrue de l'astrographe en cas de vent modéré (murs plus hauts, donc moins exposés en dessous), mais au prix d'une restriction supplémentaire du champ visuel dégagé (l'élévation minimale visible dans toutes les directions augmente d'autant que la hauteur ajoutée, cf. le calcul de champ visuel). Ce compromis justifie leur caractère optionnel : à activer selon l'arbitrage souhaité entre protection au vent et dégagement du ciel.

La garde utile sous le toit fermé, avec la hauteur de demi-toit retenue (≈400 mm) et des murs à 1,00 m, est d'environ 1,40 m depuis le sol des panneaux — à comparer à la hauteur de la réhausse déjà en place sur le trépied de la FRA400 pour déterminer si les réhausses sont nécessaires dans le cas présent.

Poste	Sans réhausse	Avec réhausse
Hauteur totale de mur	1,00 m	1,20 m
Tube squelette total	≈ 28 m	≈ 39 m
Plaques de tôle (1000×2000 mm)	8 plaques	10 plaques
XPS	5,04 m²	6,05 m²
Profilé U total	18,08 m	29,76 m
Poids structure murs	≈ 89,5 kg	≈ 120,1 kg

10. Architecture électrique et commande

La commande et la supervision de l'abri s'articulent autour d'un automate IPX800 V5 (GCE Electronics) et d'un variateur pas-à-pas StepperOnline DM556PR pilotant le moteur Nema23 (4 A). L'architecture est organisée autour des fonctions suivantes :

10.1 Justification du choix de l'automate IPX800

Le pilotage centralisé par automate IPX800, plutôt que par un microcontrôleur ou un ordinateur dédié à programmer, repose sur plusieurs notions ayant guidé ce choix :

- Accès à distance à l'IPX800 — via son port Ethernet natif, relié à un mini routeur Wi-Fi TP-Link en mode Hotspot/WISP pour un accès sans fil aussi bien au domicile qu'en campagne (§10.5) — avec une interface HMI (tableau de bord de supervision) et un moteur de scénarios intégré, permettant de configurer les automatismes (ouverture/fermeture conditionnée à la météo, horaires, alarmes…) sans développement logiciel ;
- Ce même accès distant à l'IPX800 est mobilisé pour les alarmes et la sécurité de l'abri : relevé d'état à distance, notification en cas de déclenchement pluie/vent/vibration, pilotage à distance de la sirène et des voyants d'alarme ;
- Absence de microcontrôleur ou d'ordinateur à programmer pour piloter l'ensemble : toute la logique de commande reste configurable via l'interface web/HMI de l'IPX800, ce qui simplifie la maintenance et évite la gestion d'un firmware dédié ;
- Communication Modbus native de l'IPX800 vers le driver DM556PR, qui dialogue directement avec le variateur pas-à-pas (adressage, vitesse, état) sans carte de conversion ni bus de communication supplémentaire à mettre en œuvre ;
- Autonomie et mobilité : l'IPX800 fonctionne en boîtier autonome sans dépendre d'un ordinateur allumé en permanence, et sa connexion réseau (Ethernet, étendue en Wi-Fi via le mini routeur en mode Hotspot/WISP, §10.5) permet un pilotage depuis n'importe quel terminal mobile, y compris en l'absence de tout réseau domestique ou internet, sans installation logicielle dédiée sur un poste fixe.

Corrélation avec l'accès distant ASIAIR

Le pilotage de la séance d'astrophotographie proprement dite (monture, caméra, autoguidage) est assuré à distance via l'ASIAIR, tandis que le pilotage de l'enveloppe de l'abri (ouverture/fermeture du toit, alarmes, sécurité, capteurs météo) est assuré à distance via l'IPX800, rendu accessible sans fil par le mini routeur Wi-Fi en mode Hotspot/WISP (§10.5). Ces deux accès distants sont complémentaires, mais restent indépendants l'un de l'autre non par choix mais par limite de l'ASIAIR, qui ne propose pas d'API pour s'interfacer avec l'IPX800 : l'ASIAIR gère l'instrument, l'IPX800 gère l'enveloppe et sa sécurité, sans passerelle entre les deux — leur combinaison permet néanmoins de conduire une séance complète (ouverture, imagerie, fermeture) sans présence physique sur site. C'est cette limite qui motive la réflexion sur un remplacement par StellarMate Pro (ci-dessous).

Piste à l'étude : un remplacement de l'ASIAIR par un StellarMate Pro est en cours de réflexion, principalement pour bénéficier de son API HTTP. Elle ouvrirait la voie à une intégration plus poussée que la simple coexistence de deux applications sur le même réseau — par exemple l'IPX800 envoyant, via l'API, un ordre de parking (Home) à la monture avant de refermer le toit et de couper l'alimentation du setup, ou d'autres scénarios croisés entre les deux systèmes. Ce choix n'est pas arrêté à ce stade ; le principe d'accès réseau via le mini routeur en mode Hotspot/WISP (§10.5) resterait inchangé quel que soit le boîtier d'imagerie retenu.

10.2 Motorisation et sécurité de mouvement

- Driver DM556PR (adressage/vitesse Modbus RS485), alimentation 24 V dédiée, moteur Nema23 4 A avec filtrage RC (470–2200 µF / 35 V) et mesure de courant ACS712 renvoyée vers une entrée analogique de l'IPX800 ;
- Deux fins de course (FDC+ / FDC−, micro-switchs) délimitant la course d'ouverture et de fermeture ;

- Commandes physiques : boutons ouvre-toit / ferme-toit (jog), arrêt d'urgence à accrochage, bouton enable/disable du driver, répercutés sur les relais IPX800 (R2/R3/R4) via opto-isolation (PC817) ;
- Contact de fin de course « toit ouvert » (contact NF) et détection d'activation de résistance de terminaison Modbus (R120) sur le bus DM556PR.

10.3 Alimentation et supervision énergie

- Alimentation 230 Vac → 24 V DC 12,5 A pour la motorisation, avec conversion Buck 24→12 V et 12→5 V pour les auxiliaires ;
- Suivi de consommation par modules PZEM-017 (shunt 50 A) sur les lignes 24 Vdc et 12 Vdc, ainsi qu'un circuit batterie dédié — utile pour détecter un blocage mécanique ou une surconsommation anormale du moteur ;
- Sondes de température TC100 sur l'alimentation 24 V, sur le driver DM556PR et sur le moteur Nema23, pour la surveillance thermique de la chaîne motrice.

10.4 Capteurs environnementaux

- Détecteur de pluie (sortie relais) déclenchant une fermeture de sécurité en cas de précipitation ;
- Anémomètre (capteur de fréquence) pour surveillance du vent ;
- Capteurs de vibration (LM393/801S, doublés) placés sur l'abri télescope, pour la détection de chocs ou d'intrusion.

10.5 Interface, alarme et connectivité

- Sirène et voyants lumineux (rouge / blanc) pilotés en sortie collecteur ouvert de l'IPX800 ;
- Contacts secs coffret/extérieur (modules X-THL) pour ouverture/fermeture déportées ;
- Connectivité réseau de l'IPX800 (port Ethernet natif) étendue en Wi-Fi via un mini routeur TP-Link TL-WR902AC utilisé en mode Hotspot/WISP : ce mode diffuse en permanence son propre réseau Wi-Fi local (SSID et DHCP propres, auquel l'IPX800 est bridgé), tout en se connectant en plus au Wi-Fi du domicile quand il est à portée pour l'accès distant depuis l'extérieur — cette diffusion locale reste active même sans réseau domestique à portée, ce qui permet un accès direct par smartphone à l'IPX800 lors d'observations en campagne, sans aucune infrastructure réseau disponible sur place ; complétée par une télécommande radio 433 MHz (récepteur multiswitch) pour une commande locale sans réseau.

Le détail complet du schéma de câblage (repérage des bornes, valeurs de composants, adressage Modbus) fait l'objet d'un document séparé et n'est pas reproduit dans ce descriptif de synthèse.

11. Outillage nécessaire

11.1 Découpe

- Scie à ruban métal portative, acceptant Ø101,6 mm (tube colonne) et le carré 30×30 (cadre toiture/murs) ;
- Meuleuse d'angle (disqueuse) — ébavurage, tronçonnage d'appoint, préparation des soudures, meulage du zingage avant soudure sur tube galvanisé ;
- Disques à tronçonner métal Ø125 et disques à meuler/à lamelles Ø125 (consommables) ;
- Cisaille à tôle électrique 500 W, pour les tôles 0,5–0,63 mm du sandwich et de la toiture.

11.2 Soudure (fil fourré, sans gaz)

- Poste à souder MIG/MAG inverter (IGBT), 200 A, dévidage synergique, compatible fil fourré auto-protégé — vérifier le réglage de polarité DCEN, inversée par rapport au fil plein sous gaz ;
- Masque de soudure automatique (auto-obscurcissant recommandé), avec pile de secours en plus du panneau solaire ;
- Fil fourré auto-protégé Ø0,8–0,9 mm typique en 200 A — pas de gaz ni de détendeur nécessaires ;
- Buses de gaz et tube-contact adaptés au fil fourré (diamètre différent du fil plein sous gaz) ;
- Gants de soudure, tablier/manchettes ignifugés ;
- Brosse métallique et marteau à piquer, pour le décrassage du laitier propre au fil fourré.

11.3 Fixation et assemblage

- Pince à rivets pop et pince à écrous rivets (riveteuse à écrous) M3 à M12 — pour la pose des rivnuts sur la structure tubulaire ;
- Clé à choc 1500 N.m, douille 41 mm pour clé à choc carré 1/2″, et adaptateur Cobra pour boulonneuse (douille 41 mm) — le douille et l'adaptateur sont complémentaires, pas redondants ;
- Perceuse à percussion / visseuse + forets à métaux ;
- Pointeau, mètre, équerre, niveau ;
- Équerres magnétiques de soudure (jeu type CPROSP 6 pièces, 4,5–11 kg de force de maintien) — maintien des pièces en angle (45°/90°/135°…) pendant le pointage/soudure du cadre et de la structure tubulaire.

12. Fournitures et quincaillerie — liste de débit

Quantités calculées à partir des cotes retenues et du principe montants continus / traverses insérées. À considérer comme une base de commande à vérifier avant achat, avec une marge de chute usuelle de 5–10 % sur les longueurs de tube et de profilé.

12.1 Structure — tube et sandwich (4 panneaux muraux, sans réhausse)

Élément	Quantité / dimension	Détail
Tube carré acier laminé non galvanisé 30×30×1,5 mm	≈ 28 m (avec marge)	26,72 m de besoin net pour les 4 panneaux (cf. guide de montage)
Tôle prélaquée 0,5 mm (murs)	8 pièces de 1,26 × 1,00 m	10,08 m² au total, 2 par panneau
XPS 10 mm (murs)	4 pièces de 1,26 × 1,00 m	5,04 m² au total, 1 par panneau
Profilé U périphérique (murs)	4 × 4,52 m	18,08 m au total
Plaques de tôle du commerce	8 plaques de 1000×2000 mm	1 pièce de panneau par plaque, chute ≈1000×740 mm par plaque

12.2 Quincaillerie structure et sandwich

Élément	Quantité	Détail
Équerres horizontales (inter-panneaux)	12	3 niveaux × 4 angles
Écrous sertis M8	≈ 50	4 par équerre × 12, marge incluse

Élément	Quantité	Détail
Écrous sertis M5 (fixation sandwich → cornières)	≈ 44	Traverses haute et basse, 4 panneaux
Rivets pop 4×10 mm (tôle ext./arrière → aile du U)	≈ 200	Pas 150–200 mm, pourtour × 2 tôles × 4 panneaux
Boulons M6×50 de sécurité (cornière d'angle → montant)	12	3 par angle × 4 angles, Ø6 mm
Glissières à tiroir 120 kg (600 mm)	4	2 par côté (B et D)
Cornière inégale 30×60 porte-glissière	2	1,26 m par pièce, soudée sur B et D
Cornière d'angle extérieure	4	1,00 m par pièce, rivets 4×14 mm
Cornière fixation sandwich, traverse basse	4	1 par panneau
Cornière fixation sandwich, traverse haute (A/C)	2	Sur B/D, la cornière porte-glissière remplit déjà ce rôle

12.3 Mécanisme motorisé et toiture

Élément	Quantité	Détail
Vis TR8 lead 2 mm (tronçons à pas inversé)	4 tronçons + 2 raccords souples	2 par côté (B et D)
Renvoi d'angle 90°	2	1 par côté, extrémité commune avec le mur A
Moteur Nema23 2 Nm 24 V, double sortie	1	Sur le mur A
Écrous trapézoïdaux (paliers) pour vis TR8	1 par chariot	Un par demi-toit
Paliers / roulements à bride	—	Support des extrémités des vis TR8
Accouplement flexible moteur ↔ vis TR8	1	Liaison Nema23 / arbre fileté
Galets ou roulettes de roulement	—	Portent les demi-toits sur les rails
Rivets 4,8×20 mm tête large Ø16 mm (toiture)	pas 100 mm max	Fixation de la tôle doublée sur le tube

12.4 Colonne-pilier

Élément	Quantité	Détail
Tube d'essieu acier galvanisé Ø101,6 mm, ép. 3,6 mm	720 mm	Colonne du pilier
Disque de correction d'assiette NIVO & Cobra	1	4 mm d'épaisseur, 3 tiges filetées + 3 écrous M12
Platines rondes Ø120 mm, épaisseur 6 mm	2	Basse (6 trous Ø12 sur cercle Ø92) et haute
Vis de fondation Cobra Spiral	1	1200 mm (modèle G 1200)

Élément	Quantité	Détail
Adaptateur Geoptik réf. 30A155	1	Montage AM5N sur tête de trépied EQ6/AZ-EQ6/EQ6-R
Adaptateur pour boulonneuse Cobra (douille 41 mm)	1	Réf. 402776, acier galvanisé
Boulons M12 + rondelles + écrous nylstop	à définir	Longueur selon épaisseur platine + disque de correction

13. Poids et bilan matière

13.1 Poids par panneau (structure murs)

Panneau	Tube	Tôle + XPS	Cadre U	Quincaillerie	Total
A	8,8 kg	10,3 kg	2,7 kg	≈ 0,4 kg	≈ 22,2 kg
B	9,1 kg	10,3 kg	2,7 kg	≈ 0,4 kg	≈ 22,5 kg
C	8,8 kg	10,3 kg	2,7 kg	≈ 0,4 kg	≈ 22,2 kg
D	9,1 kg	10,3 kg	2,7 kg	≈ 0,4 kg	≈ 22,5 kg

> ⚠️ *L'habillage sandwich de A/C étant dimensionné comme celui de B/D (1,26 × 1,00 m), les 4 panneaux ont un poids de tôle/XPS et de cadre U quasi identique. Chaque panneau reste manipulable par une seule personne — ne pas chercher à l'alléger davantage, la tôle étant déjà le principal levier de résistance à l'effraction identifié.*

13.2 Totaux structure murs

Poste	Poids total
Tube squelette (4 panneaux)	≈ 35,8 kg
Tôle + XPS (4 panneaux)	≈ 41,2 kg
Cadre U (4 panneaux)	≈ 10,8 kg
Quincaillerie (équerres + écrous d'angle, estimé)	≈ 1,7 kg
Total 4 murs (hors toit, hors moteur/coffret/capteurs)	≈ 89,5 kg

Ces totaux restent hors toiture, hors glissières, hors vis TR8/renvois/moteur et hors coffret électrique — postes non chiffrés dans ce descriptif. Avec les 4 réhausses optionnelles (≈30,6 kg), le total structure murs atteint ≈120,1 kg.

14. Points de vigilance et sécurité

- Le squelette seul, sans les tôles, doit être suffisamment rigide pour tenir debout pendant la phase intermédiaire de pose des panneaux — prévoir un étayage temporaire si besoin ;
- La tôle n'est pas l'organe de sécurité anti-effraction : c'est le cadre, les équerres et les verrous manuels indépendants du moteur qui portent cette fonction ;
- Le point de croisement entre la traverse mi-hauteur de D et la vis TR8 (à des hauteurs proches) ne doit pas cumuler deux fonctions de fixation sur un seul point non dimensionné pour cela ;

- Orienter les vis d'assemblage structurelles tête côté intérieur / écrou serti côté extérieur (ou l'inverse selon la cornière), pour qu'aucune vis ne soit dévissable à main nue une fois la cornière en place ;
- Soudure sur galvanisé (colonne du pilier) : toujours décaper jusqu'au métal nu, souder en extérieur ou avec extraction de fumées, porter une protection respiratoire dédiée en plus du masque de soudure ;
- Vérifier avant vissage de la vis de fondation l'absence de réseaux enterrés à l'emplacement prévu ;
- Contrôle visuel annuel de l'aplomb du pilier, pour détecter tout mouvement du sol argileux dans le temps.